

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

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

Обладнання та технології зварювального виробництва
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка технології виготовлення порошків жароміцних сплавів
на нікелевій основі для наплення з проектуванням дільниці

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи Іфз-419м

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Відновлення та підвищення зносостійкості
деталей і конструкцій

Завгородній Олександр Васильович

(прізвище та ініціали)

Керівник Овчинников О.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Скребцов А.А.

(прізвище та ініціали)

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

ут, факультет Фізико-технічний інститут, Інженерно-фізичний факультет
 ра Обладнання та технології зварювального виробництва
 ь вищої освіти магістр
 льність 131 Прикладна механіка
 (код і найменування)
 я програма (спеціалізація) Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і
зукцій
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮЗавідувач кафедри Овчинников О.В.« 12 » 12 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТА(КИ)

Овчинников Олександр Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

а проєкту (роботи) Розробка технології виготовлення порошків жароміцних
 в на нікелевій основі для напилення з проєктуванням дільниці

ик проєкту (роботи) д.т.н., проф. Овчинников О.В.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

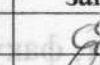
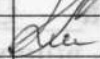
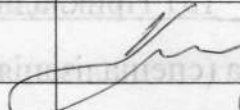
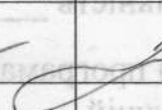
джені наказом закладу вищої освіти від « 30 » 11 2020 року № 364
 ок подання студентом проєкту (роботи) 01.12.2020

хідні дані до проєкту (роботи) технологія отримання сферичного порошку
іцних нікелевих сплавів із відомими дефектами частинок сферичного порошку.
ійний склад необхідного порошку, режими відцентрової плазмової атомізації

міст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
 бити) Аналіз вихідних даних і формулювання завдання на проведення
іжень; Розробка методики дослідження і проведення експериментів;
дження сферичних порошків; Техніко-економічний розрахунок дільниці;
она праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

елік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
сування сферичних металевих порошків для ремонту деталей (2 плакати);
лення електродів на УЦР; наплавлення сферичних порошків; мікроструктура
в наплавлення порошків, виготовлених на розроблених режимах; дослідження
ного складу порошку; хімічний склад наплавленого металу та точка
итковості виробництва порошку за розробленою технологією; проєкт цехової
иці по виробництву сферичного порошку.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	пр ви зап
Технічний	Овчинников О.В., зав.каф. ОТЗВ		
Економічний	Круглікова В.В., доц.каф. ПТБД	 4.10.20	
Охорона праці	Нестеров О.В., зав.каф. ОПіНС		

7. Дата видачі завдання « 01 » 09 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент(ка)

Керівник проєкту (роботи)

О.В. Завгоро,

О.В. Овчинні
(прізвище та ініці

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 74 с., 23 рис., 21 табл., 29 джерел.

ЗАГОТОВКА, ПОРОШОК, ШИХТА, ЛЕГУЮЧИЙ ЕЛЕМЕНТ, НІКЕЛЕВИЙ СПЛАВ, НАПЛАВЛЕННЯ, ПЛАВКА, ЗЛИТОК, ЗВАРЮВАННЯ, СТРУКТУРА, ІНЕРТНИЙ ГАЗ, ЗАХИСНА АТМОСФЕРА.

Об'єкт дослідження – порошки сферичної форми частинок, що розпилюються з заготовок нікелевих сплавів, та вплив режимів розпилення на формування необхідної фракції.

Мета проекту – розробити технологічні режими виготовлення сферичних порошків жароміцних сплавів на нікелевій основі для відновлення деталей наплавленням.

Встановлено, що використання відцентрового плазмового розпилення заготовок дозволяє підвищити якість порошку, однорідною структурою та розподілом хімічного складу. Використання такого порошку позитивно впливає на технології напилення деталей, шляхом формування низької кількості дефектів структури наплавленого металу.

Встановлено закономірності формування фракційного складу сферичного порошку від технологічних режимів розпилення.

Практичне використання отриманих результатів дозволить отримувати промислові партії порошку високої якості та фракційної однорідності. Встановлені закономірності формування фракційного складу порошку дозволять регулювати вихід фракції при розпиленні. Зниження кількості браку порошку до 40 % дозволяє отримати економічний ефект від втілення цієї технології. Отримані наукові результати роботи лягли в основу створення ділянки з виробництва сферичних порошків методом відцентрового плазмового розпилення заготовки, що обертається, та сформовані заходи охорони праці на такому виробництві.

ABSTRACT

Explanatory note: 74 pp., 23 figs., 21 tales, 29 references.

BILLET, POWDER, BURDEN, ALLOYING ELEMENT, NICKEL ALLOY, HEAT, SMELTING, INGOT, WELDING, STRUCTURE, INERT GAS, BLANKET

The subject of research is powders with spherical particles sprayed from nickel alloy workpieces and influence of spraying modes on formation of the required fraction.

The project goal is to develop technological modes of manufacturing spherical powders of heat-resistant alloys on a nickel basis for workpieces retailoring.

It is established that the use of centrifugal plasma spraying of workpieces allows improving the quality of powder due to homogeneous structure and distribution of chemical composition. The use of such a powder has a positive effect on the technology of workpieces' sputtering by forming a low number of defects in the structure of added metal.

The regularities of the formation of fractional composition of spherical powder depending on the technological modes of spraying are established.

The practical use of the obtained results will allow obtaining industrial batches of high quality powder and fractional homogeneity. The established patterns of formation of the fractional composition of the powder will regulate the yield of the fraction while spraying. Reducing the amount of powder shortage to 40 % allows getting the economic effect of the implementation of this technology. The obtained scientific results of the work formed the basis for the creation of the site for production of spherical powders by the method of centrifugal plasma spraying of rotating workpieces, and formed measures of labor protection at such production site.

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначок, одиниць і термінів	8
Вступ.....	9
1 Аналіз вихідних даних і формулювання завдання на проведення досліджень	10
1.1 Застосування сферичних металевих порошків для ремонту деталей....	10
1.2 Аналіз технологій отримання сферичних порошків жароміцних сплавів на нікелевій основі	12
1.2.1 Метод виготовлення сферичного порошку шляхом газового розпилення сплаву	12
1.2.2 Метод виготовлення сферичного порошку шляхом відцентрового плазмового розпилення заготовки, що обертається	14
1.2.3 Сфероїдизація порошків з неправильною формою частинок	17
1.3 Постановка завдання.....	21
2 Розробка методики дослідження і проведення експериментів	23
2.1 Виготовлення заготовок для розпилення	23
2.2 Розпилення заготовок	23
2.3 Визначення хімічного складу	25
2.4 Металографічні дослідження.....	25
2.5 Наплавлення сферичного порошку	26
3 Дослідження сферичних порошків.....	27
3.1 Виробництво сферичних порошків ТОВ «Мультіфлекс»	27
3.2 Мікроплазмове наплавлення порошку, виготовленого на розроблених режимах.....	31
3.2.1 Зовнішній вигляд порошків для наплавлення.....	31
3.2.2 Мікроплазмове наплавлення порошків	33
3.2.3 Дослідження хімічного складу	36

3.2.4. Хімічний склад наплавленого металу	38
4 Техніко-економічний розрахунок дільниці	39
4.1 Характеристика ринку жаростійких матеріалів	39
4.2 Обґрунтування наукових досліджень	45
4.2.1. Собівартість виробу	46
4.2.1.1. Прямі витрати	46
4.2.1.2. Непрямі витрати	49
4.3. Розрахунок економічного ефекту	54
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	57
5.1 Аналіз потенційних небезпек	57
5.2 Заходи по забезпеченню безпеки	58
5.3 Захист навколишнього середовища	65
5.4 Заходи з пожежної безпеки та забезпечення безпеки в разі виникнення надзвичайних ситуацій	65
5.4.1 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	65
5.4.2. Організація управління персоналом під час надзвичайної ситуації	67
Висновки	70
Перелік джерел посилання	71

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

УЦР – устаткування для розпилення заготовки, що обертається.

n – частота обертання, хв^{-1} .

U – напруга на устаткуванні, В.

I – сила струму на устаткуванні, А.

РІНР – рятувальні та інших невідкладні роботи.

ЦО – цивільна оборона.

ГТД – газо-турбінний двигун.

ВСТУП

Ремонт високотехнологічних деталей в усіх видах промисловості пов'язано із методами мікроплазмового наплавлення. Основним матеріалом для цього методу є сферичні порошки фракційного складу від 100 мкм до 150 мкм. Інтерес з точки зору отримання сферичного порошку представляють декілька основних технологій: газова атомізація розплаву матеріалу, сфероїдизація порошку несферичної форми та відцентрова плазмова атомізація сферичного порошку. Незалежно від технології отримання порошку є ряд проблем технологічного характеру. Ці проблеми відкладають відбиток на якість відремонтованого шару матеріалу деталі. Наразі промислово використовується порошок, що отримано газовою атомізацією розплаву сплаву виробництва УкрНДІспецсталь [1].

Відцентрова плазмова атомізація є найбільш перспективним методом, оскільки порошок, що отримується має правильну сферичну форму без сателітів, а його хімічний склад є рівномірним. При цьому, відсутня пористість у межах частинок порошку.

Основною проблемою виробництва сферичних порошків відцентровою плазмовою атомізацією є практична відсутність досвіду, режимів таких процесів. Тому задачею, що вирішувалась в роботі є розробка режимів обертання заготовки що плавиться, для отримання якісних порошків жароміцних сплавів.

1 АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ І ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАННЯ НА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Застосування сферичних металевих порошків для ремонту деталей

Виробництво деталей з складнолегованих сплавів для високотехнологічних промисловостей за новими технологіями є перевагою сучасної економіки [2]. До таких технологій слід віднести технології нарощування (адитивні технології), порошкову металургію із газостатичною обробкою та інші. Наразі, коли ще на ринку є деталі, що виготовлені за «старими» технологіями (точіння, фрезерування, тощо), а також нові деталі, котрі зазнали механічного зношування, ремонтні роботи по відновленню геометрії та властивостей таких деталей є невідкладними у технологічному циклі життя таких деталей.

Основною з технологій ремонту виробів з таких сплавів є наплавлення геометрії, що зношувалась у процесі експлуатації. Основним матеріалом для технологій відновлення (ремонт) деталей з нікелевих жароміцних сплавів є сферичні металеві порошки [3]. Металеві порошки представляють собою сипучі матеріали, у більшості випадків з розміром частинок до 100 мкм [4]. До порошків передбачають особисті вимоги, одним із яких є сферична форма частинок, що дозволяє компактно вкласти порошок у заданий об'єм та облегшити роботу устаткування [5]. Крім сферичної форми частинок, для побудови виробів високої якості до порошку застосовуються параметри контролю перевірки, наявність сателітів, поверхневої та внутрішньої пористості частинок та ін. [6, 7].

На рис. 1.1 наведено різними кольорами місця використання найбільш розповсюджених сплавів для авіаційного двигуна виробництва АТ «МОТОР СІЧ». Показано, що немалу частину сплавів займають жароміцні сплави.

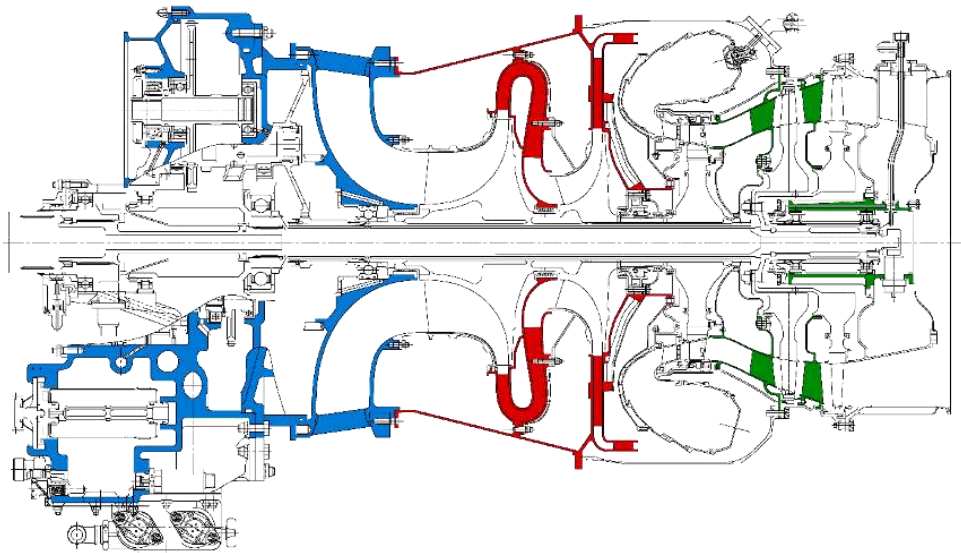


Рисунок 1.1 – Використання матеріалів (синім – алюмінієві сплави, червоним – титанові сплави, зеленим – жароміцні нікелеві сплави) у авіаційному двигуні

До жароміцних сплавів необхідно у першу чергу віднести сплави на нікелевій основі. Прикладами таких сплавів із світовою відомістю є сплави Inconel, ВЖ та інші. Виготовлення порошків жароміцних сплавів є складною операцією та супроводжується рядом технологічних проблем, що пов'язані з основним фізичним процесом їх отримання.

Спосіб отримання дрібних і середніх за розміром металевих порошків сферичної форми за допомогою диспергування розплавів називають атомізацією [4]. Цей процес відбувається в спеціальних установках – атомайзер. Основними різновидами є газова, вакуумна і відцентрова атомізації [5].

1.2 Аналіз технологій отримання сферичних порошків жароміцних сплавів на нікелевій основі

1.2.1 Метод виготовлення сферичного порошку шляхом газового розпилення сплаву

При газовій атомізації (рис. 1.2) метал розплавляють в плавильній камері, заповненій інертним газом. Потім його зливають в керованому режимі через розпилювач, де під високим тиском проводиться руйнація потоку рідкого металу струменем інертного газу. Під час фази польоту під дією сил поверхневого натягу частки набувають сферичну форму.

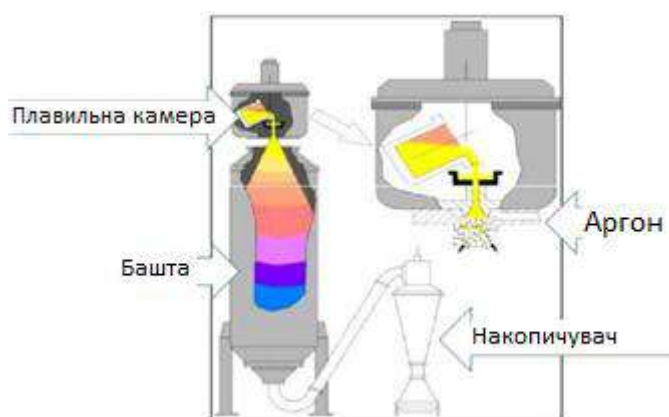


Рисунок 1.2 – Схема установки газової атомізації [3]

Процес вакуумної атомізації протікає за допомогою плавильної і розпилювальної камер (рис. 1.3). У плавильній камері створюється надлишковий тиск газу (азот, водень, гелій), який розчиняється в розплаві. Потім метал під дією перепаду тиску рухається вгору через сопло, виходить в камеру розпилювання, де створюється вакуум. Завдяки перепаду тисків розчинений газ виходить на поверхню крапель розплаву і розбризкує їх, надаючи сферичну форму частинок металу.

