

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

ІНСТИТУТ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ЗВАРЮВАННЯ імені Є.О. ПАТОНА
КАФЕДРА СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЙ З'ЄДНАНЬ ТА ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ

"На правах рукопису"
УДК 621.791

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ І. В. Смирнов

“ ____ ” _____ 2021 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 131 Прикладна механіка
на тему:

«Плазмова установка малої потужності для сфероїдизації порошків»

Виконав: студент II курсу, групи ЗС-01мп
Костюченко В'ячеслав Романович

(підпис)

Керівник:

Професор, д.т.н., проф. Фомічов С. К.



(підпис)

Консультант з охорони праці та
безпеки в надзвичайних ситуаціях:
Професор, д.т.н., Левченко О. Г.

(підпис)

Рецензент:
Доцент каф. зварювального виробництва,
к.т.н., доц. Гаєвський О.А.

(підпис)

Нормоконтроль:
Інженер з навчального процесу,
Спіріна К.О.

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

(підпис)

Київ – 2021 рік

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут _____ Матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона
Кафедра _____ Смарт-технологій з'єднань та інженерії поверхні _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 131 Прикладна механіка _____

Освітньо-наукова _____ Технологічні системи інженерії з'єднань та поверхонь
програма _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ І. В. Смирнов
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Костюченко В'ячеславу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Плазмова установка малої потужності для сфероїдизації порошків

науковий керівник дисертації Фомічов Сергій Костянтинович, д.т.н., проф.

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

затверджені наказом по університету від «__» _____ 2021 р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації 15 грудня 2021 р.

3. Об'єкт дослідження - матеріали для адитивних технологій

4. Предмет дослідження - плазмові технології і обладнання для обробки порошкових матеріалів

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

Літературний огляд видів процесів і матеріалів для адитивного виробництва.
Аналізування методи виготовлення порошку для 3D-друку. Розробка установки для сфероїдизації порошків. Виготовлення вузлів плазмотрону. Аналізування шкідливих і небезпечних виробничих факторів Розробка інженерних рішень для забезпечення безпеки праці. Розробка стартап проекту

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:

1. Презентація результатів аналізування видів процесів і матеріалів для адитивного виробництва.
2. Плазмотрон – складальне креслення
3. Деталі плазмотрону
4. Механізм подавання порошку – складальне креслення
5. Деталі механізму подавання порошку
6. Презентація установки для сфероїдизації порошків

7. Орієнтовний перелік публікацій:

1. Тези доповіді на Першу всеукраїнську науково-технічну конференцію студентів, аспірантів та наукових співробітників «Технологічні системи з'єднань та інженерія поверхні. Комплексний підхід»

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	Левченко О. Г., зав. каф.		

9. Дата видачі завдання 26 жовтня 2021 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз і систематизація матеріалів для включення у пояснювальну записку	жовтень 2021 р.	
2	Розробка ілюстративної частини дисертації	листопад 2021 р.	
3	Збір додаткових матеріалів, детальна розробка і обґрунтування наукових рішень	листопад 2021 р.	
4	Оформлення ілюстративного матеріалу Літературна обробка і остаточне оформлення пояснювальної записки	грудень 2021 р.	
5	Захист магістерської дисертації	грудень 2021 р.	

Студент

(підпис)

В.Р. Костюченко

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

С.К. Фомічов

Анотація

Магістерська дисертація була написана для опису прототипу установки сфероїдизації металевих порошків методом плазмової обробки.

Робота містить: сторінок -81, рисунків -29, посилань -20 , креслення – 21.

Завданням даної роботи було проаналізувати теперішнє становище адитивних технологій, а саме матеріал для адитивного виробництва та його виробництво. Та створення нової установки для сфероїдизації порошків. Тому була запропонована специфічна конфігурація плазмотронів яка б мала вирішити дану проблему. Суть даної конфігурації заключається в розташуванні трьох плазмотронів під кутом 45° відносно горизонтальної осі, та під кутом 120° один відносно одного.

В якості установки було вирішено модернізувати установку УВН Э-450 «Булат». Суть модернізації заключається в добавленні поверх ковпака зони реактора висотою 500мм та діаметром 219мм, і розмістити плазмотрони та механізм подачі порошку у верхній частині реактора.

Також під час роботи було розроблено необхідну конструкцію плазмотрона, виготовлено перший прототип плазмотрона та механізму дозованої подачі порошків.

Розглянуто питання охорони праці, та розроблено стартап.

Abstract

The magister's thesis was written to describe the prototype of the installation of spheroidization of metal powders by plasma treatment.

The work contains: page -81, drawings -29, links -20, drawings -21.

The aim of this work was analyze the current state of additive production and its production. And the creation of a new installation for spheroidization of powders. Therefore, a specific configuration of plasmatrons was proposed which should solve this problem. The essence of this configuration is the location of three plasmatrones at an angle of 45° relative to the horizontal axis, and at an angle of 120° relative to each other.

As an installation, it was decided to modernize the UVN E-450 Bulat installation. The essence of modernization is to add a reactor zone 500mm high and 219 mm in diameter on top of the cap, and to place plasmatrons and a powder feed mechanism at the top of the reactor.

Also during the work the necessary design of the plasmatron and the mechanism of dosed powders supply were made.

The issue of labor protection is considered, and a startup is developed.

Зміст

Вступ.....	8
1. Адитивні технології.....	10
1.1. Моделювання для адитивного виробництва.....	10
1.2. Види процесів адитивного виробництва.....	11
1.3. Історія технологій адитивного виробництва.....	17
1.4. Матеріали.....	25
1.5. Сфери використання адитивної технології.....	26
2. Методи виготовлення порошку для 3D-друку з металу.....	36
3. Розробка установки для сфероїдизації порошків.....	44
4. Виготовлення плазмотрону.....	47
5. Механізм подачі порошку.....	63
5.1. Корпус живильника.....	64
5.2. Вібратор.....	65
5.3. Котушка.....	66
6. Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	67
6.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ)...	67
6.2. Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці.....	69
6.2.1. Вимоги до технологічних процесів.....	69
6.2.2. Вимоги до виробничих приміщень.....	70
6.3. Розрахунок інженерного рішення.....	72
6.4. Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	74
6.4.1. Пожежна безпека.....	74
6.4.2. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	75
7. Розробка стартап проекту.....	77
7.1. Опис ідеї проекту.....	77
7.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	78
7.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	79

Висновок.....	82
Список використаної літератури.....	83

Вступ

Людство вже давно зіткнулося з проблемою, яка все більше гальмує розвиток технологій, це великий вплив людського фактору при виробництві, а також значні обмеження під час створення деталей складної геометричної форми. Але все змінилося з появою адитивних технологій. Можливість пошарового спікання матеріалу надаючи їй майже будь-якої форми за короткий період часу значно розширює можливості виробництва, а відсутність впливу людини під час процесу дає змогу підвищити якість продукцію і вивести її на новий рівень. Це викликає швидкий зріст відсотка використання цієї технології по відношенню до інших способів. Велика кількість підприємств переходить на тривимірний друк, що в свою чергу потребує поліпшення і розвитку технології виготовлення матеріалів для задовільнення зростаючих потреб.