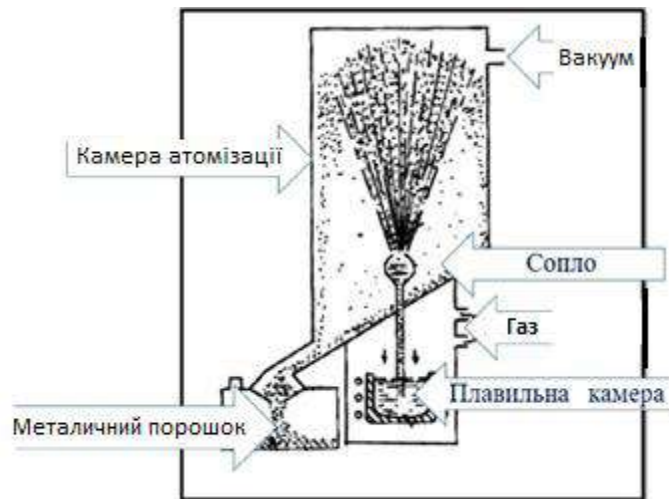


Рисунок 1.3 – Схема атомізаційних камер [3]

Головним виробником сферичних порошків такого типу є Державне підприємство Український науково-дослідний інститут спеціальних сталей, сплавів та феросплавів (ДП «УкрНДІспецсталь») [1]. Фото обладнання ДП «УкрНДІспецсталь» для газової атомізації наведено на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Обладнання ДП «УкрНДІспецсталь» [1]

1.2.2 Метод виготовлення сферичного порошку шляхом відцентрового плазмового розпилення заготовки, що обертається

Для отримання сферичної форми частинок в методі відцентрової атомізації (рис. 1.5) застосовують два електроди, розташованих один навпроти одного. Один з електродів – вольфрамовий – жорстко зафіксовано, а другий – споживаний – обертається з високою швидкістю.



Рисунок 1.5 – Схема процесу [3]

У процесі роботи між ними виникає електрична дуга, яка розплавляє метал електроду, що витрачається. Така схема розпилення є схемою з плазмотроном прямої дії. Існує ще одна схема: коли дуга виникає безпосередньо у плазмотроні і плавлення заготовки, що обертається є наслідком взаємодії плазмового потоку і металу заготовки. У такій схемі використовують великі плавильні плазмотрони. Перевагою першої схеми є високий ККД плазмового потоку, але схема є більш складною у реалізації ніж друга. За рахунок виникаючих відцентрових сил розплавлений метал розбризкується у вигляді дрібних крапель. Частинки металу кристалізуються в польоті, набувають сферичної форми.

Спосіб полягає у наступному: заготовка (рис. 1.6) сплаву що розпорошується обертається навколо горизонтальної осі, його вільний кінець розплавляють за допомогою плазмового потоку.

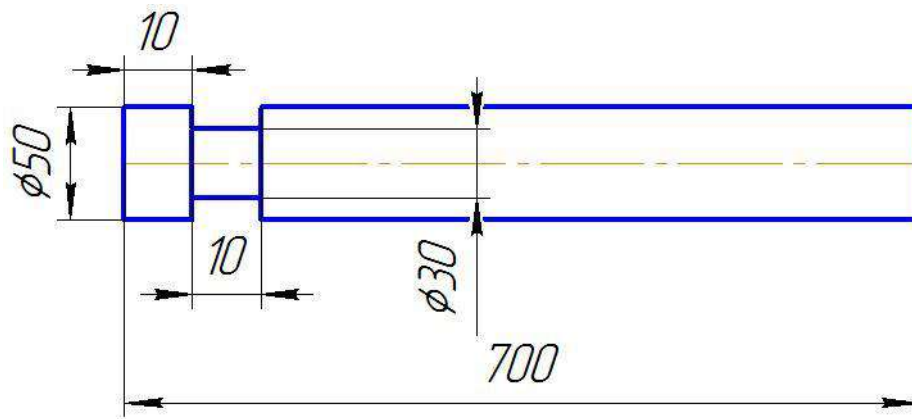


Рисунок 1.6 – Ескіз заготовки для розпилення

Краплі розплавленого металу зриваються з заготовки, що обертається і кристалізуються у вільному польоті до зіткнення зі стінками камери розпорошення. У камері, де обертається заготовка, і відбувається розпилення, повинні бути захисне від окислення середовище або вакуум. Найчастіше використовують гелій-аргонову суміш газів. Це дозволяє одержувати порошки з високою чистотою поверхні. Частинки порошку гладенькі, сферичної форми.

Даний метод дозволяє одержувати високоякісні гранульовані порошки з мінімальним вмістом кисню й інших сторонніх включень. Змінюючи швидкість обертання заготовки від 2000 хв^{-1} до 27000 хв^{-1} можна одержати як сферичні гранули, розміром менше 500 мкм , так і лускаті порошки товщиною від 20 мкм до 100 мкм і швидкостями охолодження від 10^4 град/с до 10^6 град/с .

Можливість інтенсифікації охолодження гранул сплавів у процесі їх формування була оцінена з точки зору вибору фізичних параметрів розпилення – діаметр заготовки, швидкість плавлення і частоти обертання заготовки, що розпилюється. Промислова установка УЦР дозволяє варіювати цими параметрами в широкому інтервалах. Розрахунки показують, що для різних сплавів швидкість кристалізації частинок складає близько 10^4 град/с . Зменшення розміру гранул до 100 мкм забезпечується збільшенням швидкості охолодження до близько 10^5 град/с . Крім того, зменшення розміру гранул суттєво зменшує величину потенційно можливих дефектів у вигляді неоднорідних включень, що забезпечує збільшення фізико-механічних

характеристик компактного матеріалу.

Для оцінки діаметру гранул використовують експериментально одержану залежність:

$$d = 5,23g^{0,404 \times 10^{-000}} / n^{0,645} D^{0,87} \quad (1.1)$$

де d – діаметр гранул, мкм;

g – швидкість плавки, г/хв;

n – частота обертання, хв⁻¹;

D – діаметр заготовки, мм.

Як було зазначено вище, в залежності від умов розпилення гранулометричний склад порошків може змінюватися в широких інтервалах. Характер мікроструктури гранул залежить від їх розмірів. Частинки менші ніж 100 мкм мають структуру голкового мартенситу, частинки розмірами від 100 мкм до 200 мкм – структуру з яскраво вираженою дендритною будовою. Гранули розміром від 200 мкм до 500 мкм володіють структурою обох типів. З ростом гранул від 400 мкм до 600 мкм розміри дендритних осередків збільшуються від 1 мкм до 5 мкм. Гранули (рис. 1.7) різних фракцій мають однаковий хімічний склад.

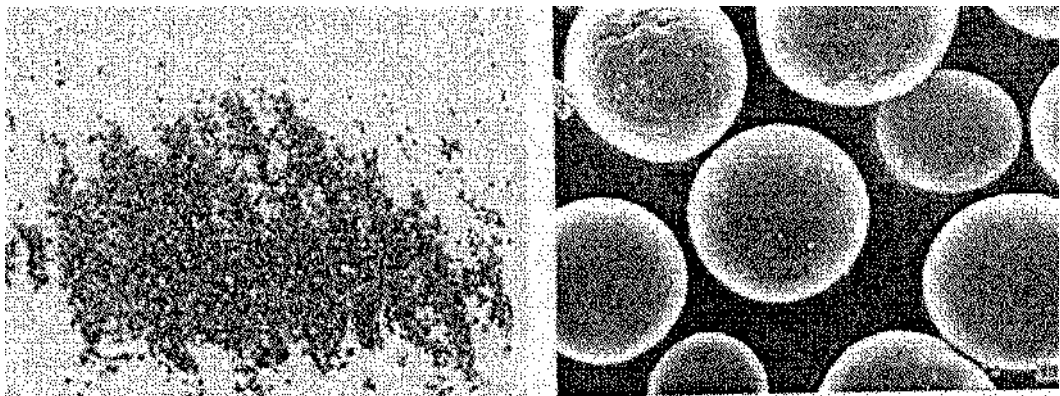


Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд сферичних гранул порошку

Готовий матеріал, одержаний з гранул розпилених методом

відцентрового плазмового розпилення заготовки має рівень властивостей не нижче ніж у матеріалів, виготовлених методами традиційного металургійного перероблення.

Основні технічні характеристики устаткування наведено у табл. 1.1, технологічні характеристики порошку – табл. 1.2.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики обладнання

Потужність, кВт (лабораторна)	60
Швидкість обертання заготовки, хв ⁻¹	1 000...27 000
Фракційний склад, мкм (сфер.порошки)	50...500 більше
Робочі гази	He, Ar
Діаметр заготовки, що розпилюється, мм	50
Виробнича потужність, кг/год	10÷20

Таблиця 1.2 – Основні технологічні характеристики порошків

Фракційний склад, мкм	50-500, до 1,5 мм
Насипна щільність, г/см ³	4,5-5,0
Щільність пакування, г/см ³	5,2-5,8
Плинність (отвір 2,5 мм / 5,0 мм), с	19-28 / 3,5-8,0
Вміст кисню, %	до 0,05

Області застосування порошків: для нанесення різного виду покриттів, наплавочні матеріали, високопористі матеріали, композити, компактні вироби порошкової металургії.

1.2.3 Сфероїдизація порошків з неправильною формою частинок

У роботі [8] надана інформація щодо технології обробки порошків плазмою. Вона дозволяє надавати сферичну форму стандартним несферичним порошкам, згладжуючи будь-які геометричні недоліки металевих частинок. Порошок з дефектами в структурі оплавляється в потоці плазми, в результаті

чого частинки набувають правильну сферичну форму.

Схема технології наведена на рис. 1.8.

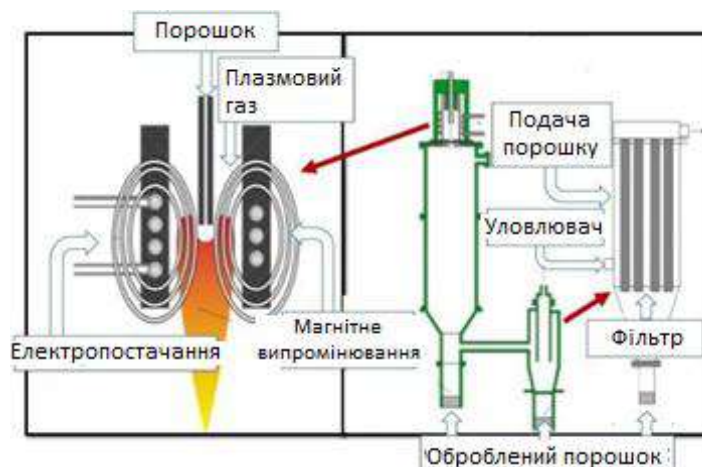


Рисунок 1.8– Схема технології сфероїдизації порошку [3]

Процес формування сферичних частинок можна описати таким чином. Потрапляючи в потік плазми, частинки, що спочатку мали неправильну форму, при русі в високотемпературному швидкісному газовому потоці розігріваються до температури плавлення і під дією сил поверхневого натягу перетворюються в частки, які, охолоджуючись у вільному падінні, формуються в сферичні гранули.

У патенті [9] описаний спосіб плазмової обробки дисперсних тугоплавких матеріалів. Він включає введення матеріалу в високотемпературну область плазмового потоку, що примикає до зовнішньої сторони зрізу плазмотрона, по перетину якого формують рівномірний швидкісний і тепловий потік. Матеріал вводять в область потоку під кутом до його осі. Пристрій для здійснення способу містить розрядну камеру плазмотрона, газорозподільний елемент і живильник матеріалу. Елемент виконаний у вигляді охолоджувальної вставки, розміщеної на вході розрядної камери і утворює з нею кільцевої канал. Живильник встановлений з можливістю подачі матеріалу в область потоку, що примикає до зовнішньої сторони зрізу розрядної камери.

У патенті [10] показаний спосіб сфероїдизації тугоплавких сполук. Подрібнений порошок засипають в вертикально встановлену камеру ємкість, виконану з композиційного вуглецевого матеріалу і попередньо нагріту до температури вище температури плавлення порошку, зі швидкістю, обраній в залежності від розміру оброблюваного матеріалу. Нагрівання порошку

здійснюють в середовищі захисного газу при проходженні його через зону нагрівання труби. В якості захисного газу використовують азот, трубу нагрівають до температури 3000 °С, порошок подають в порожнину нагрітої труби через зазор шириною від 4 до 6 діаметрів, утворений двома концентрично розміщеними кільцевими елементами. Перед подачею в трубу подрібнений порошок попередньо нагрівають до температури, що складає 85 % від температури плавлення матеріалу, причому попереднє нагрівання може бути здійснений шляхом нагрівання лотка, за яким порошок подають в трубу. Варто зазначити, що при сфероїдизації даними способом розмір часток досягає від 80 мкм до 100 мкм.

В роботі [11] показано спосіб, розроблений компанією ППГ Індастріз Огайо, Інк. (США), заснований на отриманні частинок фізичним осадженням з парової фази рідини. Спосіб отримання полягає в запровадженні рідини в камеру і фізичному осадженні одного або більше матеріалів в рідину з парової фази. Пристрій для реалізації способу містить камеру осадження і посудину для рідини розплаву. Посудина має вхідний і вихідний отвори для перенесення в посудину і / або вилучення рідини.

Цікавим є також робота Сибірського хімічного комбінату [12]. Обробку порошоків оксиду магнію проводять трьома потоками плазмового теплоносія в плазмохімічному реакторі, що складається з взаємозамінних модулів і забезпеченим трьома плазмотронами ЕДП 109/200 М, встановленими під кутом 120 град між собою і забезпечують подачу плазмових струменів в реактор під кутом 45 град до осі реактора. Технологічні характеристики у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Параметри устаткування

Потужність плазмотрону, кВт	70-160
Витрата газу (повітря), нм ³ /год: плазмоутворюючого що транспортує	
	25-60
	20-36
Витрата оброблюваного порошку, г/с	2-20

Є шнековий живильник, що забезпечує подачу порошку в реактор уздовж його осі. Дисперсний склад оброблюваних порошоків наступний: до 75 % від маси зразків складають фракції з розміром частинок до 5 мкм, від 25 % до 30 %

– з розміром частинок від 5 мкм до 10 мкм і інше – фракції з розміром частинок до 20 мкм.

Один з найбільш цікавих способів – метод лазерної сфероїдизації – запропонований китайським інститутом Univ Northwestern Polytechnic [13]. Винахід дозволяє впливати лазером при високій температурі в середовищі аргону на частинки порошку неправильної форми, при цьому відбувається оплавлення частини поверхні частинки порошку, після чого вони охолоджуються, набуваючи близьку до сферичної або сферичну форму. У винаході використовується лазерне випромінювання як джерело тепла, що дозволяє розплавити матеріали; сфероїдизація частинок неправильної форми порошку здійснюється під дією сил поверхневого натягу рідини, що формується за рахунок часткового або повного оплавлення їх поверхні. Оскільки лазерна обробка не привносить домішок ззовні і процес сфероїдизації здійснюється в атмосфері аргону високої чистоти, сфероїдизований порошок не може містити сторонніх домішок; в той же час енергія лазера є точною і контрольованою, що дозволяє уникнути втрат при вигорянні елементів живлення в процесі сфероїдизації. Таким чином, отримується сферичний порошок, який має стабільні параметри, близькі до параметрів порошку, що не піддавався сфероїдизації.

Наступний спосіб полягає в отриманні суміші твердого матеріалу в реакції із реактивним газом в плазмі. Суміш може бути використана безпосередньо у вигляді суспензії або може бути додатково тонко гранульована – наприклад, в розпилювальній камері з наступною додатковою дегазацією. Суспензія також може бути отримана з твердого матеріалу порошку – наприклад, з використанням вуглеводню, який вступає в реакцію з компонентами порошку в плазмі. Таким чином, суміш отримують у вигляді порошку, гранул або суспензії, потім вводять в робочий газ високочастотної плазми в потоці газоносія. Суміш твердого матеріалу з потоком газоносія продувають через плазмову дугу високочастотної плазми. Частинки матеріалу після проходження через плазмову дугу, охолоджуються з високою швидкістю, нижче температури рекристалізації в додатковому потоці охолоджуючого газу і збираються за плазмою. Потік охолоджувального газу являє собою додатковий потік газу для охолодження, який, як правило, є інертним і подається окремо від системи. Це пов'язано з тим, що і реакції компонентів один з одним при

утворенні сплаву, і сфероїдизація відбуваються за один процес в плазмі. Окремий етап плавлення вихідних матеріалів, а також наступні стадії подрібнення виключені. Хід процесу істотно спрощується і коротшає. Таким чином, процес дуже ефективний з точки зору витрат енергії і зниження вартості. Сфероїдальні гранули, отримані за допомогою даного процесу, мають перевагу в структурі, яка є більш однорідною в порівнянні зі структурою гранул, вироблених за іншим процесам, в тому числі і за якістю сферичної форми окремих частинок [14].

1.3 Постановка завдання

З аналізу тексту, що викладено вище, можна зробити висновок щодо природи виникнення дефектів у відновлених методом мікроплазмового наплавлення деталей із жароміцних сплавів на нікелевій основі. Головним чинником виникнення дефектів є якість порошку, що визначається гомогенністю структури частинок, рівномірності розмірів частинок у межах фракції та наявністю паразитних неглобулярних форм. Якість порошку забезпечується технологією його виробництва.

Для відновлення деталей методом мікроплазмового напилення використовують сферичні порошки з розміром їх частинок у межах від 50 мкм до 150 мкм. Аналіз переваг та недоліків вітчизняних технологій отримання сферичних порошків показав, що найбільш низьковідходний метод – відцентрове плазмове розпилення заготовки, що обертається. Порошки, отримані на устаткуванні типу УЦР, не мають у своєму фракційному складі неглобулярних форм, позбавлені сателітів, мають практично таку ж саму ціну, що і порошки плазмового розбрискування газом рідкого сплаву. Головний недолік, а саме відсутність режимів розпилення заготовки, що обертається, здержують активне впровадження цієї технології.

Тому, головною задачею дипломної роботи є розробка режимів

плазмового розпилення заготовки, що обертається котрі дозволять отримувати godny фракцію порошку від 50 мкм до 150 мкм. Надалі, технологію плазмового розпилення заготовки, що обертається позначимо як «Нова», а технологію плазмового розбрискування газом рідкого сплаву – «Базова».

З метою вирішення поставленої задачі було реалізовано комплекс науково-технічних досліджень по виявленню впливу частоти обертання заготовки на вихід godної фракції порошку.

2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ І ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

2.1 Виготовлення заготовок для розпилення

Виготовлення заготовок полягало у наступному: з сортового прокату необхідного хімічного складу слід було вирізати заготовку. Поперечний перетин заготовки необхідно отримати у виді кола діаметром 50 мм. Довжина заготовок не повинна перевищувати 700 мм. Вирізання заготовок проводили методом дворазового точіння на токарному стані: перші проходи на режимах чорнового точіння, згідно із нормативами режимів різання; останній прохід на режимах для чистого точіння, згідно із нормативами режимів різання.

2.2 Розпилення заготовок

Розпилення заготовок здійснюється за наступним технологічним ланцюгом: включення циркуляції у системі охолодження + включення механічного вакуумного насоса типу АВЗ і системи контролю + вакуумна підготовка (1,5 год) + включення паромасляного насоса + вакуумна підготовка (1,5 год) + виключення вакуумного обладнання + включення газової системи + газопідготовка і налагодження циркуляція газу (50 заготівок по 15 хв на кожну = 12,5 год) + подача заготовок на розпилення (50 заготівок по 15 хв на кожну = 12,5 год) + виключення плазмотрону, циркуляції газу (0,5 год) + охолодження установки (1 год) + виключення всього.

Камера (бункер) з заготовками містить 50 заготовок, котрі будуть розпилюватися. Припустимо, розпилення меншої кількості заготовок, але час на вакуумну підготовку, охолодження залишається незмінним.

Таблиця 2.1 – Середні значення режимів розпилення заготовок

$U_{пл}, В$	$I_{пл}, А$	$U_{под}, В$
44-45	1200	10-14

Кінематична схема устаткування виконана таким чином, що передаточне відношення усієї установки є результатом множення передаточних відношень певної групи вузлів. Передаточне відношення устаткування УЦР можна підрахувати за наступною формулою:

$$U_{уцр} = U_1 \cdot U_2 \quad (2.1)$$

де U_1 - передаточне відношення ремінної передачі;

U_2 - передаточне відношення фрикційної передачі валки-заготовка.

Визначивши діаметри шківів ремінної передачі та діаметри валків, та підрахувавши передаточне відношення устаткування УЦР, отримуємо $U_{уцр} = 9$.

Тиск газу в камері (по манометру) до 0,14 МПа. Тиск води (за манометром) на плазмотроні 0,24 МПа. Витрата газу 60 л/хв.

Після отримання порошку його підвергають вакуумній обробці та наступному пакуванню.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд огарку заготовки ВЖ98

З метою розробки режимів плазми для отримання порошків проводили кількісну та якісну оцінку фракційного складу отриманого порошку, режими отримання, а саме частота обертання заготовки, що розпилюється варіювалися.

2.3 Визначення хімічного складу

Хімічний склад сплавів визначали спектральним методом з використанням приладу «SPECTROMAX» фірми «SPECTRO» за стандартними методиками відповідно до ГОСТ 19863.1-91 ... ГОСТ 1986.12-91. Вміст азоту, кисню і водню визначали по стандартних методиках на газоаналізаторі моделі ON900 фірми «ELTRA».

Вміст елементів в структурних складових визначали якісним і кількісним методами. Розподіл зміст елементів визначали на багатоцільовий растровому мікроскопі JSM-6360LA з приставкою для рентгеноспектрального енергодисперсійного аналізу JED 2200 [15].

2.4 Металографічні дослідження

Зразки для металографічних досліджень готували послідовним шліфуванням і поліруванням. Травлення шліфів здійснювали у реагенті складу: HF – 10 мл, HNO₃ – 25 мл, гліцерин – 65 мл.

Мікроструктурний аналіз проводили з використанням інвертованого мікроскопа відбитого світла «NEOPHOT-32» (фірма «CarlZeiss»)..

2.5 Наплавлення сферичного порошку

Наплавлення виконували роботизованим плазменно-порошковим методом на роботизованій мікроплазменній установці фірми «HettigerStellite» версія R46TB, тип робота MELFA RV-12 SL (MITSUBISHI) в комплекті з установкою для наплавлення плазменно-порошковим методом – STARWELD 190H «DellaraStellite».

Таблиця 2.2 – Режими наплавлення

№ зразку	Сила струму, А	Швидкість переміщення плазмотрону, мм/с	Витрата порошку, г/мм	Витрата захисного газу, л/хв	Витрата транспортуючого газу, л/хв
Порошок (від 100 мкм до 150 мкм)					
1	6,0	2,0	2,0	8,0	3,0
Порошок (від 50 мкм до 100 мкм)					
2	6,5	2,0	2,0	8,0	4,0
3	8,0	0,6	2,1	8,0	5,0
4	7,6	0,4	2,2	8,0	6,0

3 ДОСЛІДЖЕННЯ СФЕРИЧНИХ ПОРОШКІВ

У розділі наведено дослідження сферичних порошків сплавів ВЖ 98 ВІ та ЕП 648 ВІ виробництва за новою технологією та за базовою, а саме: проведено оцінку структури сферичних порошків, отриманих за новою та базовою технологіями; досліджено вплив частоти обертання електродвигуна устаткування типу УЦР на формування фракційного складу порошку; досліджено мікроструктури наплавленого матеріалу в залежності від порошку, що використовувався.

3.1 Виробництво сферичних порошків ТОВ «Мультіфлекс»

Як зазначалося у розділі 2, виробництво заготовок для розпилення проводили шляхом точіння з сортового матеріалу відповідного складу. Розпилення плазмою заготовки, що обертається проводили на власних потужностях із залученням устаткування типу УЦР. Порошки, отримані за цією технологією надалі будемо називати, як порошки, що отримані за новою технологією. Один з критеріїв якості порошку є зовнішній вигляд залишку заготовки після розпилення. У неякісно отриманому порошку, тобто коли режими розпилення підібрані не точно отримується випукла поверхня залишку заготовки або буде відмічена наявність скупчень металу або наростів. При цьому, зовнішній вигляд порошку, а саме його колір, надає можливість оцінити якість робочого газу, що використовується. На рис. 3.1 показані основні дефекти при розпиленні порошку.



а

б

в

а - змінений колір; б - нарости металу на периферії; в - нарости матеріалу всередині залишку заготовки

Рисунок 3.1 - Дефекти при отримання порошку

Проводили розпилення зі зміною частоти обертання електродвигуна. У табл. 3.1 наведено результати підрахунку виходу фракцій від частоти обертання електродвигуна.

Таблиця 3.1 - Результати розпилення порошку із зміною частоти обертання електродвигуна / заготовки

Частота обертання двигуна, хв^{-1}	Частота обертання заготовки, хв^{-1}	Фракція порошку, мкм							
		-40	-56 +40	-90 +56	-125 +90	-140 +125	-160 +140	-200 +160	+200
1300	11700	0,8	1,3	1,6	1,5	13,7	38,2	40,2	2,7
1600	14400	5,2	2,4	9,6	0,7	12,0	33,1	35,1	1,9
1750	15750	30,5	4,0	24,7	0,5	9,2	10,3	20,1	0,7
1800	16200	35,2	27,0	25,9	0,4	7,0	3,2	0,8	0,5

Візуально було встановлено, що в усіх фракціях порошку його частинки мали сферичну форму. Однак, були знайдені частинки несферичної форми та темного кольору. Такі частинки порошку можуть бути наслідком вигорання хрому при розпиленні та його сублімацією на поверхнях.

Використовуючи табл. 3.1 було побудовано залежності впливу виходу фракції порошку від частоти обертання ротору електродвигуна (рис. 3.2 – 3.4).

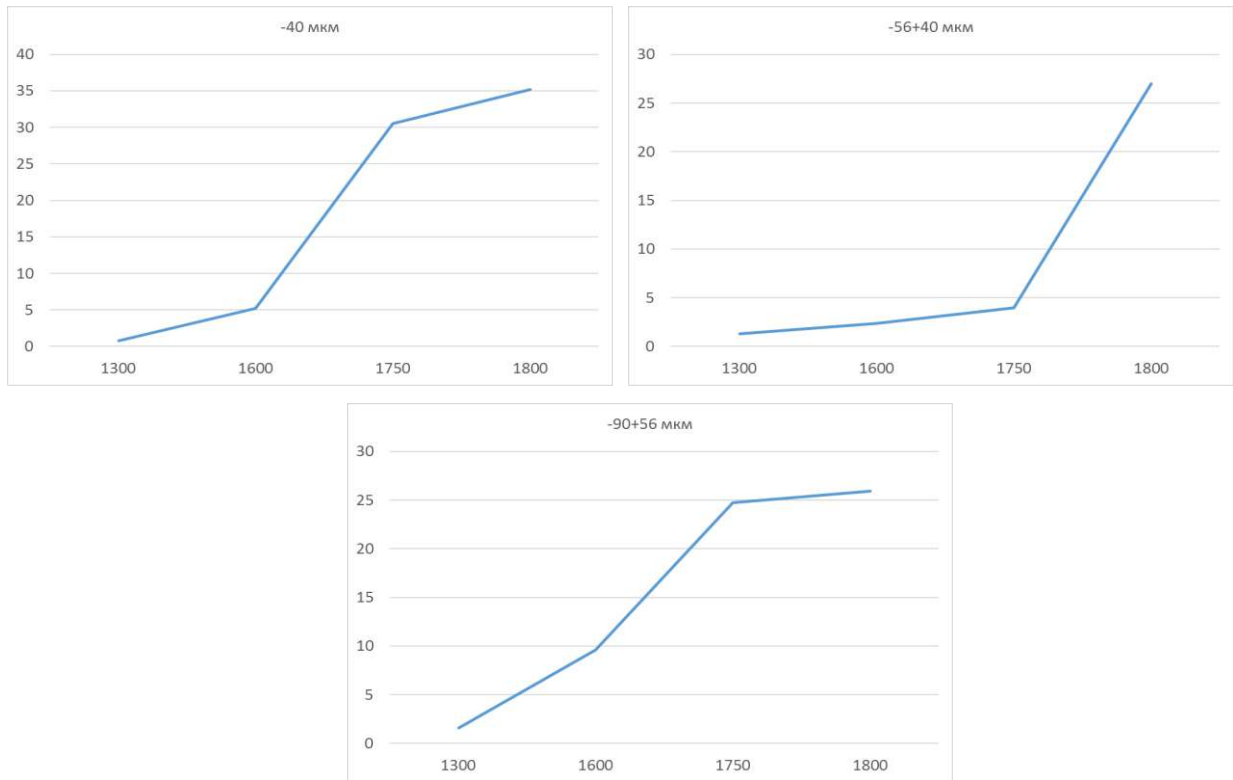


Рисунок 3.2 – Залежності впливу виходу «дрібних» фракцій порошку від частоти обертання ротору електродвигуна

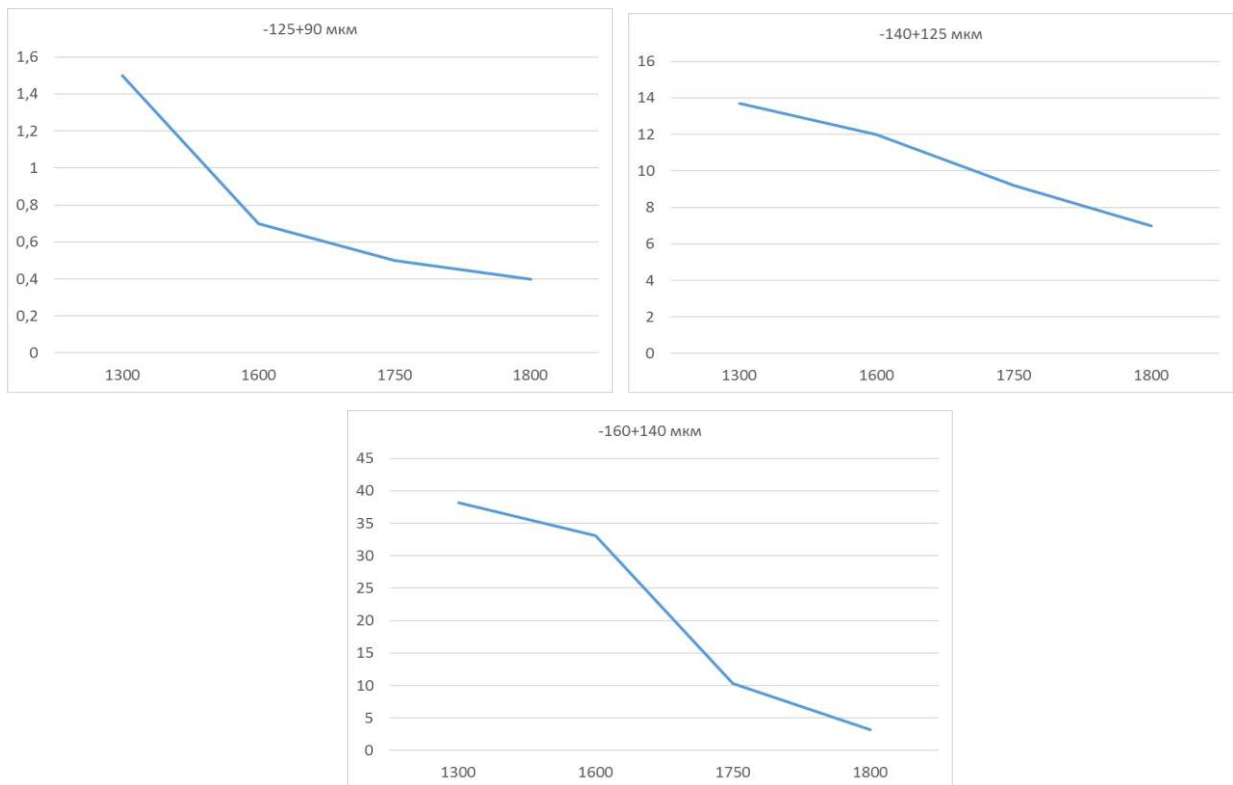


Рисунок 3.3 – Залежності впливу виходу годної фракції порошку від частоти обертання ротору електродвигуна