В даній магістерській дисертації було проведено аналіз адитивних технологій та їх вплив на світ. Проведено аналіз методів виготовлення порошку для адитивного виробництва з металу. Розробка покращеного методу виробництва порошку.

Для цього було розроблено установку для сфероїдизації порошку для адитивного виробництва. Процес проходить у реакторі. Порошок подається певними порціями через спеціальний дозатор. За допомогою потоків плазми ми створюємо середовище у якому механічно оброблений порошок буде плавитись. У рідкому стані, під дією сили тяжіння, частинки падають вниз. Під час вільного падіння вони приймають сферичну форму. Покинув зону нагріву частинки починають кристалізуватись. Досягнув нижньої частини установки порошок вже має потрібну нам геометричну форму частинок.

Мета і завдання:

- Огляд видів процесів і матеріалів для адитивного виробництва
- Огляд методів виготовлення порошку для 3D-друку
- Розробка установки для сфероїдизації порошків

- Виготовлення вузлів плазматрону
- Аналізування шкідливих і небезпечних виробничих факторів
- Розробка стартап проекту

1. Адитивні технології

Адитивне виробництво — це конструювання тривимірного об'єкта з моделі CAD або цифрової 3D моделі. Термін «3D-друк» може стосуватися різноманітних процесів, під час яких матеріал наноситься, з'єднується або застигається під комп'ютерним контролем для створення тривимірного об'єкта з матеріалом, який додається разом (наприклад, пластмаси, рідини або зерна порошку, що сплавляються разом), зазвичай шар за шаром.

У 1980-х роках вважалося, що технології 3D-друку придатна лише для виробництва функціональних або естетичних прототипів, і більш відповідним терміном для цього в той час було швидке прототипування. Станом на 2019 рік, точність, повторюваність і асортимент матеріалів 3D-друку зросли до такої міри, що деякі процеси 3D-друку вважаються життєздатними як технологія промислового виробництва, завдяки чому термін адитивне виробництво може використовуватися як синонім 3D-друку. Однією з ключових переваг 3D-друку є можливість створювати дуже складні форми або геометрію, які неможливо було б побудувати вручну, включаючи порожнисті деталі або деталі з внутрішніми кроквяними конструкціями для зниження ваги. Моделювання плавленням осадженням (FDM), яке використовує безперервну нитку з термопластичного матеріалу, є найпоширенішим процесом 3D-друку, який використовується з 2020 року.

1.1. Моделювання для адитивного виробництва

3D-моделі для друку можна створювати за допомогою пакета автоматизованого проектування (CAD), за допомогою 3D-сканера або звичайної цифрової камери та програмного забезпечення для фотограмметрії. 3D-друковані моделі, створені за допомогою CAD, призводять до відносно менше помилок, ніж інші методи. Помилки в моделях для 3D-друку можна визначити та виправити перед друком. Процес ручного моделювання підготовки геометричних даних для 3D комп'ютерної графіки подібний до

пластичного мистецтва, такого як ліплення. 3D-сканування – це процес збору цифрових даних про форму та зовнішній вигляд реального об'єкта, створення на його основі цифрової моделі.

Моделі САПР можна зберігати у форматі файлу стереолітографії (STL) , де-факто форматі САПР для адитивного виробництва, який зберігає дані на основі тріангуляцій поверхні моделей САПР. STL не призначений для адитивного виробництва, оскільки він створює великі розміри файлів з оптимізованими за топологією деталями та структурами решітки через велику кількість задіяних поверхонь. Для вирішення цієї проблеми у 2011 році був представлений новий формат файлу CAD, формат файлу адитивного виробництва (AMF) . Він зберігає інформацію за допомогою вигнутих тріангуляцій.

1.2. Види процесів адитивного виробництва

Існує багато різних фірмових процесів адитивного виробництва, які можна згрупувати в сім категорій [1]:

- Чанна фотополімеризація
- Струмування матеріалу
- Сполучений струмінь
- Злиття в порошковому шарі
- Екструзія матеріалу
- Направлене відкладення енергії
- Листове ламінування

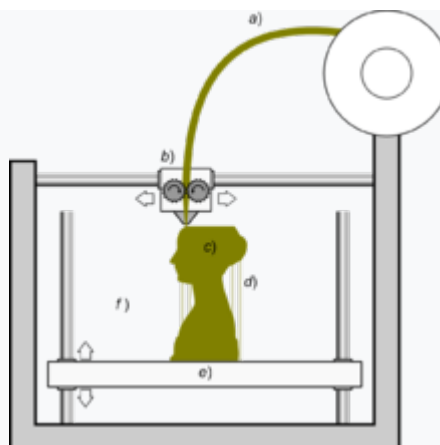


Рис.1.1. Схематичне зображення техніки 3D-друку, відомої як Fused Filament Fabrication; нитка *a* з пластичного матеріалу подається через нагріту рухому головку *b* яка плавиться та екструдує її, наносячи її шар за шаром у бажаній формі *c* . Рухома платформа *e* опускається після нанесення кожного шару. Для такої технології необхідні додаткові вертикальні опорні конструкції *d* для підтримки нависаючих частин [2]

Основні відмінності між процесами полягають у способі нанесення шарів для створення деталей і в матеріалах, які використовуються. Кожен метод має свої переваги і недоліки, тому деякі компанії пропонують на вибір порошок і полімер для матеріалу, який використовується для будівництва об'єкта. Інші іноді використовують стандартний, готовий діловий папір як будівельний матеріал для створення міцного прототипу. Основними міркуваннями при виборі машини, як правило, є швидкість, вартість 3D-принтера, надрукованого прототипу, вибір і вартість матеріалів, а також колірні можливості. Принтери, які працюють безпосередньо з металами, як правило, дорогі. Однак менш дорогі принтери можна використовувати для виготовлення форми, яка потім використовується для виготовлення металевих деталей.

ISO/ASTM 52900-15 [3] визначає сім категорій процесів адитивного виробництва (AM) у своєму значенні: струйне очищення сполучної речовини, спрямоване осадження енергії, екструзія матеріалу, струминна обробка матеріалу, злиття порошкового шару, ламінування листів і фотополімеризація в чанах.

Перший процес, коли тривимірний матеріал наноситься для формування об'єкта, був здійснений за допомогою Material Jetting або як його спочатку називали осадженням частинок. Осадження частинок струминним струменем спочатку розпочалося з технологією безперервного струменя (CIT) (1950-і роки), а пізніше з технологією струменевого струменя «drop-On-Demand» (1970-ті роки) з використанням гарячих чорнил. Воскові чорнила були першими тривимірними матеріалами, на які наносили струминний струмінь, а пізніше низькотемпературний метал із сплаву був оброблений струменем CIT. Далі Міністерство оборони випустило віск і термопласти. Об'єкти були дуже маленькими і починалися з текстових символів і цифр для вивісок. Об'єкт повинен мати форму і з ним можна обробляти. Воскові символи впали з паперових документів і надихнули патент на Liquid Metal Recorder на виготовлення металевих символів для вивісок у 1971 році. Термопластичні кольорові чорнила (СМΥК), надруковані шарами кожного кольору, щоб утворити перші шаруваті об'єкти, сформовані в цифровому вигляді в 1984 році.