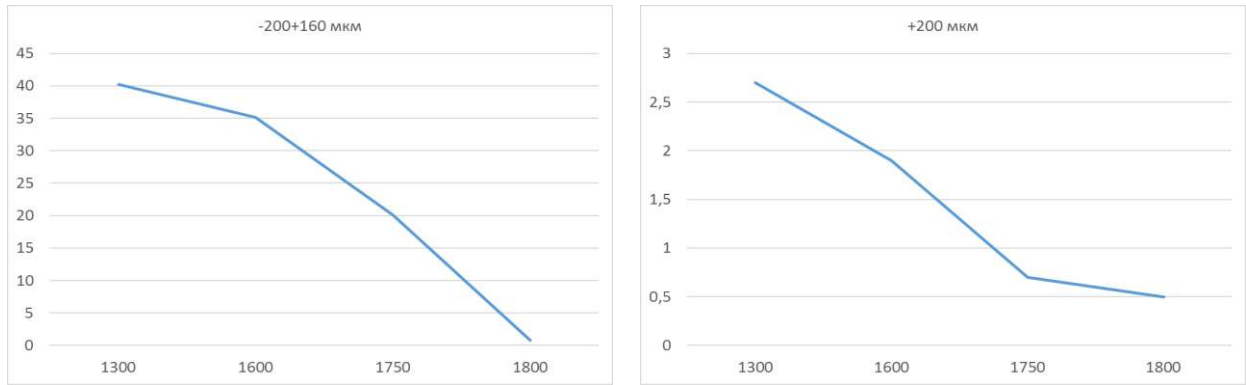


Рисунок 3.4 – Залежності впливу виходу «крупних» фракцій порошку від частоти обертання ротору електродвигуна

На всіх рисунках видно, що вихід фракції від частоти обертання електродвигуна змінюється прямопропорційно. У деяких випадках відбувається стрімке збільшення виходу фракції при частоті 1750 хв⁻¹ і вже при 1800 хв⁻¹ відбувається значне зниження вмісту цих фракцій в порошку. Зворотня картина спостерігається для «великих» фракцій порошку.

Вимоги замовника полягали в максимальному виході гідної фракції розміром від 50 мкм до 150 мкм. Залежність виходу цієї фракції порошку (%) від частоти обертання електродвигуна устаткування типу УЦР (хв⁻¹) показані на рис. нижче:

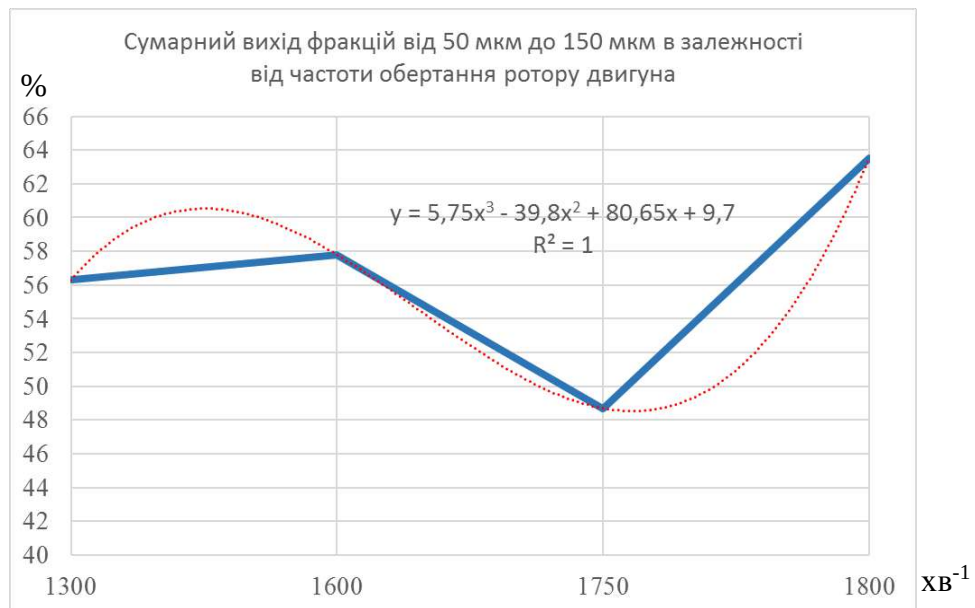


Рисунок 3.5 – Вихід гідної фракції для мікроплазмового розпилення

З даних малюнка можна побачити, що найбільший вихід годної фракції досягається при частоті обертання електродвигуна УЦР 1800 хв^{-1} . При цьому, плазматрон був відсунутий на 2,5 см від звичного для титанових сплавів (1,0 см) положення від краю заготовки. Це дозволяло досягати більшого прогріву заготовки під час розпилювання.

Користуючись програмним забезпеченням LibreOffice були побудована регресійна крива і визначено рівняння регресії з коефіцієнтом, близьким до 1. Крива регресії має поліномний вид зі ступенем 3.

Рівняння: $Y = 5,75 \times X^3 - 39,8 \times X^2 + 80,65 \times X + 9,7$ – дозволить з досить високим ступенем точності визначити вихід годної фракції від числа обертів двигуна при відцентровому плазмовому розпиленні сплавів аналогів ЕП 648.

3.2 Мікроплазмове наплавлення порошку, виготовленого на розроблених режимах

3.2.1 Зовнішній вигляд порошків для наплавлення

Зовнішній вигляд порошків із сплавів ЕП 648 ВІ і ВЖ98 ВІ наведено на рисунках 3.6 – 3.8.

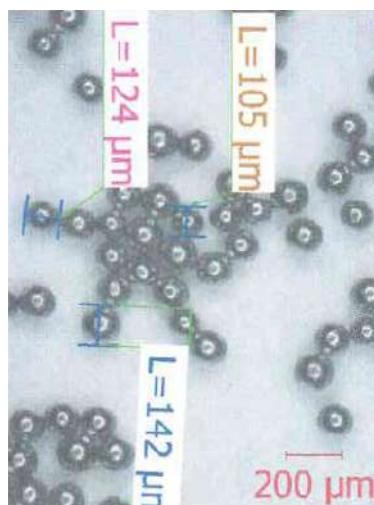


Рисунок 3.6 – Порошок зі сплаву ЕП 648 ВІ (Нова технологія)

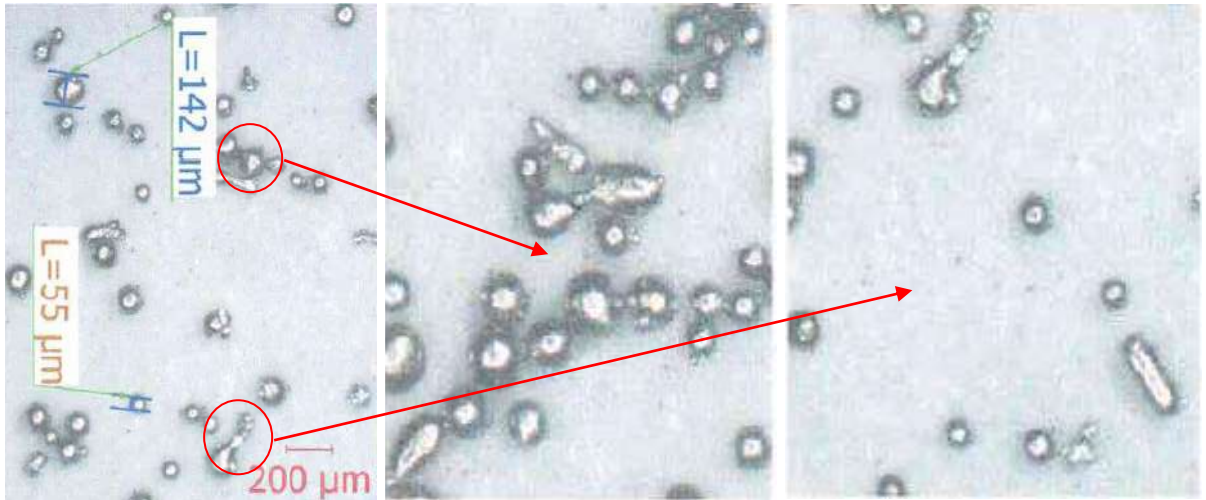


Рисунок 3.7 – Порошок зі сплаву ЕП 648 ВІ (Базова технологія)

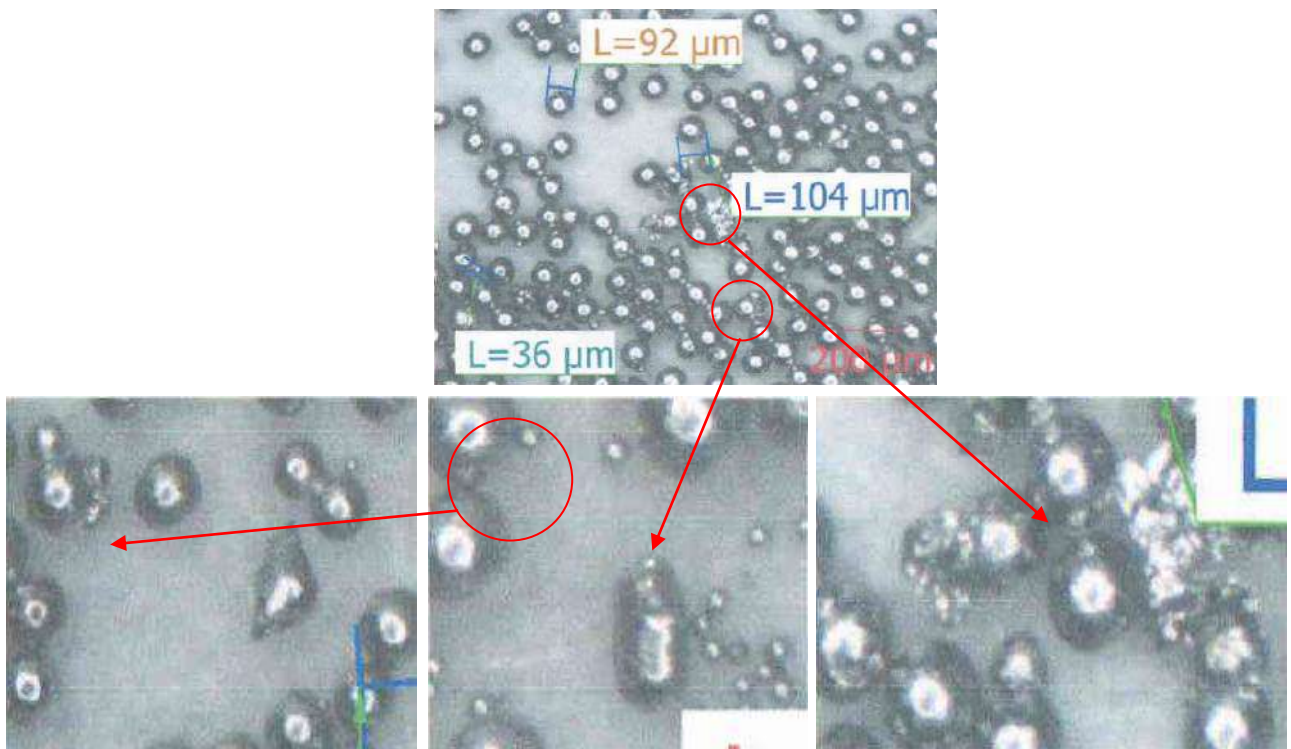


Рисунок 3.8 – Порошок зі сплаву ВЖ 98 ВІ (Нова технологія)

Частинки порошку зі сплаву ЕП 648 ВІ виробництва за новою технологією мають сферичну форму (рис. 3.6).

Форма частинок порошку зі сплаву ЕП 648 ВІ виробництва за базовою технологією характерна для порошоків, отриманих методом розпилення

розплаву струменем інертного газу: поряд зі сферичними частинками є частинки з відхиленнями від сферичної форми (рис. 3.7 а – 3.7 в).

Форма частинок порошку ВЖ 98 ВІ сферична, однак зустрічаються окремі частинки з відхиленнями від сферичної форми (рис. 3.8 а – 3.8 г).

3.2.2 Мікроплазмове наплавлення порошків

Технологічне випробування порошків із сплавів ВЖ 98 ВІ і ЕП 648 ВІ проводилось на роботизованій установці для мікроплазменого порошкового наплавлення Starweld 190 НР.

Перед завантаженням в дозатор установки усі порошки пройшли операцію просушування в печі (температура 250 °С, протягом 1 год).

При напавленні встановлено, що відхилення від сферичної форми окремих частинок, в порошках ЕП 648 ВІ виробництва за базовою технологією і ВЖ 98 ВІ виробництва за новою технологією на стабільність процесу помітного впливу не робили. Всі порошки в зону наплавлення надходили стабільно. Формування напавлених валиків було задовільним.

Макроструктура зразка шарувата характерна для багатошарового наплавлення (рис. 3.9).

У макроструктурі спостерігається шарувата будова металу, з рівномірним чергуванням зон сплавлення, як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямку, що пов'язано з коливальним рухом плазмотрона при напавленні. Спостерігаються витягнуті зерна аустеніту в сторону відведення тепла.

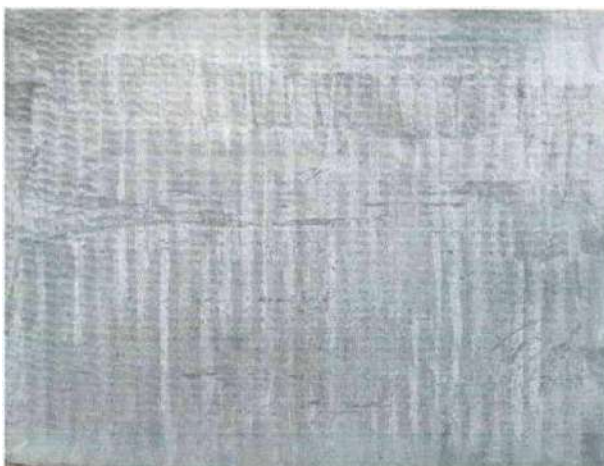
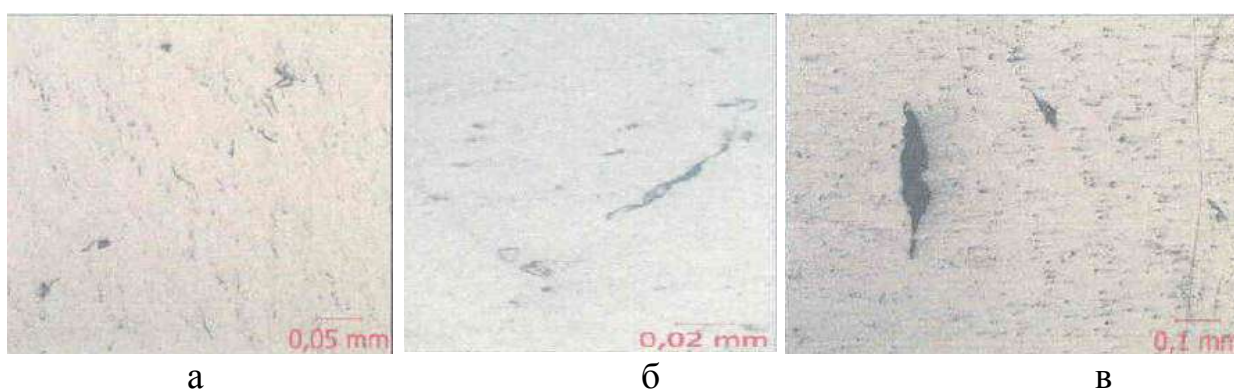


Рисунок 3.9 – Характерна макроструктура наплавленого металу

Дослідження отриманого металу проводилося методом мікроструктурного аналізу на повздовжніх і поперечних мікрошліфах. Дослідження не травлених шліфів показало, що метал зразків щільний, при цьому виявлено наявність несплошностей металу у вигляді пір, мікрорихлот, неметалевих включень і окислів, які утворилися в процесі вирощування зразків. На рис. 3.10 наведено мікроструктуру металу, наплавленого порошком зі сплаву ЕП 648 ВІ виробництва за базовою технологією. У наплавленого металу виявлені неметалеві включення, окисні плівки (рис. 3.10 а, рис. 3.10 б) раковини (рис. 3.10 в).

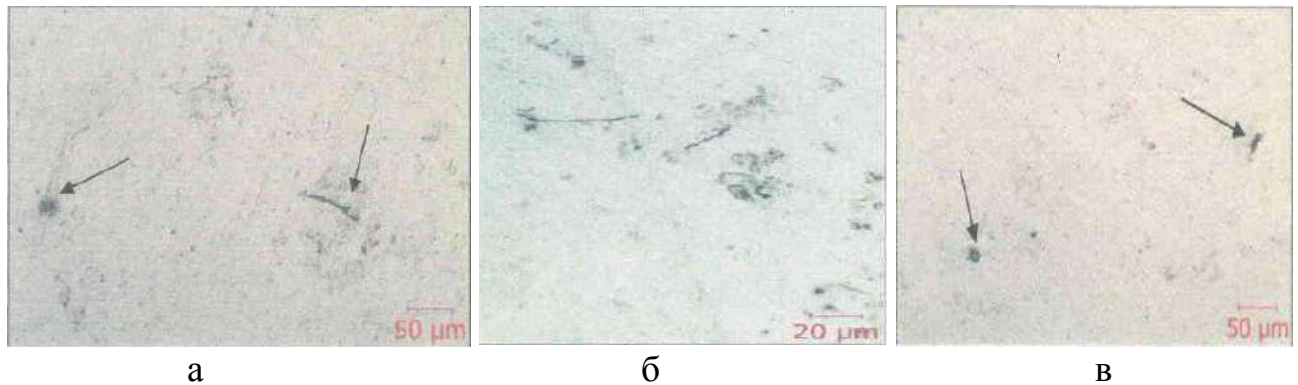


а – неметалеві включення; б – окисні плівки; в – раковини.

Рисунок 3.10 – Мікроструктура металу, наплавленого порошком ЕП 648 ВІ (Базова технологія)

На рис. 3.11 приведена мікроструктура металу, наплавленого порошком зі сплаву ЕП 648 ВІ виробництва за новою технологією. У наплавленого металу

виявлені неметалеві включення, окисні плівки (рис. 3.11 а, рис. 3.11 б), раковини (рис. 3.11 в), але у значно меншій кількості і з меншими розмірами порівняльно із металом, що наплавлено з порошку за базовою технологією отримання останнього.



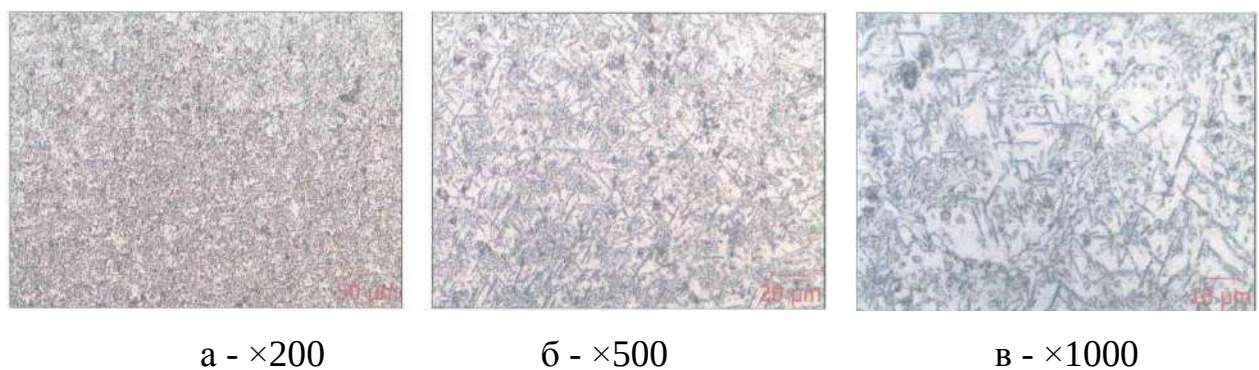
а – неметалеві включення; б – окисні плівки; в – раковини.

Рисунок 3.11 – Мікроструктура металу, наплавленого порошком ЕП 648 ВІ (Нова технологія)

Зразки після вирощування піддавали термообробці по наступному режиму (для деформованого стану):

- $T_3 = 1180\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 4$ год, охолодження на повітрі;
- $T_{\text{ст.}} = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 16$ год, охолодження на повітрі.

Мікроструктуру матеріалу зразків після термообробки наведено на рис. 3.12.



а - $\times 200$

б - $\times 500$

в - $\times 1000$

Рисунок 3.12 – Мікроструктура матеріалу зразків зі сплаву ЕП 648 ВІ після термічної обробки

Мікроструктура, що наведена на рис. 3.12 являє собою твердий розчин з наявністю інтерметаллідних фаз, карбідів, часток голчастої морфології надлишкової фази на основі хрому, відповідає нормальному термообробленому стану сплаву типу ВХ4Л (ЕП648), перегріву немає.

3.2.3 Дослідження хімічного складу

Хімічний склад заготовки для розпилення із сплаву ЕП 648 ВІ, отриманого за новою технологією, що використовувався для виготовлення порошку наведено в таблиці нижче.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад заготовки для отримання порошку ЕП 648 ВІ за новою технологією, % мас

	Al	W	Ti	Cr	Nb	Mo	C
ТУ 14-143-527- 2003	0.5 1.1	4.3 5.3	0.5 1.1	32.0 35.0	0.5 1.1	2.3 3.3	<0.1
Хімічний аналіз	0.8	4.6	1.0	33.0	0.9	3.1	0.07
Спектральний аналіз	0.97	4.71	1.0	33.28	0.96	2.87	

Хімічний склад відповідає вимогам ТУ 14-143-527-2003 «Прутки з жароміцного сплаву марки ХН50ВМТЮБ (ЕП 648 ВІ)».

Хімічний склад порошку сплаву ЕП 648 виробництва за базовою технологією, наведено нижче.

Таблиця 3.3 – Хімічний склад порошку ЕП 648, % мас

	Al	W	Ti	Cr	Nb	Mo	Mn	Fe	C
ТУ14-143-527- 2003	0.5 1.1	4.3 5.3	0.5 1.1	32.0 35.0	0.5 1.1	2.3 3.3	<0.5	<4.0	<0.1
Порошок базової технології	0,66	4,94	0,79	34,03	0,86	3,0	-	0,5	0,04
Порошок нової технології	1.1	4.4	1.0	33.8	0.75	3.3	0.13	0.4	0.05

Хімічний склад порошку сплаву ЕП 648 виробництва за базовою технологією відповідає вимогам ТУ 14-143-527-2003.

Хімічний склад заготовки, що використовувалася для виготовлення порошку та порошку зі сплаву ВЖ 98 ВІ, що отримано за новою технологією, наведено в таблиці нижче.

Таблиця 3.4 – Матеріали зі сплаву ВЖ 98 ВІ, % мас

заготовка							
	Al	W	Ti	Cr	Ni	Mn	C
ТУ 14-11747-76	н.б 0,50	13,0 16,0	0,3 0,7	23,5 26,5	Осн.	<0,5	<0,10
Хімічний аналіз	-	14,4	0,36	24,8	Осн.	-	0,05
Спектральний аналіз	-	14,31	0,45	25,33	Осн.	-	
порошок							
ТУ 14-11747-76	н.б 0,50	13,0 16,0	0,3 0,7	23,5 26,5	Осн.	<0,5	<0,10
Порошок фракції -0,125 +0,09	-	13,0	0,68	25,4	Осн.	-	
Порошок фракції -0,14 +0,125	-	13,3	0,69	24,8	Осн.	-	

Хімічний склад прутка і порошку відповідають вимогам ТУ 14-1-1747-76.

Вміст газів O₂ та N₂ в порошках різних виробників, а також в прутках, що використовувалися для розпилення порошку за новою технологією наведено в таблиці нижче.

Таблиця 3.5 – Вміст O₂ та N₂

№ п/п	Матеріал	Вміст газів, % мас	
		O ₂	N ₂
1	Порошок ЕП 648 ВІ (Базова технологія)	0,0133	0,0351
2	Порошок ЕП 648 ВІ (ВИАМ)	0,00682	0,0136
3	Порошок ЕП 648 ВІ (Нова технологія)	0,0045...0,00632	0,0253...0,0327
4	Порошок ВЖ 98 ВІ (Нова технологія)	0,00532	0,0418
5	Заготовка зі сплаву ЕІ 868 (Нова технологія)	0,00196	0,0395
6	Заготовка зі сплаву ЕП 648 (Нова технологія)	0,00222	0,0218

Хімічний склад порошків сплавів ВЖ 98 і ЕП 648 виробництва за новою технологією і ЕП 648 виробництва за базовою технологією відповідають вимогам на напівфабрикати зі сплавів аналогічного хімічного складу.

3.2.4. Хімічний склад наплавленого металу

Результати спектрального аналізу металу, наплавленого порошком ЕП 648 ВІ наведені в таблиці нижче.

Таблиця 3.6 – Хімічний склад наплавленого матеріалу з порошку ЕП 648 ВІ, % мас

	Al	W	Ti	Cr	Nb	Mo	Mn	Fe
Порошок по базовій технології	0,67	4,79	0,7	33,03	0,84	3,04	<0,5	<4,0
Порошок по новій технології	0,94	4,66	0,91	32,75	0,98	2,86	<0,5	<4,0

Результати спектрального аналізу металу, наплавленого порошком ВЖ 98 ВІ, отриманого за новою технологією наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Хімічний склад наплавленого матеріалу з порошку ВЖ 98 ВІ (Нова технологія), % мас

Al	W	Si	Cr	Ni	Mn	Ti
-	15,26	-	24,68	-	-	0,69

Хімічний склад металу, наплавленого порошком ЕІ 868 ВІ, що отримано за новою технологією, відповідає вимогам ТУ 14-11747-76.

Хімічний склад металу, наплавленого порошками ВЖ 98 ВІ і ЕП 648 ВІ виробництва за новою технологією і ЕП 648 виробництва за базовою технологією відповідають нормам хімічного складу напівфабрикатів зі сплавів ВЖ 98 ВІ і ЕП 648 ВІ.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДІЛЬНИЦІ

4.1 Характеристика ринку жаростійких матеріалів

Жароміцні і жаростійкі матеріали застосовують при виготовленні широкого спектру деталей складної геометрії, що мають застосування у: газових турбіни реактивної авіації, в корабельних установках, стаціонарних газових турбінах, при перекачуванні нафти і нафтопродуктів, при гідрогенізації палива, в нагрівальних металургійних печах та інше. Ряд сплавів застосовують в авіаційній промисловості (див. розділ 1). Актуальними питаннями для авіаційної промисловості є використання технологій об'ємного друку металевими сферичними порошками, у тому числі жароміцними та жаростійкими сплавами.

Головними перепонами у впровадженні таких технологій у авіаційну промисловість є неможливість використання зарубіжних порошків, оскільки регламентованими є хімічний склад сплаву. Тобто є необхідність виготовлення вітчизняних сферичних порошків. Наразі є виробники таких порошків, але якість матеріалу потребує додаткових витрат на відбір неякісного матеріалу. Під якісним матеріалом слід розуміти такі порошки у яких відсутні паразитивні форми частинок: сателіти, несферичні частинки порошку, великий розбіг по розміру порошків у межах фракції, наявність бруду з-за вигорання певних хімічних елементів при отриманні порошку. Тобто, базуючись на аналізі напрямків застосування та ймовірної вигоди для споживачів, згідно із рекомендаціями [16] можна заповнити наступну таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Виробництво сферичних порошків вітчизняних жароміцних сплавів на нікелевій основі високої якості.	Виробництво нових деталей адитивними технологіями.	Вітчизняні хімічні склади. Рівномірність розподілу легуючих елементів у хімічному складі однієї частинки.
	Наплавка деталей у рамках ремонтних робіт.	Малі концентрації елементів-домішок. Відсутність сателітів. Відсутність несферичних форм. Високі технологічні властивості порошку. Можливість здобути однорідну фракцію у межах партії порошку.
	Продаж сферичних порошків, як легуючих елементів та лігатур.	Можливість гнучкого переобладнання для виробництва інших сплавів.

Характеристика потенційного ринку для споживачів занесено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Головні конкуренти в Україні	УкрНДІспецсталь
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стрімко зростає
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Вимоги до складу, наявність паразитивних форм, фракційний склад.
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Потребує сертифікації, необхідно задовольняти вимогам внутрішніх технічних вимог.

Основні вимоги та потреби ринку внесено у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
1	Забезпечення вітчизняного хімічного складу.	авіабудівна, ремонт	Немає	ЕП 648, ВЖ98
2	Відсутність паразитивних форм частинок порошку.	авіабудівна, ремонт	Немає	100% сферичний порошок.
3	Рівномірний фракційний склад.	авіабудівна, ремонт	Об'єми постачання	Розмір порошку від 100 мкм до 150 мкм

На даний час в загальному обсязі виробництва ГТД у світі, в вартісному вираженні, авіаційні двигуни – 70 %, наземні і морські – 30 %. Обсяг виробництва: енергетичні ГТД ~ 91 %; ГТД для привода промислового устаткування і наземних транспортних засобів ~ 5 %; ГТД для привода судових рушіїв ~ 4 %.

Підприємства галузі авіабудування та авіа-ремонт у Україні, котрі потенційно потребують новий продукт наведено у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – 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	Державне підприємство «Антонов» (авіабудівна)	середня	1 т/місяць	середня	нормально

Продовження табл. 4.4

2	Державне підприємство «Спеціалізована зовнішньоторговельна фірма «ПРОГРЕС» (ДП СЗТФ «ПРОГРЕС») (авіабудівна)	висока	0,4 т/місяць	середня	ускладнено
3	АТ «МОТОР СІЧ» (авіабудівна, ремонт)	висока	1 т/місяць	низька	легко
4	Харківське державне авіаційне виробниче підприємство (ХДАВ)	висока	0,6 т/місяць	низька	нормально
5	General Electric (GE)	висока	-	висока	відсутня
6	Pratt&Whitney (P & W)	висока	-	висока	відсутня
7	Rolls-Royce (RR)	висока	-	висока	відсутня
8	Siemens	висока	-	висока	відсутня
9	ДП НВКГ «Зоря-Машпроект» (м. Миколаїв)	висока	2 т/місяць	висока	ускладнена
Які цільові групи обрано: авіабудівна, ремонт (п. 2, 3).					