Деякі методи розплавляють або розм'якшують матеріал для отримання шарів. При виготовленні плавленої нитки, також відомому як моделювання плавленого осадження (FDM), модель або деталь виготовляється шляхом екструдювання невеликих кульок або потоків матеріалу, які відразу тверднуть, утворюючи шари. Нитка з термопласту, металевого дроту або іншого матеріалу подається в головку екструзійного сопла (екструдер 3D-принтера), який нагріває матеріал і вмикає і вимикає потік. FDM дещо обмежений у варіації форм, які можуть бути виготовлені. Інша техніка сплавляє частини шару, а потім рухається вгору в робочій зоні, додаючи ще один шар гранул і повторюючи процес, поки шматок не наростає. Цей процес використовує нерозплавлений носій для підтримки звисів і тонких стінок у виготовленій деталі, що зменшує потребу в тимчасових допоміжних опорах для деталі. Нещодавно FFF/FDM розширився до 3-D друку безпосередньо з гранул, щоб уникнути перетворення на нитку. Цей процес називається виготовленням плавлених частинок (FPF) (або плавленим

гранульованим виготовленням (FGF)), і він може використовувати більше перероблених матеріалів.

Методи злиття порошкового шару, або PBF, включають кілька процесів, таких як DMLS, SLS, SLM, MJF і EBM. Процеси Powder Bed Fusion можна використовувати з різними матеріалами, а їх гнучкість дозволяє створювати геометрично складні структури, що робить його вибором для багатьох проєктів 3D-друку. Ці методи включають селективне лазерне спікання як з металами, так і з полімерами, а також пряме лазерне спікання металів. Вибіркове лазерне плавлення використовує спікання для розплавлення порошкових гранул, але повністю розплавить порошок за допомогою високоенергетичного лазера для створення повністю щільних матеріалів пошаровим методом, який має механічні властивості, подібні до звичайних виготовлених металів. Електронно-променева плавка є подібним типом адитивної технології виготовлення металевих деталей (наприклад, титанових сплавів). EBM виготовляє деталі шляхом плавлення металевого порошку шар за шаром електронним променем у високому вакуумі. Інший метод полягає в системі струминного 3D-друку, яка створює модель по одному шару за допомогою нанесення шару порошку (гіпсу або смол.) і друк сполучного матеріалу в поперечному перерізі деталі за допомогою струменевого процесу. При виготовленні ламінованих об'єктів тонкі шари нарізаються за формою та з'єднуються разом. На додаток до вищезгаданих методів, HP розробила Multi Jet Fusion (MJF), яка є технікою на основі порошку, хоча лазери не задіяні. Струменевий масив застосовує плавкі й деталізуючі агенти, які потім об'єднуються шляхом нагрівання, щоб створити твердий шар.

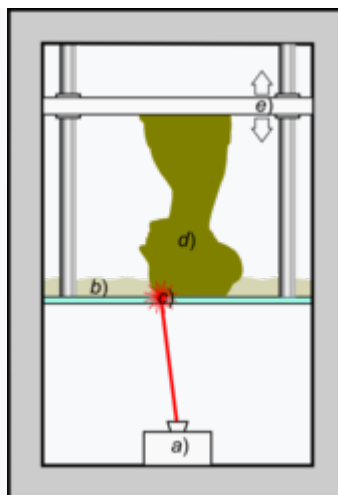


Рис. 1.2. Схематичне зображення стереолітографії; світловипромінюючий пристрій *a* (лазер або DLP) вибірково освітлює прозоре дно *c* резервуара *b* заповнений рідкою фотополімеризуючою смолою; затверділа смола *d* поступово тягнеться вгору підйомною платформою *e*

Інші методи затверджують рідкі матеріали за допомогою різних складних технологій, таких як стереолітографія. Фотополімеризація в основному використовується в стереолітографії для отримання твердої частини з рідини. Системи струменевих принтерів, як-от система *Objet PolyJet*, розпилюють фотополімерні матеріали на будівельний лоток надтонкими шарами (від 16 до 30 мкм), доки деталь не буде завершена. Кожен шар фотополімеру затверджується за допомогою ультрафіолетового випромінювання після того, як його пропускають струменем, виробляючи повністю затверділі моделі, які можна використовувати відразу, без попереднього затвердіння. Ультрамалі елементи можна створити за допомогою технології 3D-мікровиготовлення, яка використовується в мультифотоні фотополімеризація. Через нелінійну природу фотозбудження гель затвердіє до твердого стану лише в тих місцях, де був сфокусований лазер, тоді як гель, що залишився, потім змивається. Легко виготовляються елементи розміром до 100 нм, а також складні конструкції з рухомими та зчепленими частинами. Ще один підхід використовує синтетичну смолу, яка застигає за допомогою світлодіодів.

У стереолітографії на основі проекції маски зображення тривимірний цифровий модель розрізана набором горизонтальних площин. Кожен зріз перетворюється на двовимірне зображення маски. Потім зображення маски проектується на поверхню рідкої смоли, що піддається фотоотвердженню, і світло проектується на смолу, щоб затвердити її у формі шару. Безперервне виробництво рідкої поверхні розділу починається з резервуара рідкої фотополімерної смоли. Частина дна басейну прозора для ультрафіолету («вікно»), що призводить до застигання смоли. Об'єкт піднімається досить повільно, щоб смола могла протікати і підтримувати контакт з дном об'єкта. При осадженні спрямованої енергії з порошковою подачею високопотужний лазер використовується для розплавлення металевих порошків, що подається у фокус лазерного променя. Процес спрямованої енергії з подачі порошку подібний до селективного лазерного спікання, але металевий порошок наноситься лише там, де матеріал додається до деталі в цей момент.

Станом на грудень 2017 року на ринку були системи адитивного виробництва, ціна яких коливалася від 99 до 500 000 доларів США, і вони використовувалися в таких галузях, як аерокосмічна, архітектурна, автомобільна, оборонна та медична заміна, а також багато інших. Наприклад, General Electric використовує високоякісні 3D-принтери для створення деталей для турбін. Багато з цих систем використовуються для швидкого створення прототипів, перш ніж використовувати методи масового виробництва. Вища освіта виявилася основним покупцем настільних і професійних 3D-принтерів, що експерти галузі в цілому вважають позитивним показником. Бібліотеки в усьому світі також стали місцем розміщення менших 3D-принтерів для освітніх та громадських можливостей. Кілька проектів і компаній докладають зусиль для розробки доступних 3D-принтерів для домашнього настільного використання. Більша частина цієї роботи була спрямована та спрямована на спільноти DIY / Maker / ентузіастів / ранніх користувачів, з додатковими зв'язками з академічними та хакерськими спільнотами.

Комп'ютерна осьова літографія – це метод 3D-друку на основі комп'ютерної томографії для створення відбитків на фотоотверждаємій смолі. Він був розроблений у співпраці Каліфорнійського університету в Берклі та Ліверморської національної лабораторії Лоуренса. На відміну від інших методів 3D-друку, він не створює моделі шляхом нанесення шарів матеріалу, як-от моделювання плавленого осаження та стереолітографія, замість цього створює об'єкти, використовуючи серію 2D-зображень, спроектованих на циліндр із смолою. Він примітний своєю здатністю створювати об'єкт набагато швидше, ніж інші методи з використанням смол, а також можливістю вбудовувати об'єкти в відбитки.

Виробництво рідких адитивів (LAM) — це техніка 3D-друку, яка наносить рідкий або високов'язкий матеріал (наприклад, рідкий силіконовий каучук) на поверхню конструкції для створення об'єкта, який потім вулканізується за допомогою тепла для затвердіння об'єкта. Процес спочатку був створений Адріаном Бойєром, а потім був розроблений німецьким RepRap.

1.3. Історія технології адитивного виробництва

Загальну концепцію та процедуру, яка буде використовуватися в 3D-друку, вперше описав Мюррей Лейнстер у своїй новелі 1945 року *Things Pass By*

Його також описав Реймонд Ф. Джонс у своїй оповіданні «Інструменти торгівлі», опублікованому в листопаді 1950 року в журналі *Astounding Science Fiction*. У цій історії він назвав це «молекулярним спреєм».

1970-ті роки

У 1971 році Йоханнес Ф. Готвальд запатентував пристрій для запису рідкого металу, безперервний струменевий пристрій з металевого матеріалу для формування знімної металевої конструкції на поверхні, яка може бути використана повторно, для негайного використання або для повторного друку шляхом переплавлення. Схоже, це перший патент, що описує 3D-друк із швидким створенням прототипів і контрольованим виготовленням візерунків на вимогу.

У патенті зазначено, що «використовуваний тут термін друк не призначений в обмеженому значенні, але включає письмо або інші символи, символи або утворення візерунків за допомогою чорнила. Термін "чорнило" має включати не тільки барвники або матеріали, що містять пігмент, але будь-яка текуча речовина або композиція, придатна для нанесення на поверхню для формування символів, символів. Переважно чорнили типу гарячого розплаву. Асортимент комерційно доступних композицій чорнила, які можуть відповідати вимогам в даний час невідомі винаходи. Проте задовільний друк згідно з винаходом був досягнутий за допомогою провідного металевого сплаву як чорнила».

«Але з точки зору потреб у матеріалі для таких великих і безперервних дисплеїв, якщо вони споживаються з відомими на той момент темпами, але збільшуються пропорційно збільшенню розміру, висока вартість суттєво обмежить будь-яке широке задоволення від процесу або пристрою, що задовольняє вищезазначені об'єкти».

«Тому додатковою метою винаходу є мінімізація використання матеріалів у процесі зазначеного класу».

«Додаткова мета винаходу полягає в тому, щоб матеріали, використані в такому процесі, були збережені для повторного використання».

«Згідно з іншим аспектом винаходу, комбінація для запису тощо містить носій для відображення інтелектуального шаблону та пристрій для видалення візерунка з носія».

У 1974 році Девід Е. Х. Джонс виклав концепцію 3D-друку у своїй регулярній колонці *Аріадна* в журналі *New Scientist*.

1980-ті роки

Перше обладнання та матеріали для адитивного виробництва були розроблені в 1980-х роках.

У квітні 1980 року Хідео Кодама з Нагойського муніципального промислового науково-дослідного інституту винайшов два адитивних методи для виготовлення тривимірних пластикових моделей з термореактивним полімером, що затверджує, де область впливу ультрафіолету контролюється за допомогою маски або скануючого волокна. Він подав патент на цей плотер XYZ, який був опублікований 10 листопада 1981 р. Його результати дослідження у вигляді журнальних статей були опубліковані в квітні та листопаді 1981 року. Проте ніякої реакції на серію його публікацій не було. Його пристрій не був високо оцінений в лабораторії, і його начальник не виявив жодного інтересу. Його бюджет на дослідження становив всього 60 000 ієн або 545 доларів на рік. Від придбання патентних прав на плоттер XYZ відмовилися, а проект припинено.

Патент на «Метод виготовлення виробів шляхом послідовного осадження», Raytheon Technologies Corp, виданий 6 квітня 1982 року з використанням сотень або тисяч «шарів» порошкоподібного металу та джерела енергії лазера, є раннім посиленням на формування «шарів» і виготовлення виробів на підкладці.

2 липня 1984 року американський підприємець Білл Мастерс подав патент на свій комп'ютерний автоматизований процес і систему виробництва (US 4665492). Ця заявка зареєстрована в USPTO як перший в історії патент на 3D-друк; це був перший із трьох патентів, що належать Masters, які заклали основу для систем 3D-друку, які використовуються сьогодні.

16 липня 1984 року Ален Ле Мехо, Олів'є де Вітте та Жан-Клод Андре подали патент на процес стереолітографії. Від застосування французьких винахідників відмовилися французька компанія General Electric Company (нині Alcatel-Alsthom) і CILAS (The Laser Consortium). Заявлена причина була «відсутність бізнес-перспективи».

У 1983 році Роберт Говард розпочав RH Research, пізніше названу Howtek, Inc. У лютому 1984 року, щоб розробити кольоровий струменевий 2D-принтер Pixelmaster, комерціалізований у 1986 році з використанням термопластичних

(термоплавких) пластикових чорнил. Команда була зібрана, 6 учасників від Eххон Office Systems, підрозділу Danbury Systems, стартапу струменевих принтерів і деяких членів групи Howtek, Inc, які стали популярними фігурами в індустрії 3D-друку. Один із членів Howtek, патент Річарда Хелінського US5136515A, Метод і засоби для конструювання тривимірних виробів шляхом осадження частинок, заявка 11/07/1989, надана 8/04/1992, створив компанію CAD-Cast, Inc в Нью-Гемпширі, назву пізніше змінено на Visual Impact Corporation (VIC) 22.08.1991. Прототип 3D-принтера VIC для цієї компанії доступний з відео-презентацією, що показує 3D-модель, надруковану за допомогою струменевої струйної насадки. Інший співробітник Герберт Менхенет створив компанію NM Research у Нью-Гемпширі в 1991 році і представив Howtek, Inc. Струменеві технології та термопластичні матеріали до Ройдена Сандерса з SDI та Білла Мастерів з виробництва балістичних частинок (BPM), де він працював кілька років. Як 3D-принтери BPM, так і 3D-принтери SPI використовують матеріали в стилі Howtek, Inc. І матеріали в стилі Howtek, Inc. Ройден Сандерс ліцензував патент Helinksi до виробництва Modelmaker 6 Pro в Sanders prototype, Inc (SPI) у 1993 році. Джеймс К. Макмехон, якого найняла Howtek, Inc, щоб допомогти розробити струменевий струм, пізніше працював у Sanders Prototype і зараз керує Layer Grown Model Technology, постачальник 3D-послуг, що спеціалізується на підтримці струменевого струменя з одним соплом Howtek і принтерів SDI. Джеймс К. Макмехон працював зі Стівеном Золтаном, винахідником струменевого струменя 1972 року. В Еххон і має патент у 1978 році, який розширив уявлення про одинарну насадку для струменевих струменів (Alpha jets) і допоміг удосконалити струменеві термоплавки Howtek, Inc. Ця технологія термопластика Howtek популярна серед металопластикового лиття, особливо в ювелірній промисловості 3D-друку. Першим клієнтом компанії Sanders (SDI) Modelmaker 6Pro була компанія Hitchner Corporation, Metal Casting Technology, Inc в Мілфорді, штат Нью-Йорк, за милом від заводу SDI наприкінці 1993-1995 років, що займалася литтям клюшків для гольфу та автомобільних деталей двигуна.