Перспективними галузями і очікувані з цим інвестиції, є автомобільна, авіаційна промисловість, швидкісний залізничний транспорт і, в меншій мірі, суднобудування. Сучасні промислові ГТД енергетичного напрямку виготовляються з ресурсом до 100000 год і 2500 год до капітального ремонту. Однак такі зарубіжні двигуни як, LM 1600, LM 2500, LM 6000 (компанія

виробник GE) має повний ресурс до 160000 год і 40000 год до капітального ремонту, FT8 (компанія виробник P & W) має повний ресурс до 240000 год і 50000 год до капітального ремонту. Що стосується технічних характеристик, то деякі двигуни українського виробництва відповідають своїм аналогам, виробленим за кордоном. Одним з напрямків вітчизняного виробництва двигунів є розробка нових сплавів для виготовлення лопаток турбін.

Сплави повинні працювати в агресивних середовищах і при високих температурах і навантаженнях.

Сьогодні нікель є незамінний компонент багатьох жароміцних матеріалів (супер сплавів), які знаходять своє застосування при виготовленні деталей силових установок для цілей аерокосмічної промисловості. Нікелевий сплави користуються високим попитом на ринку кольорових металів.

З метою відображення взаємозв'язків стейкхолдерів створено Карту стейкхолдерів. Вона має відокремлено містити 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.

Карту стейкхолдерів подано на рис. 4.1.

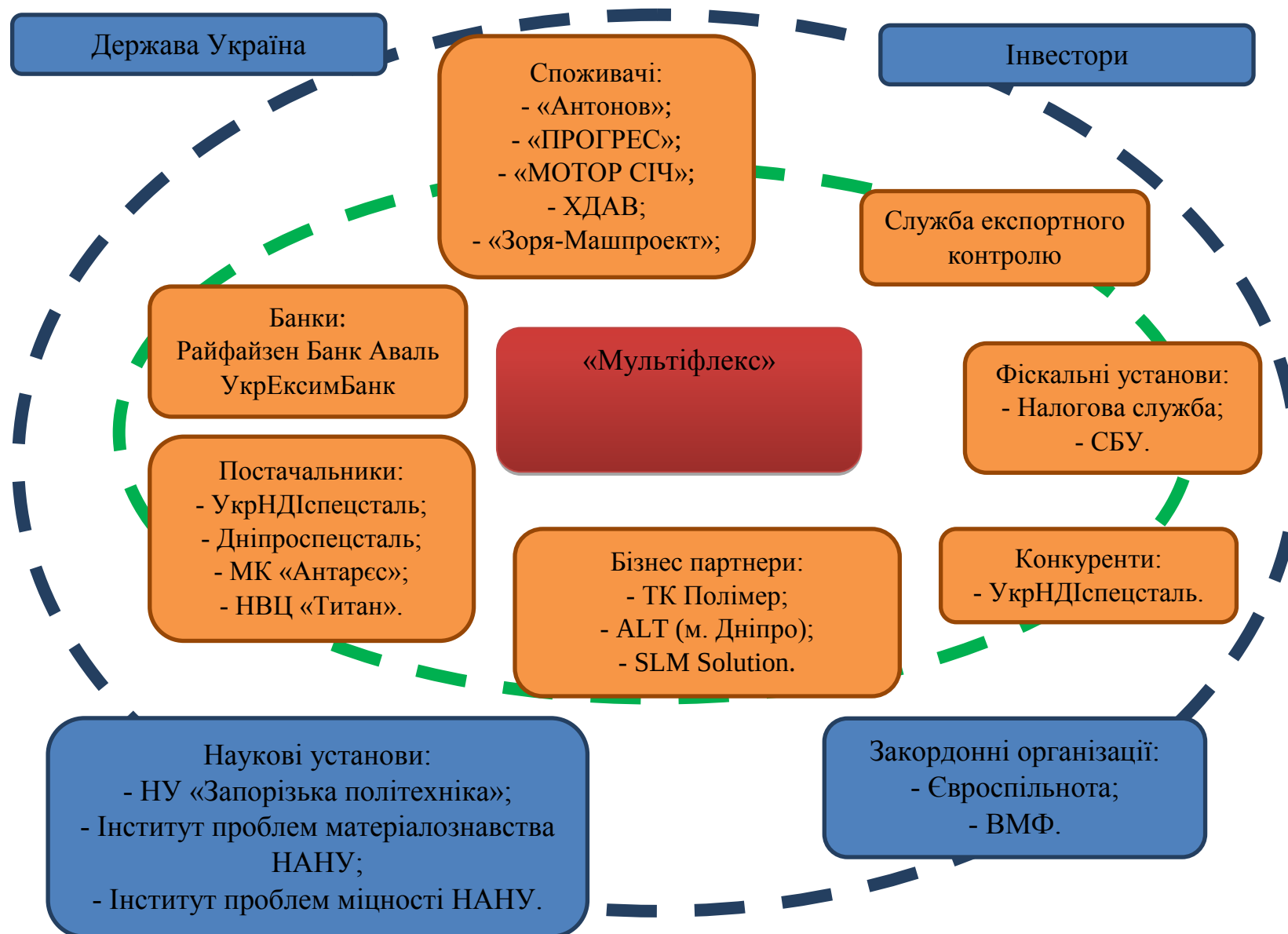


Рисунок 4.1 – Карта стейкхолдерів

4.2 Обґрунтування наукових досліджень

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання методів виготовлення сферичного порошку шляхом газового розпилення сплаву. Техніко-економічні показники виготовлення сферичного порошку наведено у табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Техніко-економічні показники виготовлення порошку

Найменування показника	Базова технологія	Нова технологія
1. Метод розпилювання	Газова атомізація	Відцентрова атомізація
2. Норма часу, t кг/год	0,123	0,086
3. Програма випуску, кг	1	1

Відомо, що порошок сферичний, виготовлений за базовою технологією, має собівартість $C_1 = 631,54$ грн/кг.

Для розрахунку собівартості нового виробу C_2 необхідно розрахувати собівартість удосконаленої технології виготовлення сферичного порошку. Вартість сировини і основних матеріалів розраховується на основі технічно обґрунтованих норм використання на виробництво одиниці виробу, цін відповідних видів матеріальних ресурсів. При цьому враховуються транспортно-заготівельні витрати. Сума витрат на сировину та матеріали зменшується на величину зворотних відходів, які створюються в процесі виробництва. Вартість сировини та основних матеріалів наведена в табл. 4.6.

4.2.1. Собівартість виробу

4.2.1.1. Прямі витрати

Таблиця 4.6 – Вартість сировини та основних матеріалів

Найменування сировини та основних матеріалів	Норма використання	Ціна, грн	Вартість, грн. (за базовою технологією)	Вартість, грн. (за новою технологією)
Заготовки сплаву ЕП 648 ВІ	1,216 кг	900,00	-	1 094,40
Шихтові заготовки ЕП 648 ВІ	1,0 кг	450,00	450,00	-
Газ аргон	0,8 л	28,20	22,56	-
Газ аргон	0,03 л	28,20	-	0,85
Газ гелій	0,12 л	180,00	-	21,60
Разом	-		472,56	1 116,85

Вартість електроенергії на технологічні цілі:

$$E = (T \cdot Q \div m) \times N_{\text{вик}}, \quad (4.1)$$

де $T = 2,68$ грн.- вартість 1 кВт електроенергії

$Q = 1504$ кВт – загальна витрата електроенергії

$m = 50,00$ кг – повна загрузка устаткування

$N_{\text{вик}} = 1,00$ кг – норма використання сировини на виготовлення 1 кг порошку

За базовою:

$$E = (2,68 \times 1\,504 \div 50) \times 1,00 = 80,61 \text{ грн}$$

Вартість технологічної електроенергії за новою технологією:

де $T = 2,68$ грн – вартість 1 кВт електроенергії

$Q = 1260$ кВт – загальна витрата електроенергії

$m = 400,00$ кг – повна загрузка устаткування

$N_{\text{вик}} = 1,216$ кг норма використання сировини на виготовлення 1 кг порошку

$$E = (2,68 \times 1\,260 \div 400) \times 1,216 = 10,27 \text{ грн}$$

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок. За базовою технологією працюють: плавильщик – розряд 5 (1 робітник); слюсар – розряд 4 (2 робітника); контролер – розряд 4 (1 робітник); підручний – розряд 1 (1 робітник). За новою технологією працюють: оператор – розряд 5 (1 робітник); контролер – розряд 4 (1 робітник); підручний – розряд 1 (1 робітник). Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в табл. 4.7 – 4.8.

Таблиця 4.7 – Заробітна платня (розцінка на виготовлення 1 кг порошку) основних робітників за базовою технологією

Найменування операції	Норма часу, п-годин	Розряд робіт	Годинна тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на кг. продукції (розцінка), грн.
Розігрів насосів (2 слюсаря)	0,02	4	50	2,00
Розігрів насосів	0,02	1	30	0,60
Підготовка вакуумних насосів, загрузка (2 слюсаря)	0,02	4	50	2,00
Підготовка вакуумних насосів, загрузка	0,02	1	30	0,60
Плавка	0,06	5	80	4,80
Плавка	0,06	1	30	1,80
Розпилення розплаву	0,003	5	80	0,24
Розпилення розплаву	0,003	1	30	0,09

Продовження табл. 4.7

Вигрузка порошку	0,02	4	50	1,00
Вигрузка порошку	0,02	1	30	0,60
Усього	0,123			13,73

Таблиця 4.8 – Заробітна платня (розцінка на виготовлення 1 кг порошку)
основних робітників за новою технологією

Найменування операції	Норма часу, п-годин	Розряд робіт	Годинна тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Розігрів насосів	0,004	1	30	0,12
Підготовка вакуумних насосів, загрузка	0,004	1	30	0,12
Підготовка плазмотрону	0,004	5	80	0,32
Підготовка плазмотрону	0,004	1	30	0,12
Виготовлення порошку	0,05	5	80	4,00
Виготовлення порошку	0,05	1	30	1,50
Охолодження устаткування	0,02	1	30	0,60
Вигрузка порошку	0,004	4	50	0,20
Вигрузка порошку	0,004	1	30	0,12
Усього	0,086			7,10

4.2.1.2. Непрямі витрати

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

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_D}{100} \text{ грн.}, \quad (4.2)$$

де K_D – процент додаткової заробітної плати.

$$ЗД_{\text{баз}} = 13,73 \times \frac{40}{100} = 5,49 \text{ грн}$$

$$ЗД_{\text{нова}} = 7,10 \times \frac{40}{100} = 2,84 \text{ грн}$$

Відрахування на соціальні заходи являють собою форму перерозподілу доходу на фінансування суспільних потреб, розраховуються згідно діючого законодавства і складають 22 % від фонду оплати праці. Відрахування на соціальні заходи розраховуються за формулою 5.3.

$$ВС = (ЗО + ЗД) \cdot \frac{K_{\text{вс}}}{100} \text{ грн.}, \quad (4.3)$$

де $K_{\text{вс}}$ – % відрахування на соціальні заходи за технологію.

$$ВС_{\text{баз}} = (13,73 + 5,49) \times \frac{22}{100} = 4,23 \text{ грн}$$

$$BC_{\text{нова}} = (7,10 + 2,84) \times \frac{22}{100} = 2,19 \text{ грн}$$

Загальновиробничі витрати вміщують витрати на утримання та експлуатацію обладнання, цехові витрати і послуги виробничого характеру. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання вміщують витрати на технічне обслуговування машин і механізмів, витрати на поточний ремонт обладнання, цехового транспорту та інструментів, знос малоцінних і швидкозношуваних приладів, заробітну плату допоміжного персоналу, що складає 200% від основної заробітної плати. Цехові витрати вміщують витрати, пов'язані з поточним ремонтом та амортизацією будівель цеху, заробітну плату керівників і спеціалістів цеху, витрати на охорону праці та техніку безпеки в цеху та інші.

$$ВУЕО = ZO \cdot \frac{\varepsilon}{100} \text{ грн.}, \quad (4.4)$$

де ε – % витрати на утримання та експлуатацію обладнання за технологію.

$$ВУЕО_{\text{баз}} = 13,73 \times \frac{200}{100} = 27,46 \text{ грн}$$

$$ВУЕО_{\text{нова}} = 7,10 \times \frac{200}{100} = 14,20 \text{ грн}$$

Загальновиробничі витрати складають в середньому 100 % до основної заробітної плати та розраховуються за формулою 4.5:

$$ЗВВ = ZO \cdot \frac{\alpha}{100} \text{ грн.}, \quad (4.5)$$

де α – % загально виробничих витрат за технологію.

$$ЗВВ_{баз} = 13,73 \times \frac{100}{100} = 13,73 \text{ грн}$$

$$ЗВВ_{нова} = 7,10 \times \frac{100}{100} = 7,10 \text{ грн}$$

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість.

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно - управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші.

Адміністративні витрати складають в середньому 100 % від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою 5.6:

$$AB = ZO \cdot \frac{\beta}{100} \text{ грн.}, \quad (4.6)$$

де β – % адміністративних витрат за технологію.

$$AB_{баз} = 13,73 \times \frac{100}{100} = 13,73 \text{ грн}$$

$$AB_{нова} = 7,10 \times \frac{100}{100} = 7,10 \text{ грн}$$

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

$$BЗ = C_v \cdot \frac{\gamma}{100} \text{ грн.}, \quad (4.7)$$

де C_v – собівартість виробнича, грн. за технологію.;

γ – % витрат на збут .

$$BZ_{\text{баз}} = 631,54 \times \frac{2}{100} = 12,63 \text{ грн}$$

$$BZ_{\text{нова}} = 1167,65 \times \frac{2}{100} = 23,35 \text{ грн}$$

Прибуток складає 10 % від повної собівартості і розраховується за формулою:

$$П = C \cdot \frac{P}{100} = 1167,65 \times \frac{10}{100} = 116,77 \text{ грн.}, \quad (4.8)$$

де P – рентабельність виробу, %.

Ціна виробу складає $Ц = C + П$, $1167,65 + 116,77 = 1284,42$ грн.

Калькуляція собівартості наведена в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Калькуляція виробничої собівартості виготовлення порошку

Стаття витрат		Базова технологія	Нова технологія
		Витрати на одиницю, грн.	Витрати на одиницю, грн.
1	Сировина і основні матеріали	472,56	1 116,85
2	Електроенергія $E = (T \cdot Q : m) \cdot N_{\text{вик}}$	80,61	10,27

Продовження табл. 4.9

3	Основна заробітна плата основних виробничих робітників $ЗО = ГТС \cdot N_{\text{час}}$	13,73	7,10
4	Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників $ЗД = ЗО \cdot \frac{K_d}{100}$	5,49	2,84
5	Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників $ВС = (ЗО + ЗД) \cdot \frac{22\%}{100}$	4,23	2,19
6	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	27,46	14,20
7	Загальновиробничі витрати $ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100}$	13,73	7,10
8	Адміністративні витрати $АВ = ЗО \cdot \frac{\beta}{100}$	13,73	7,10
Усього виробнича собівартість		631,54	1 167,65

Виходячи з наведених розрахунків, для виготовлення 1 кг порошку за базовою технологією: вага $V_1 = 1$ кг, повна собівартість $C_1 = 631,54$ грн, та програмою випуску $N = 1$ кг з яких 0,40 кг, тобто 40 % відбраковується (несферичні форми, сателіти та газові пори у частинках).

Для виготовлення 1 кг порошку за новою технологією: $V_2 = 1,216$ кг, $C_2 = 1167,65$ грн, 82,23 % – $N = 1$ кг без браку, 10 % – огарки заготовок, які є можливість переробити та отримати безвідходне виробництво, 7,77% – беззворотні втрати.

За рахунок підвищення якості порошку та використання нової технології, зменшується відсоток браку порошку.

4.3. Розрахунок економічного ефекту

Економія витрат в виробництві розраховується на основі економії конкретних видів матеріальних, трудових та інших ресурсів.