8 серпня 1984 р. був поданий патент US4575330, переданий UVP, Inc., пізніше переданий Чаку Халлу з 3D Systems Corporation, його власний патент на систему виготовлення стереолітографії, до якої окремі шари або шари додаються шляхом затвердіння фотополімера з ударним випромінюванням, бомбардуванням частинками, хімічною реакцією або просто ультрафіолетовими лазерами. Халл визначив процес як «систему для створення тривимірних об'єктів шляхом створення візерунка поперечного перерізу об'єкта, який потрібно сформувати». Внеском Халла був формат файлу STL (стереолітографія) і цифрові стратегії нарізки та заповнення, спільні для багатьох сучасних процесів. У 1986 році Чарльзу «Чаку» Халлу було надано патент на цю систему, і була створена його компанія 3D Systems Corporation, яка випустила перший комерційний 3D-принтер SLA- пізніше в 1987 або 1988 роках.

Технологія, яку використовує більшість 3D-принтерів на сьогоднішній день — особливо моделі, орієнтовані на любителів та споживачів — це моделювання наплавленого осадження, спеціальне застосування екструзії пластику, розроблене в 1988 році С. Скоттом Крампом і комерціалізоване його компанією Stratasys, яка продала свій перший FDM. Машина 1992 р.

Володіння 3D-принтером у 1980-х роках коштувало понад 300 000 доларів (650 000 доларів у доларах 2016 року).

1990-ті роки

Процеси АМ для спікання або плавлення металу (наприклад, селективне лазерне спікання, пряме лазерне спікання металів і селективне лазерне плавлення) зазвичай мали свої індивідуальні назви в 1980-х і 1990-х роках. У той час вся металообробка виконувалася процесами, які тепер називаються безадитивними (лиття, виготовлення, штампування та механічна обробка); хоча до цих технологій було застосовано багато автоматизації (наприклад, зварювання роботом і ЧПУ), ідея інструменту або головки, що рухається через 3D робочу оболонку, перетворює масу сировини. Надання бажаної форми з траєкторією

інструменту пов'язувалося в металообробці лише з процесами, які видаляли метал (а не додавали його), такими як фрезерування з ЧПУ , CNC EDM та багато інших. Але автоматизовані технології, які додавали метал, які пізніше назвали адитивним виробництвом, почали кидати виклик цьому припущенню. До середини 1990-х років у Стенфорді та Університеті Карнегі-Меллона були розроблені нові методики осадження матеріалів , включаючи мікролиття та матеріали, що розпилюються. Жертовні та допоміжні матеріали також стали більш поширеними, що дозволило створювати нові геометрії об'єктів.

Термін 3D-друк спочатку позначав процес порошкового шару із застосуванням стандартних і користувацьких струменевих друкуючих головок, розроблених у Массачусетському технологічному інституті Емануелем Саксом у 1993 році та комерціалізованих Soligen Technologies, Extrude Hone Corporation та Z Corporation .

У 1993 році також була започаткована компанія, що випускає струменеві 3D-принтери, спочатку названа Sanders Prototype, Inc, а пізніше названа Solidscape , яка представила високоточну систему виробництва струменевих полімерів з розчинними опорними структурами (віднесена до категорії «точка на крапці»).

У 1995 році товариство Фраунгофера розробило процес селективного лазерного плавлення .

2000-ті роки

Термін дії патентів на процес друку з моделювання плавленого осадження (FDM) закінчився у 2009 році.

2010-ті роки

У міру розвитку різних адитивних процесів стало зрозуміло, що незабаром видалення металу більше не буде єдиним процесом обробки металу за допомогою інструменту або головки, що рухається через 3D робочу оболонку, перетворюючи масу сировини в потрібну форму шар за шаром. 2010-ті були першим десятиліттям,

коли металеві деталі кінцевого використання, такі як кронштейни двигуна і великі гайки, вирощувалися (до або замість механічної обробки) у виробництві, а не обов'язково оброблялися зі бруска або пластина. Все ще залишається так, що лиття, виготовлення, штампування та механічна обробка є більш поширеними, ніж адитивне виробництво в металообробці, але АМ зараз починає робити значний прогрес, і з перевагами дизайну для адитивного виробництва інженерам зрозуміло, що багато попереду ще більше.

Одне місце, де АМ робить значний успіх, це авіаційна промисловість. З майже 3,8 мільярда авіамандрівників у 2016 році попит на економічні та легко виготовлені реактивні двигуни ніколи не був таким. Для великих OEM-виробників (виробників оригінального обладнання), таких як Pratt and Whitney (PW) і General Electric (GE), це означає дивитися на АМ як на спосіб знизити вартість, зменшити кількість невідповідних деталей, зменшити вагу двигунів для підвищення ефективності використання палива та знайти нові, дуже складні форми, які були б неможливими за допомогою застарілих методів виробництва. Одним із прикладів інтеграції АМ з аерокосмічними силами був у 2016 році, коли Airbus був доставлений перший двигун LEAP від GE. Цей двигун має інтегровані паливні форсунки, надруковані на 3D-друку, що дозволяє зменшити кількість деталей з 20 до 1, зменшити вагу на 25% і скоротити час складання. Паливна форсунка є ідеальною в дорозі для адитивного виробництва в реактивному двигуні, оскільки дозволяє оптимізувати конструкцію складних внутрішніх частин і є частиною з низьким навантаженням, яка не обертається. Аналогічно, у 2015 році PW доставила Bombardier свої перші деталі АМ PurePower PW1500G. Дотримуючись низької напруги, необертюваних деталей, PW вибрала статори компресора та кронштейни кільця синхронізації, щоб вперше запровадити цю нову технологію виробництва. Хоча АМ все ще відіграє невелику роль у загальній кількості деталей у процесі виробництва реактивних двигунів, повернення інвестицій вже можна побачити за скороченням деталей, швидкими виробничими можливостями та «оптимізованим дизайном з точки зору продуктивності та вартості».

У міру розвитку технологій кілька авторів почали припускати, що 3D-друк може допомогти в сталому розвитку в країнах, що розвиваються.

У 2012 році Філабот розробив систему для замикання петлі пластиком і дозволяє будь-якому 3D-принтеру FDM або FFF мати можливість друкувати з більш широкого спектру пластмас.

У 2014 році Бенджамін С. Кук і Манос М. Тентцеріс продемонстрували першу вертикально інтегровану платформу адитивного виробництва друкованої електроніки (VIPRE), яка забезпечила 3D-друк функціональної електроніки, яка працює на частоті до 40 ГГц.

Оскільки ціни на принтери почали падати, люди, зацікавлені в цій технології, мали більше доступу та свободи робити те, що вони хотіли. Ціна станом на 2014 рік все ще була високою, а вартість становила понад 2000 доларів, але це все ще дозволяло любителям вийти на друк поза виробничими та промисловими методами.

Термін «3D-друк» спочатку означав процес, який шар за шаром наносить сполучний матеріал на порошковий шар із головками струменевих принтерів. Зовсім недавно популярна народна мова почала використовувати цей термін, щоб охопити більш широкий спектр адитивних методів виробництва, таких як адитивне виробництво електронним променем і селективне лазерне плавлення. Сполучені Штати та світові технічні стандарти використовують офіційний термін *адитивне виробництво* для цього більш широкого значення.

Найпоширенішим процесом 3D-друку (46% станом на 2018 рік) є метод екструзії матеріалу, який називається моделюванням плавленого осадження або FDM. Хоча технологія FDM була винайдена після двох інших найпопулярніших технологій, стереолітографії (SLA) та селективного лазерного спікання (SLS), FDM, як правило, є найдешевшою з трьох із великим відривом, що сприяє популярності процесу.

2020-ті роки

Станом на 2020 рік 3D-принтери досягли рівня якості та ціни, що дозволяє більшості людей увійти у світ 3D-друку. У 2020 році принтери пристойної якості можна буде знайти за ціною менше 200 доларів США для машин початкового рівня. Ці більш доступні принтери, як правило, є принтерами з моделюванням наплавлення (FDM).

1.4. Матеріали

Традиційно 3D-друк зосереджується на полімерах для друку через простоту виготовлення та обробки полімерних матеріалів. Тим НЕ менше, цей метод швидко розвивалася не тільки друкувати різні полімери, але також і метали, і кераміки, робить 3D друк універсальним варіантом для виготовлення. Пошарове виготовлення тривимірних фізичних моделей — це сучасна концепція, яка «виходить із постійно зростаючої індустрії САПР, точніше, із боку твердотільного моделювання САПР. До того, як твердотільне моделювання було введено в кінці 1980-х років, тривимірні моделі були створені з дротяних каркасів і поверхонь». Але в будь-якому випадку шари матеріалів контролюються принтером і властивостями матеріалу. Тривимірний шар матеріалу контролюється швидкістю осадження, яка встановлюється оператором принтера і зберігається в комп'ютерному файлі. Одним з перших друкованим запатентованим матеріалом була чорнило типу гарячого розплаву для друку візерунків з використанням нагрітого металевого сплаву.

8 серпня 1984 року Чарльз Халл подав перший патент на використання акрилової смоли, затверденої ультрафіолетом, з використанням джерела світла з УФ-маскуванням в UVP Corp, щоб створити просту модель. SLA-1 був першим продуктом SL, анонсованим 3D Systems на виставці Autofact Exposition, Детройт, у листопаді 1978 року в Детройті. Бета-версія SLA-1 була відправлена в січні 1988 року компаніям Baxter Healthcare, Pratt and Whitney, General Motors і AMP. Перший виробничий SLA-1 був відправлений компанії Precision Castparts у квітні 1988 року.

УФ-смоляний матеріал швидко змінився на смолу на основі епоксидної смоли. В обох випадках моделі SLA-1 потребували затвердіння в УФ печі після промивання в засобі для очищення розчинника для видалення незатверділої крайової смоли. Апарат після затвердіння (PSA) був проданий з усіма системами. Ранні принтери на смолі вимагали леза для переміщення свіжої смоли по моделі на кожному шарі. Товщина шару була 0.006 дюймів, а модель HeCd Laser SLA-1 мала потужність 12 Вт і рухалася по поверхні зі швидкістю 30 дюймів в секунду. UVP була придбана 3D Systems у січні 1990 року.

Огляд історії показує, що низка матеріалів (смоли, пластиковий порошок, пластикова нитка і термоплавкі пластикові чорнила) використовувалися в 1980-х роках для патентів у галузі швидкого прототипування. Смола, затверджена ультрафіолетовими променями, також була представлена Ітцхаком Померанцом у Soldier 5600, лазерним спеченим термопластичним порошком Carl Deckard (DTM) і папером для клейового лазерного різання (LOM), складений для формування об'єктів Майклом Фейгіним до того, як 3D Systems зробили перше оголошення. Скотт Крамп також працював з моделюванням екструдованих «розплавлених» пластикових ниток (FDM), і осадження по краплях було запатентовано Вільямом Е. Мастерсом через тиждень після патенту Чарльза Халла в 1984 році, але йому довелося виявити термопластичні струменеві струменеві, представлені 3D-принтером Visual Impact Corporation у 1992 рік із використанням струменевих від Howtek, Inc.

1.5. Сфери використання адитивної технології

3D-друк або адитивне виробництво використовуються у виробництві, медицині, промисловості та соціокультурному секторах (культурна спадщина тощо), що сприяє 3D-друку або адитивному виробництву, щоб стати успішною комерційною технологією. Зовсім недавно 3D-друк також використовувався в секторі гуманітарних питань та розвитку для виробництва ряду медичних виробів, протезів, запчастин та ремонту. Найбільш раннє застосування адитивного виробництва було на кінці виробничого спектру в інструментальному

цеху . Наприклад, швидке створення прототипів було одним з найперших варіантів добавки, і його місія полягала в тому, щоб скоротити час виконання і вартість розробки прототипів нових деталей і пристроїв, що раніше робилося лише з використанням методів субтрактивного інструментарію, таких як фрезерування з ЧПУ, токарні роботи та точне шліфування. У 2010-х роках адитивне виробництво увійшло у виробництво значно більшою мірою.

Харчова промисловість

Адитивне виробництво харчових продуктів розвивається шляхом видавлювання їжі шар за шаром у тривимірні об'єкти. Велика різноманітність продуктів є відповідними кандидатами, наприклад, шоколад і цукерки, а також плоскі продукти, такі як крекери, паста і піца. NASA вивчає технологію, щоб створити 3D-друковану їжу, щоб обмежити харчові відходи та зробити їжу, яка відповідає дієтичним потребам астронавта. У 2018 році італійський біоінженер Джузеппе Сціонті розробив технологію, яка дозволяє генерувати волокнисті рослинні аналоги м'яса за допомогою спеціального 3D-біопринтера , імітуючи текстуру м'яса та поживну цінність.

Індустрія моди

3D-друк увійшов у світ одягу, коли модельєри експериментували з надрукованими на 3D-друку бікіні, взуттям та сукнями. У комерційному виробництві Nike використовує 3D-друк для прототипу та виробництва футбольних бутсів Vapor Laser Talon 2012 року для гравців американського футболу, а New Balance — це 3D-виготовлення взуття для спортсменів на замовлення. 3D-друк дійшов до того моменту, коли компанії друкують споживчі окуляри зі спеціальною посадкою та стилем на вимогу (хоча вони не можуть друкувати лінзи). Налаштування окулярів на вимогу можливе завдяки швидкому створенню прототипів.