Звідси ми можемо розрахувати економічний ефект від впровадження нової розробки:

$$E = ((C_1 \cdot K_{e.p}) - C_2) \cdot N, \text{ грн; ,} \quad (4.9)$$

де C_2 – повна собівартість;

$K_{e.p}$ – коефіцієнт економічного ресурсу;

C_1 – собівартість до удосконалення.

$$E = ((631,54 \times 5) - 1\,167,65) \times 1 = 1990,05 \text{ грн}$$

Аналізуючи результати підрахунку, технологія дає можливість покращити якісні характеристики у п'ять разів.

Беззбитковість виробництва вміщує розрахунок критичного обсягу виробництва продукції, Точка беззбитковості наводиться на графіку.

Математично точка беззбитковості (ВЕР) може бути визначена за формулою:

$$VER = \frac{FC}{P - AVC} \text{ (одиниця продукції)} \quad (4.10)$$

Величина $(P - AVC)$ носить назву питомої (на одиницю продукції) маржинального прибутку. Якщо відома її частка (норма) в ціні виробу, точка беззбитковості може бути розрахована (в грошовому вираженні) наступним чином:

$$BEP = \frac{\text{Постійні витрати}}{\text{норма маржинального прибутку}} \quad (4.11)$$

P – рентабельність виробу 10 %

$$\text{Прибуток} = \text{Ціна}_i \times N - \text{Собівартість}_i \times N$$

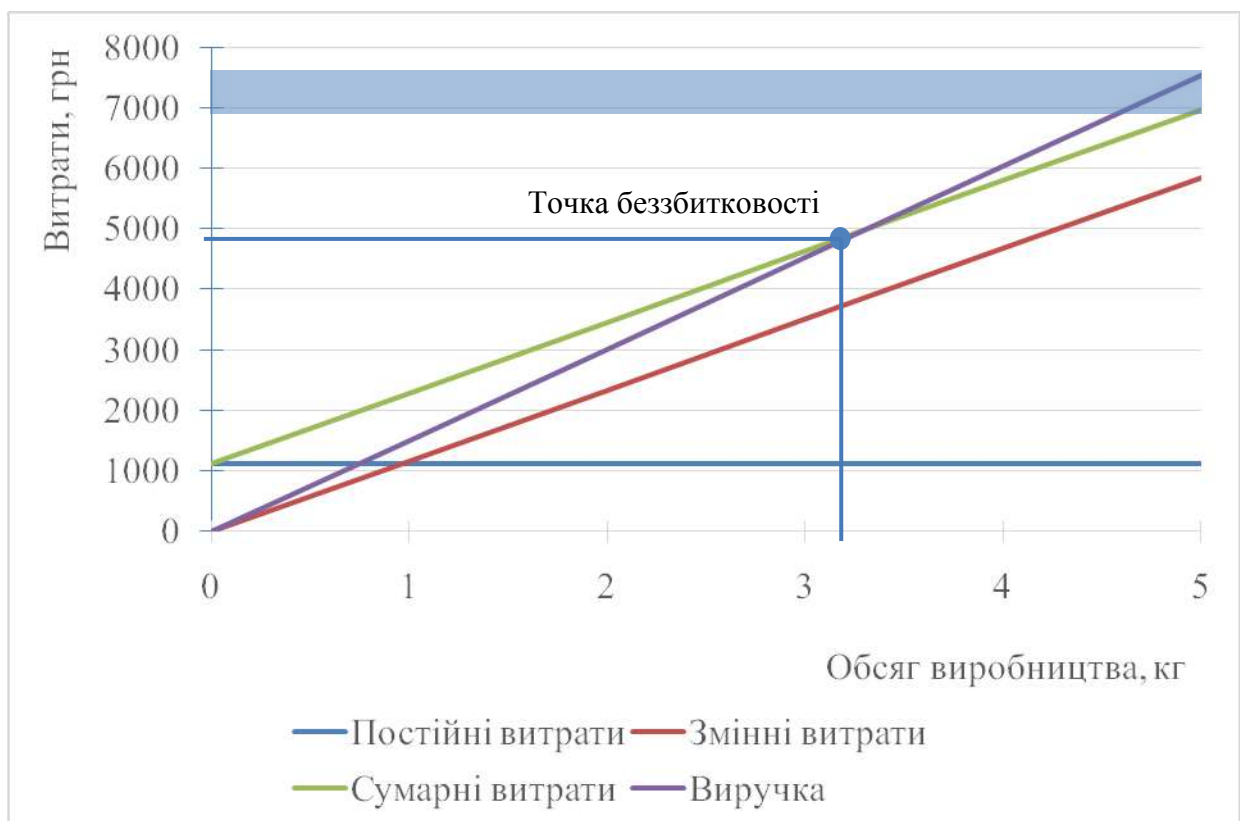


Рисунок 4.2 – Графік точки беззбитковості

Вертикальна сторона прямокутника відповідає обсягу прибутку.

Таким чином можна зробити висновок, що собівартість виготовлення 1 кг порошку, яка складає 1167,65 грн за новою технологією, проти 631,54 грн за 1 кг за базовою технологією, більша ніж базова на 536,11 грн тому що:

- Додатково використовується дорогий плазма утворюючий газ гелій;
- Повна загрузка устаткування (400 кг) більша на 350 кг, ніж

устаткування за базовою технологією (50 кг);

Але, виробництво порошків за базовою технологією призводить до значного зменшення їх якості та великої кількості браку (40 %). Брак полягає у наявності сателітів та несферичних форм, пористість частинок порошку. Такі частинки порошку призведуть до виходу із строю обладнання для наплавлення. Тому, додатково потрібно проводити спеціальні енергокоштовні роботи по усуненню дефектів порошків за базовою технологією. Нова технологія дозволяє забезпечувати високу якість кінцевого продукту.

При незначному збільшенні ціни виробу можемо збільшити прибуток. За рахунок нової технології існує можливість скоротити кількість браку, що дозволить підвищити якість сферичного порошку.

На даний час в Україні спостерігається розвиток підприємств, які спеціалізуються на ремонті ГТД, при чому не тільки авіа, але й стаціонарних установок. У 2019 – 2020х роках ця галузь є прибутковою, а що найголовніше, вона також частково направлена на іноземних замовників, що розширює потенціал даної діяльності.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці згідно ДСТУ 2293:2014 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять» [17] при розробці технології виготовлення порошків з жароміцних сплавів.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) небезпеки, які пов'язані з порушенням роботодавцем вимог НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» [18], а саме належного облаштування робочих місць і виробничих, санітарно-побутових та інших приміщень на підприємстві, в установі, організації безпечного використання працівниками засобів праці, забезпечення навчання працівників і залучення їх до вирішення питань охорони праці, належного облаштування шляхів евакуації і аварійних виходів;

б) можливість ураження електричним струмом внаслідок порушень правил з електробезпеки, що може призвести до електричних травм або летального наслідку;

в) небезпеки, які пов'язані з визначенням хімічного складу дослідних матеріалів методом спектрального аналізу;

г) небезпеки, які пов'язані з виконанням робіт на устаткуванні УЦР;

д) небезпеки, які пов'язані з обробкою результатів досліджень на персональному комп'ютері, а саме вплив електромагнітного випромінювання, видимого випромінювання (інфрачервоного), перенапруження зорової системи, вплив електростатичного поля, статичного і динамічного перенапруження у працюючого;

е) ушкодження органів дихання внаслідок наявності дрібнодисперсних частинок порошків, що призводить до розвитку професійного захворювання;

є) небезпеки, які притаманні умовам праці в надзвичайних ситуаціях, зокрема можливість загорянь та порушення вимог Кодексу цивільного захисту України;

5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

а) Згідно вимог [18], повинні бути створені безпечні умови праці для працівника, при цьому необхідно дотримуватися таких основних принципів запобігання небезпекам:

- виключення небезпек, якщо це є можливим і реальним та обмеження впливу небезпек, котрих уникнути неможливо;
- усунення небезпек у їх першоджерелах та обмеження їх впливу на організм людини, що працює в зоні ураження;
- забезпечення колективних та індивідуальних засобів захисту.

Навчання і перевірка знань з питань охорони праці працівників, а також учнів, курсантів, слухачів та студентів навчальних закладів під час трудового і професійного навчання здійснюються відповідно до Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Державний комітет України з нагляду за охороною праці № 15 від 26.01.2005 [19].

Під час облаштування робочих місць, роботодавець повинен опиратися на основні вимоги щодо облаштування:

- конструкція і міцність будівель та споруд, призначених для розміщення робочих зон, повинні відповідати їх призначенню, зокрема забезпечувати;

- справний робочий стан устаткування і захисних пристроїв у робочих зонах, сприятливі умови для усунення виявлених несправностей, які можуть негативно вплинути на безпеку і здоров'я працівників;

- можливість регулярного контролю і перевірок здатності функціонування захисних засобів і пристроїв, призначених для запобігання небезпеці або її усунення;

- регулярне очищення робочих зон і їх устаткування, особливо в закритих робочих приміщеннях, для забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов;

- шляхи евакуації, аварійні виходи і підходи до них повинні бути вільними від будь-яких предметів, надавати можливість найкоротшого шляху на зовнішній простір або до безпечної зони і мати належні позначення (сигнальними кольорами, дороговказівками, написами, знаками безпеки тощо) відповідно до Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 25.11.2009 № 262.

Шляхи евакуації і аварійні виходи мають забезпечуватися евакуаційним освітленням відповідно до вимог будівельних норм та правил улаштування електроустановок. Світильники евакуаційного освітлення повинні вмикатися з настанням сутінків у разі перебування в приміщеннях працівників. Працівникам забезпечується можливість швидко і в повній безпеці залишити всі місця;

б) Для виключення ураження електричним струмом, згідно НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок»[20] передбачено:

- призначити працівників, відповідальних за безпечне проведення робіт;
- видати наряд або розпорядження;
- видати дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск;
- підготувати робочі місця та забезпечити допуск до роботи;
- забезпечити нагляд при виконанні робіт;
- при необхідності, організувати переведення на інше робоче місце;

– забезпечити оформлення перерв у роботі та порядок її закінчення.

Основні заходи захисту людини від ураження електричним струмом:

- забезпечення неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;
- електричний розподіл мережі;
- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається захисним заземленням, зануленням і захисним відключенням;
- використання малих напруг;
- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухами, огороженням або подвійною ізоляцією;
- захист від небезпек можливих при переході напруги з вищої сторони на нижчу;
- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів, блокувань, сигналізації та запобіжних пристроїв;
- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Використання захисного заземлення:

- Робоче заземлення – це заземлення струмоведучих частин електроустановки, яке виконане для забезпечення роботи електроустановки (не з метою електробезпечності),
 - Заземлення блискавкозахисту – це заземлення блискавкоприймача, з метою захисту об'єкта від прямого удару блискавки;
 - Захисне заземлення – це заземлення, яке виконане з метою електробезпечності, тобто з'єднання відкритих провідних частин (ВПЧ) із заземлювачем для захисту від непрямого дотику та від наведеного напруги.

Заземлення використовують також для захисту від статичної електрики, що накопичується при терті діелектриків для захисту від електромагнітних випромінювань, підключаючи екрани до заземлювача і т.п.

в) Заходи безпеки при використанні рентгено-флюорисцентного методу при визначенні хімічного складу матеріалу.

При роботі з рентгенівським випромінюванням виникає отримання надлишкової дози радіаційного випромінювання, яке може призвести до негативних змін в організмі людини на клітинному рівні. Тому безпека роботи з рентгенівським випромінюванням при аналізі хімічного складу сплавів має забезпечуватися такими чинниками:

- застосування рентгенодіагностичної апаратури, яка відповідає вимогам безпеки, зазначеними у ДСНіП 3.3.6.096-2002 «Державними санітарними нормами і правилами при роботі з джерелами електромагнітних полів» [21], ДСН 239-96 «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» [22];

- правильний вибір, розміщення і експлуатування технічного оснащення;
- правильний вибір і виконання досліджень;
- використання індивідуальних засобів захисту від жорсткого іонізуючого випромінювання.

- для запобігання шкідливої дії іонізуючих випромінювань необхідно усувати будь-яку можливість опромінювання дозами, які перевищують гранично допустимі.

Шкідливий вплив рентгенівського випромінювання полягає у зміні клітинної структури внутрішніх органів людини, порушуючи діяльність клітин кісткового мозку та приводячи до мутації. В якості захисту використовуються захист часом, виключаючи безперервний вплив випромінювання на організм людини, захист відстанню та використання екрануючих пристроїв які не пропускають рентгенівські промені.

г) заходи з охорони праці при роботі на устаткуванні УЦР. Основні критерії захисту працівників згідно вимог: ГОСТ 12.4.002-97 «ССБТ. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний» [23].

Основні заходи можна звести до: обслуговування установки УЦР повинно проводитися з дотриманням усіх вимог інструкцій на допоміжні /

забезпечуючи прилади, а також правил і норм експлуатації електротехнічних установок, загальних правил техніки безпеки, що діють в організації, з дотриманням інструкції з вакуумної гігієни. На установці УЦР повинні бути вивішені таблиці і плакати з техніки безпеки.

Обладнання безпечно в експлуатації при дотриманні наступних вимог:

- Всі пристрої та елементи, які нормально не перебувають під напругою, але можуть в разі пробою ізоляції опинитися під напругою, повинні бути надійно заземлені приєднанням до цехового контуру заземлення;

- Всі роботи по ремонту і огляду обладнання повинні проводитися тільки при знятій напрузі;

- До обслуговування УЦР допускається персонал, який досяг фізично здоровий і пройшов спеціальну підготовку по експлуатації всього обладнання, встановленого УЦР.

- Схема електричного живлення електропечі і регулювання температури повинна бути справна;

- Система водоохолодження, вимоги, що пред'являються до охолоджувальної води, управління подачею води повинні бути перевірені перед пуском обладнання;

Персонал, який відповідає за роботу, повинен пам'ятати, що включення устаткування УЦР категорично забороняється з: несправною системою водоохолодження (без подачі води в усі водоохолоджувані порожнини); несправною системою блокування і сигналізації; вакуумом гірше $1,33 \times 10^{-1}$ Па і натіканні більш 0,066 Па/с; несправним приладом контролю тиску.

Про всі порушення, несправності і причини їх появи необхідно записувати в спеціальний журнал, який передається позмінно.

Робота устаткування повинна бути припинена, якщо: виявлена несправність системи блокувань і сигналізації; температура води на виході перевищує $+ 45$ °С (для паромасляного насоса – за інструкцією заводу); виявлено течі в системі водоохолодження або переповнення зливної воронки; тиск води в системі охолодження вище допустимої норми; не забезпечується

вакуумна відкачка до розрядження $1,33 \times 10^{-1}$ Па; вийшли з ладу вакуумні датчики або вакуумметр і неможливий контроль вакууму; тиск газу при роботі підвищується більш допустимої норми; виявлена несправність мановакуумметра і неможливий контроль тиску газу; вийшли з ладу прилади контролю температури і вимірювання температури неможливий; виявлена несправність заземлення будь-якого елемента; виявлено неприпустимий нагрів або стати причиною пожежі електричних проводів, приладів, апаратів, трансформатора і т.д.; стрілки вимірювальних приладів безладно відхиляються.

Щоб виключити можливість отримання опіків під час роботи із устаткуванням в процесі розпилення порошку необхідно, щоб електроустаткування повинно відповідати і експлуатуватися відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» [20], НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» [24] і НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» [25]. Інтенсивність теплового опромінення на робочих місцях не повинна перевищувати нормативів ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартів безопасности труда общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [26]. Механізми управління та обслуговування повинні розміщатися в теплоізованих кабінах з утворенням оптимальних умов мікроклімату ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [27].

Для забезпечення умов безпечної роботи і запобігання аварій через неправильні дії обслуговуючого персоналу є наступні блокування:

- вимкнення нагріву, якщо: порушено водоохолодження в будь-якому з ланцюгів системи охолодження; струм більше допустимого; тиск газу підвищується більш заданого; температура підвищується більш заданої; відключилася плита паромасляного насоса;

- вимкнення плити паромасляного насосу, якщо: порушено водоохолодження насосу; сталося відключення механічних форвакуумних насосів.

д) Для зменшення негативного впливу на здоров'я працівників виробничих факторів, пов'язаних з роботою на комп'ютерах, необхідно раціонально організувати режим праці і регламентовані перерви для відпочинку.

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

Кут зору екрана повинен бути прямим і становити 90 градусів. Освітлення повинно бути змішаним (природним та штучним). У приміщенні кабінету і на робочому місці необхідно підтримувати чистоту і порядок, проводити систематичне провітрювання.

Для підвищення вологості повітря в приміщенні з персональним комп'ютером необхідно зволожувати повітря за допомогою кімнатних зволожувачів.

е) для ушкодження органів дихання внаслідок наявності дрібнодисперсних частинок порошків оптимальний склад і тип систем вентиляції, кондиціонування відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [28]

5.3 Захист навколишнього середовища

Запобігання забрудненню повітряного басейну шкідливими речовинами і пилом, що видаляються з виробничих, приміщень, здійснюють, пропускаючи забруднене повітря через спеціальні очисні пристрої які фільтрують і знешкоджують його, а дими після очищення розсіюються в атмосфері. Очищення повітря, що віддаляється із приміщень від пилу, може бути тонким, середнім та грубим. Іноді використовують двоступеневе очищення повітря від пилу: на першому ступені виловлюється великий пил, на другий – дрібна. Вибір

того або іншого пилоочисного пристрою визначається дисперсністю і фізико-хімічними характеристиками пилу. Істотними є міркування про можливість утилізації затриманого пилу. Очищення повітря від газоподібних домішок (рекуперацію) здійснюють шляхом абсорбції (поглинання домішок твердими речовинами) або переведення газоподібних домішок в рідкий або твердий стан з наступним їх виведенням. Обсяг маслоприймача повинен бути розрахований на одночасний прийом 100 % масла, яке міститься в корпусі трансформатора або реактора, і 80 % масла, яке міститься в одному баку бакового вимикача.

5.4 Заходи з пожежної безпеки та забезпечення безпеки в разі виникнення надзвичайних ситуацій

5.4.1 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Пожежна безпека входить в комплекс заходів з охорони праці, і організаційна робота в цій сфері на об'єктах господарювання включає широкий спектр заходів, а саме: створення умов для безпечної праці, мінімізації ризику виникнення пожеж, своєчасне і повноцінне забезпечення технічними засобами для запобігання займання та усунення самих пожеж та їх наслідків, контроль дотримання протипожежних вимог і норм законодавства, розробка і впровадження регламентів по гасінню пожеж, евакуації та порятунку з місць пожежі й задимлення людей і майна (матеріальних цінностей), внутрішнє і зовнішнє навчання співробітників.

Заходи пожежної безпеки в приміщеннях хімічної лабораторії Національного університету мають наступний вигляд. Будь-які перепланування, зміни функціонального призначення приміщень здійснювати тільки за наявності проектної документації, яка пройшла попередню експертизу на відповідальність нормативним актам з питань пожежної безпеки з позитивним результатом в органах державного пожежного нагляду. В усіх,

незалежно від призначення, приміщеннях, які після закінчення роботи замикаються і не контролюються черговим персоналом, з усіх електроустановок та електроприладів, а також з мереж їх живлення повинна бути відключена напруга (за винятком чергового освітлення, протипожежних та охоронних установок, а також електроустановок, що за вимогами технології працюють цілодобово). Шляхи евакуації, що не мають природного освітлення, у разі наявності людей повинні постійно освітлюватись електричним світлом.

Приміщення хімічної лабораторії за пожежною небезпекою відповідно до НАПБ Б.03.002 – 2007 належать до категорії "В", за НПАОП 40.1-1.32-1 (ПБЕ) – до зони класу П-І.

Евакуаційні шляхи та виходи завжди утримувати вільними, нічим не зашарашеними. Завідувач лабораторії наприкінці робочого дня зобов'язаний особисто пересвідчитись у пожежобезпечності приміщень хімічної лабораторії, вимкнути всі струмоприймачі та зачинити входні двері на замок.

5.4.2. Організація управління персоналом під час надзвичайної ситуації

Порядок проведення рятувальних та інших невідкладних робіт при аваріях на АЕС. Незважаючи на велику кількість заходів, які здійснюються для забезпечення надійного функціонування промислових об'єктів, неможливо повністю виключити ризик виникнення аварійних ситуацій техногенного характеру. У Кодексі Цивільного захисту України наголошено, що «Керівництво підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і підпорядкування забезпечує своїх працівників засобами індивідуального і колективного захисту, організовує здійснення евакозаходів, створює сили для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та забезпечує їх готовність до практичних дій, виконує інші заходи з ЦО і несе пов'язані з цим матеріальні та фінансові витрати».

Сутність рятувальних та інших невідкладних робіт (РІНР) - це усунення безпосередньої загрози життю та здоров'ю людей, відновлення життєзабезпечення населення, запобігання або значне зменшення матеріальних збитків. Рятувальні та інші невідкладні роботи включають також усунення пошкоджень, які заважають проведенню рятувальних робіт, створення умов для наступного проведення відновлювальних робіт. РІНР поділяють на рятувальні роботи і невідкладні роботи.

До рятувальних робіт відносяться:

- розвідка маршруту руху сил, визначення обсягу та ступеня руйнувань, розмірів зон зараження, швидкості і напрямку розповсюдження зараженої хмари чи пожежі;
- локалізація та гасіння пожеж на маршруті руху сил та ділянках робіт;
- визначення об'єктів і населених пунктів, яким безпосередньо загрожує небезпека;
- визначення потрібного угруповання сил і засобів запобігання і локалізації небезпеки;
- пошук уражених та звільнення їх з-під завалів, пошкоджених та палаючих будинків, із загазованих та задимлених приміщень;
- розкриття завалених захисних споруд та рятування з них людей;
- надання потерпілим першої допомоги та евакуація їх (при необхідності) у лікувальні заклади;
- вивіз або вивід населення із небезпечних місць у безпечні райони;
- організація комендантської служби, охорона матеріальних цінностей і громадського порядку;
- відновлення життєздатності населених пунктів і об'єктів;
- пошук, розпізнавання і поховання загиблих;
- санітарна обробка уражених;
- знезараження одягу, взуття, засобів індивідуального захисту, територій, споруд, а також техніки;
- соціально-психологічна реабілітація населення.

До невідкладних робіт відносяться:

- прокладання колонних шляхів та улаштування проїздів (проходів) у завалах та на зараженій території;
- локалізація аварій на водопровідних, енергетичних, газових і технологічних мережах;
- ремонт та тимчасове відновлення роботи комунально-енергетичних систем і мереж зв'язку для забезпечення рятувальних робіт;
- зміцнення або руйнування конструкцій, які загрожують обвалом і безпечному веденню робіт;

Відновлювальні роботи ЦО не виконує, їх здійснюють спеціально створені підрозділи (бригади). Залежно від рівня надзвичайної ситуації (загальнодержавного, регіонального, місцевого чи об'єктового) для проведення РІНР залучаються сили і засоби ЦО центрального, регіонального або об'єктового підпорядкування.

При радіаційних аваріях викинуті із реактора радіонукліди піднімаються в атмосферу і переносяться у вигляді аерозолей на значну відстань. Потім вони випадають разом з пилом і дощем на місцевість, утворюючи обширні зони радіоактивного забруднення, які є небезпечними для людей і навколишнього середовища. Ступінь радіаційної небезпеки для населення визначається кількістю і складом радіонуклідів, викинутих у зовнішнє середовище, відстанню від місця аварії до населеного пункту, метеоумов і пори року в час аварії. Організація і проведення РІНР при аварії на АЕС полягає у виконанні заходів, до яких відносяться:

- оповіщення населення про аварію і постійне його інформування про наявну обстановку та порядок дій в даних умовах;
- використання засобів колективного та індивідуального захисту;
- організація дозиметричного контролю;
- проведення йодної профілактики населення, що опинилося в зоні радіоактивного зараження;
- введення обмеженого перебування населення на відкритій місцевості

(режими радіаційного захисту);

– здійснення евакуації населення (за розпорядженням Уряду) та інші заходи.

Після евакуації населення приступають до дезактивації території і техніки [29].

ВИСНОВКИ

Встановлено, що використання відцентрового плазмового розпилення заготовок дозволяє підвищити якість порошку, однорідною структурою та розподілом хімічного складу. Використання такого порошку позитивно впливає на технології наплення деталей, шляхом формування низької кількості дефектів структури наплавленого металу.

Встановлено закономірності формування фракційного складу сферичного порошку від технологічних режимів розпилення.

Практичне використання отриманих результатів дозволить отримувати промислові партії порошку високої якості та фракційної однорідності. Встановлені закономірності формування фракційного складу порошку дозволять регулювати вихід фракції при розпиленні. Отримані наукові результати роботи лягли в основу створення участка по виготовленню сферичних порошоків методом плазмового розпилення заготовки, що обертається.

Розрахований економічний ефект від використання нової технології. Проведено аналіз потенційних небезпек при дослідженні процесу розпилення заготовок нікелевого сплаву методом плазмового розпилення заготовок, що обертається. Надані основні заходи з охорони праці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДП “УкрНДІспецсталь” Режим доступу: <https://ussi.zp.ua/>
2. Симс, Ч.Т. Суперсплавы II: Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок [Текст] / Ч.Т. Симс – М. : Металлургия, 1995. – 384 с.
3. Дудихин, Д.В. Способы получения сферических порошков для аддитивных лазерных технологий [Текст] / Д.В. Дудихин, А.А. Сапрыкин // MASTER`S JOURNAL. – 2016. – № 1. – С. 51 – 55.
4. Осокин, Е.Н. Процессы порошковой металлургии [Текст] / Е.Н. Осокин, О.А. Артемьева // Версия 1.0 [Диск] : курс лекций – Красноярск : ИПКСФУ, 2008.
5. Довбыш, В.М. Аддитивные технологии изделия из металла [Электронный ресурс] / В.М. Довбыш, П.В. Забеднов, М.А. Зленко // URL : nami.ru (дата обращения : 16.11.2015).
6. Анализ металлических порошков для первого российского 3D-принтера [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http : // ank-service.ru / analiz-metallicheskih-poroshkov-dlya-pervogo-rossijskogo-3d-printera](http://ank-service.ru/analiz-metallicheskih-poroshkov-dlya-pervogo-rossijskogo-3d-printera) (дата обращения : 16.11.2015).
7. Анализ порошков и пористых материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http : // ank-service.ru / service / analiz-poroshkov](http://ank-service.ru/service/analiz-poroshkov) (дата обращения : 16.11.2015).
8. **Pat. 707419 US** Method of production of metal and ceramic powders by plasma atomization : / P.G. Tsantrizos [et.al.] ; заявл. 15.08.1997 ; опубл. 13.01.1998.
9. **Пат. 2128148 Рос. Федерация** Способ плазменной обработки дисперсных тугоплавких материалов и устройство для его осуществления ; заявл. 03.09.97 ; опубл. 27.03.99.
10. **Пат. 2469817 Рос. Федерация** Способ сфероидизации порошка тугоплавкого материала ; заявл. 27.06.11 ; опубл. 20.12.12, Бюл. № 35.

11. **Пат. 2404024 Рос. Федерация** Способ получения частиц физическим осаждением из паровой фазы в ионной жидкости ; заявл 17.01.07 ; опубл. 27.02.10, Бюл. № 6.

12. **Пат. 1835793 Рос. Федерация** Способ сфероидизации порошка оксида магния ; заявл. 15.06.90 ; опубл. 27.01.97.

13. **Pat. 101602107 CN** Method for lasers pheroidization of nonspherical powder of fractory metal and hard alloy ; publ. 16.11.11.

14. **Pat. 6428600 US** Process for producing spheroidized hard material powder ; publ. 06.08.02.

15. **Скотникова, М.А.** Практическая электронная микроскопия в машиностроении [Текст] / М.А. Скотникова, М.А. Мартынова // Санкт-Петербург : ПИМаш, 2005. – 92 с.

16. Методичні вказівки до економічного обґрунтування дипломного проекту для студентів спеціальності 8.092301 «Технологія та устаткування зварювання», 8.092303 «Технологія та устаткування відновлення та підвищення зносостійкості машин і конструкцій» [Текст] / Укл.: Е.О. Леженко – Запоріжжя : ЗНТУ, 2005. – 24 с.

17. **ДСТУ 2293:2014** Охорона праці. Терміни та визначення основних понять [Текст]. – На заміну ДСТУ 2293-99 ; Чинний від 2015-05-01. – Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. – III, 16 с. – (Національний стандарт України). – Бібліогр. : с. 15.

18. Наказ Міністерство надзвичайних ситуацій України № 67 від 25.01.2012 : Про затвердження Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників [Текст]. – зареєстровано в Міністерстві юстиції України 14 лютого 2012 р. за № 226 / 20539. – Київ, 2012.

19. Наказ Державний комітет України з нагляду за охороною праці від № 15 від 26.01.2005 : Про затвердження Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці та Переліку робіт з підвищеною небезпекою [Текст]. – зареєстровано в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за № 231 / 10511. – Київ, 2005.

20. Наказ Державний комітет України по нагляду за охороною праці № 257 від 06.10.1997 : Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок [Текст]. – зареєстровано в Міністерстві юстиції України 13 січня 1998 р. за № 11 / 2451. – Київ, 1997.

21. Наказ Міністерство охорони здоров'я України № 476 від 18.12.2002: Про затвердження Державних санітарних норм та правил при роботі з джерелами електромагнітних полів [Текст]. – зареєстровано в Міністерстві юстиції України 13 березня 2003 р. за № 203 / 7524. – Київ, 2002.

22. Наказ Міністерство охорони здоров'я України № 239 від 01.08.1996 : Про затвердження державних санітарних правил та норм [Текст]. – зареєстровано в Міністерстві юстиції України 29 серпня 1996 р. за № 488 / 1513. – Київ, 1996.

23. **ГОСТ 12.4.002-97** «ССБТ. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний».

24. Наказ Міністерство праці та соціальної політики України № 272 від 21 червня 2001 року : Про затвердження «Правил будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» [Текст]. – затверджено Указом Президента України № 1035 / 2000 від 30.08.2000 р., і на підставі протокольного рішення редакційної комісії, створеної наказом Держнаглядохоронпраці № 47 від 05.04.2001 р. – Київ, 2000.

25. Наказ Міністерство праці та соціальної політики України Комітет по нагляду за охороною праці № 4 від 09.01.98 : Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів [Текст]. – зареєстровано в Міністерстві юстиції України 10 лютого 1998 р. за № 93 / 2533. – Київ, 1998.

26. **ГОСТ 12.1.005-88** «Система стандартов безопасности труда общин санитарно гигиенические требования к воздуху раб очей зоны» [Текст]. – Наказ Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» від 24 квітня 2019 року № 111 «Про відновлення дії міждержавних стандартів».

27. Постанова Міністерство охорони здоров'я України Головний державний санітарний лікар України № 42 від 01.12.99: Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99 [Текст]. – Київ, 1999.

28. **ДБН В.2.5-67:2013** «Опалення, вентиляція та кондиціювання»

29. **Депутат, О.П.** Цивільна оборона [Текст] : навчальний посібник / І.В. Коваленко, І.С. Мужик ; за редакцією В.С. Франчука. – Львів : Афіша, 2000 р. – 336 с.