Транспортна галузь



Рис.1.3 Stoofbrug в Амстердамі, перший в світі 3D-надрукований металевий міст

В автомобілях, вантажівках та літаках Additive Manufacturing починає трансформувати як дизайн і виробництво цілісного кузова та фюзеляжу, так і проектування та виробництво силових агрегатів . Наприклад:

- На початку 2014 року шведський виробник суперкарів Koenigsegg анонсував One:1, суперкар, який використовує багато компонентів, надрукованих на 3D. Urbee — це назва першого в світі автомобіля, змонтованого за технологією 3D-друку (його кузов і вікна автомобіля були «надруковані»).
- У 2014 році Local Motors представила Strati, функціонуючий автомобіль, який був повністю надрукований на 3D з використанням ABS-пластику та вуглеволокна, за винятком силового агрегату.
- У травні 2015 року Airbus оголосила, що його новий Airbus A350 XWB включає понад 1000 компонентів, виготовлених за допомогою 3D-друку.
- У 2015 році винищувач Royal Air Force Eurofighter Typhoon літав із друківаними деталями. ВВС США приступили до роботи з 3D - принтерами, а ізраїльські ВПС також придбали 3D - принтер для друку запасних частин.
- У 2017 році GE Aviation повідомила, що використовувала дизайн для адитивного виробництва для створення вертолітного двигуна з 16 частин замість 900, що має великий потенційний вплив на зниження складності ланцюгів поставок .

Промисловість вогнепальної зброї

Вплив АМ на вогнепальну зброю включає два виміри: нові методи виробництва для відомих компаній і нові можливості для виготовлення вогнепальної зброї своїми руками. У 2012 році американська група Defense Distributed оголосила про плани розробити робочу пластикову 3D-друковану вогнепальну зброю, «яку можна було б завантажити та відтворити будь-хто за допомогою 3D-принтера». Після того, як Defense Distributed оприлюднила свої плани, виникли питання щодо впливу 3D-друку та широко поширеної обробки з ЧПУ на ефективність контролю зброї. Більше того, стратегії дизайну броні можна покращити, черпаючи натхнення з природи та створюючи прототип цих конструкцій, легко можливих за допомогою адитивного виробництва.

Сектор охорони здоров'я

Хірургічні методи лікування, орієнтовані на 3D-друк, мають історію, яка починається в середині 1990-х років з анатомічного моделювання для планування реконструктивної кісткової хірургії. Імпланти, підібрані пацієнтам, були природним продовженням цієї роботи, що призвело до дійсно персоналізованих імплантів, які підходять одній унікальній людині. Віртуальне планування операції та керівництво з використанням 3D-друкованих персоналізованих інструментів з великим успіхом застосовувалися в багатьох областях хірургії, включаючи повну заміну суглобів та черепно-щелепно-лицьову реконструкцію. Одним із прикладів цього є біорозсмоктувана трахіальна шина для лікування новонароджених з трахеобронхомалациєю розроблено в Мічиганському університеті. Використання адитивного виробництва для серійного виробництва ортопедичних імплантів (металів) також зростає завдяки здатності ефективно створювати пористі поверхневі структури, що полегшують остеointegraцію. Очікується, що виробництво слухових апаратів і стоматології будуть найбільшою сферою майбутнього розвитку з використанням спеціальної технології 3D-друку.

Досліджено термічну деградацію під час 3D-друку розсмоктуваних полімерів, як і в хірургічних швах, і параметри можна налаштувати, щоб мінімізувати деградацію під час обробки. М'які гнучкі каркасні структури для клітинних культур можна друкувати.

У 3D-друку мікроструктури, змодельовані комп'ютером, зазвичай використовуються для виготовлення об'єктів із просторово різними властивостями. Це досягається шляхом поділу об'єму потрібного об'єкта на менші підкомірки за допомогою засобів комп'ютерного моделювання, а потім заповнення цих осередків відповідними мікроструктурами під час виготовлення. Кілька різних структур-кандидатів зі схожою поведінкою перевіряються одна з одною, і об'єкт створюється, коли знайдено оптимальний набір структур. Для забезпечення сумісності структур у сусідніх осередках використовуються передові методи оптимізації топології. Цей гнучкий підхід до виготовлення 3D широко використовується в різних дисциплінах з біомедичних наук, де вони використовуються для створення складних кісткових структур і тканини людини до робототехніки, де вони використовуються при створенні м'яких роботів з рухомими частинами. 3D-друк також все більше і більше використовується в проектуванні та виготовленні лабораторних приладів.

3D-друк також використовували дослідники у фармацевтичній галузі. Протягом останніх кількох років спостерігається сплеск академічного інтересу до доставки ліків за допомогою методів АМ. Ця технологія пропонує унікальний спосіб використання матеріалів у нових рецептурах. Виробництво АМ дозволяє використовувати матеріали та сполуки при розробці рецептур способом, який неможливий за допомогою звичайних/традиційних методів у фармацевтичній галузі, наприклад, таблетування, лиття тощо. Крім того, один із основних Перевагами 3D-друку, особливо у випадку моделювання плавленого осадження (FDM), є персоналізація лікарської форми, яка може бути досягнута, таким чином, орієнтована на конкретні потреби пацієнта. У недалекому майбутньому очікується,

що 3D-принтери надійдуть у лікарні та аптеки, щоб забезпечити виготовлення персоналізованих рецептур відповідно до потреб пацієнтів на вимогу.

У 2018 році технологія 3D-друку була вперше використана для створення матриці для іммобілізації клітин при ферментації. В якості модельного дослідження було обрано виробництво пропіонової кислоти *Propionibacterium acidipropionici*, іммобілізованої на 3D-друкованих нейлонових кульках. Було показано, що ці кульки, надруковані на 3D-друку, були здатні сприяти прикріпленню клітин високої щільності та виробленню пропіонової кислоти, яку можна було адаптувати до інших біопроцесів ферментації.

Сектор освіти

3D-друк, зокрема 3D-принтери з відкритим кодом, є найновішими технологіями, які впроваджуються в клас. Деякі автори стверджують, що 3D-принтери пропонують безпрецедентну «революцію» в STEM-освіті. Докази для таких заяв походять як від недорогої можливості швидкого створення прототипів у класі студентами, так і від виготовлення недорогого високоякісного наукового обладнання з відкритих проектів апаратного забезпечення, що формують лабораторії з відкритим кодом. Майбутнє застосування 3D-друку може включати створення наукового обладнання з відкритим кодом.

Культурна спадщина та музейний цифровий близнюк

За останні кілька років 3D друк інтенсивно використовується в галузі культурної спадщини з метою збереження, реставрації та поширення. Багато європейських та північноамериканських музеїв придбали 3D-принтери та активно відтворюють зниклі частини їхніх реліквій та археологічні пам'ятки, такі як Тіванаку в Болівії. Музей Метрополітен і Британський музей почав використовувати свої 3D принтери для створення музейних сувенірів, які доступні в музейних магазинах. Інші музеї, такі як Національний військово-історичний музей та Історичний музей Варни, пішли далі і продають через онлайн-платформу Threeding цифрові моделі своїх артефактів, створені за

допомогою 3D-сканерів Artec, у форматі файлів, зручних для 3D-друку, які кожен може роздрукувати на 3D-друку. додому.

Застосування 3D-друку для представлення архітектурних активів має багато проблем. У 2018 році структура Національного банку Ірану традиційно була обстежена та змодельована за допомогою програмного забезпечення для комп'ютерної графіки (CG) (Cinema4D) та оптимізована для 3D-друку. Команда випробувала техніку побудови деталі, і це було успішно. Після тестування процедури розробники відновили структуру в Cinema4D і експортували передню частину моделі в Netfabb. Вхід до будівлі був обраний через обмеження 3D-друку та бюджет проекту на виготовлення макету. 3D-друк був лише однією з можливостей, які були доступні завдяки створеній 3D-моделі банку, але через обмежений термін проекту команда не продовжила моделювання для віртуального представлення чи інших додатків. У 2021 році Parsinejad et al. всебічно порівняв метод ручної зйомки для 3D-реконструкції, готової до 3D-друку, з цифровим записом (застосування методу фотограмметрії).

Останні інші програми

3D надруковані м'які приводи є зростаючим застосуванням технології 3D-друку, яка знайшла своє місце в програмах 3D-друку. Ці м'які приводи розробляються для роботи з м'якими структурами та органами, особливо в біомедичних секторах, де взаємодія між людиною і роботом неминуча. Більшість існуючих м'яких приводів виготовляються звичайними методами, які вимагають ручного виготовлення пристроїв, постобробки/складання та тривалих ітерацій до досягнення зрілості виготовлення. Замість стомлюючих і трудомістких аспектів поточних процесів виготовлення, дослідники досліджують відповідний підхід до виробництва для ефективного виготовлення м'яких приводів. Таким чином, 3D-друковані м'які приводи впроваджуються, щоб зробити революцію в проектуванні та виготовленні м'яких приводів із нестандартними геометричними, функціональними, і контролювати властивості швидшим і недорогим

підходом. Вони також дозволяють об'єднати всі компоненти приводу в єдину структуру, усуваючи необхідність використання зовнішнього пристрою з'єднання, клеї та кріплення. Виробництво друкованої плати включає в себе кілька етапів, які включають зображення, свердління, нанесення покриття, нанесення маски-пайки, друк номенклатури та обробку поверхні. Ці етапи включають багато хімічних речовин, таких як агресивні розчинники та кислоти. Плати для 3D-друку усувають потребу в багатьох із цих кроків, водночас створюючи складні конструкції. Полімерне чорнило використовується для створення шарів конструкції, тоді як сріблястий полімер використовується для створення слідів і отворів, які використовуються для протікання електрики. Поточне виготовлення друкованої плати може бути виснажливим процесом залежно від конструкції. Зазначені матеріали збираються та відправляються на обробку внутрішнього шару, де зображення друкуються, розробляються та витравлюються. Ядра травлення зазвичай пробиваються, щоб додати інструменти для ламінування. Потім серцевини готуються до ламінування. Наростання, нарощування друкованої плати, будується і направляється в ламінування, де шари скріплюються. Потім дошки вимірюються і свердляться. Багато етапів можуть відрізнятися від цього етапу, однак для простих конструкцій матеріал проходить процес нанесення покриття для покриття отворів і поверхні. Зовнішнє зображення потім роздруковується, проявляється та витравлюється. Після того, як зображення визначено, матеріал потрібно покрити маскою для пайки для подальшої пайки. Потім додається номенклатура, щоб компоненти можна було ідентифікувати пізніше. Потім додається обробка поверхні. Плати виводяться з панелі у форму окремої або масивної форми, а потім електрично перевіряються. Крім документів, які повинні бути заповнені, які підтверджують, що дошки відповідають специфікаціям, дошки потім пакують і відправляють. Переваги 3D-друку полягають у тому, що остаточний контур визначається з самого початку, не потрібно зображення, штампування або ламінування, а електричні з'єднання виконуються за допомогою сріблястого

полімеру, який виключає свердління та покриття. Остаточна документація також буде значно скорочена через відсутність матеріалів, необхідних для виготовлення друкованої плати. Складні конструкції, на виконання яких можуть знадобитися тижні через звичайну обробку, можна роздрукувати на 3D-друку, що значно скорочує час виготовлення. Окрім документів, які необхідно заповнити, які підтверджують, що дошки відповідають специфікаціям, дошки потім пакують та відправляють. Переваги 3D-друку полягають у тому, що остаточний контур визначається з самого початку, не потрібно зображення, штампування або ламінування, а електричні з'єднання виконуються за допомогою сріблястого полімеру, який виключає свердління та покриття. Остаточна документація також буде значно скорочена через відсутність матеріалів, необхідних для виготовлення друкованої плати. Складні конструкції, на виконання яких можуть знадобитися тижні через звичайну обробку, можна роздрукувати на 3D-друку, що значно скорочує час виготовлення. Окрім документів, які необхідно заповнити, які підтверджують, що дошки відповідають специфікаціям, дошки потім пакують та відправляють. Переваги 3D-друку полягають у тому, що остаточний контур визначається з самого початку, не потрібно зображення, штампування або ламінування, а електричні з'єднання виконуються за допомогою сріблястого полімеру, який виключає свердління та покриття. Остаточна документація також буде значно скорочена через відсутність матеріалів, необхідних для виготовлення друкованої плати. Складні конструкції, на виконання яких можуть знадобитися тижні через звичайну обробку, можна роздрукувати на 3D-друку, що значно скорочує час виготовлення. потрібне перфорування або ламінування, а електричні з'єднання виконуються за допомогою сріблястого полімеру, що виключає свердління та покриття. Остаточна документація також буде значно скорочена через відсутність матеріалів, необхідних для виготовлення друкованої плати. Складні конструкції, на виконання яких можуть знадобитися тижні через звичайну обробку, можна роздрукувати на 3D-друку, що значно скорочує час виготовлення. потрібне перфорування або ламінування, а електричні з'єднання

виконуються за допомогою сріблястого полімеру, що виключає свердління та покриття. Остаточна документація також буде значно скорочена через відсутність матеріалів, необхідних для виготовлення друкованої плати. Складні конструкції, на виконання яких можуть знадобитися тижні через звичайну обробку, можна роздрукувати на 3D-друку, що значно скорочує час виготовлення.

Під час пандемії COVID-19 3D-принтери використовувалися для доповнення обмеженого постачання ЗІЗ через волонтерів, які використовували свої особисті принтери для виробництва різних засобів індивідуального захисту (тобто каркасів).

Станом на 2021 рік і роки, що передували до нього, 3D-друк став як промисловим інструментом, так і споживчим продуктом. Оскільки ціни на певні 3D-принтери стають все дешевшими, а якість постійно зростає, багато людей обрали хобі 3D-друком. За поточними оцінками, понад 2 мільйони людей у всьому світі придбали 3D-принтер для хобі.

2. Методи виготовлення порошку для 3D-друку з металу

Металевий 3D-друк здійснюється шляхом сплавлення порошкоподібних металевих частинок разом для створення об'єкта в послідовному процесі пошарового друку. Властивості частинок дуже важливі для успішного 3D-друку металу. Подібний розмір, ідеально сферична форма однакового діаметру та якість є внутрішніми факторами, які впливають на процес 3D-друку. Тому необхідно виготовляти однорідні металеві частинки, щоб друкована частина мала ідеальну щільність на всіх поперечних перерізах.[2]

Розпилення

Розпилення - це процес перетворення твердої, рідкої або розчинної форми в дрібні частинки або краплі в навколишньому газі або у вакуумі.

На властивості частинок або крапель, що утворюються, сильно впливають розмір атомайзера, властивості матеріалу (твердого або рідкого) і властивості газоподібного середовища, в яке розпадається рідина.

Розпилення газом

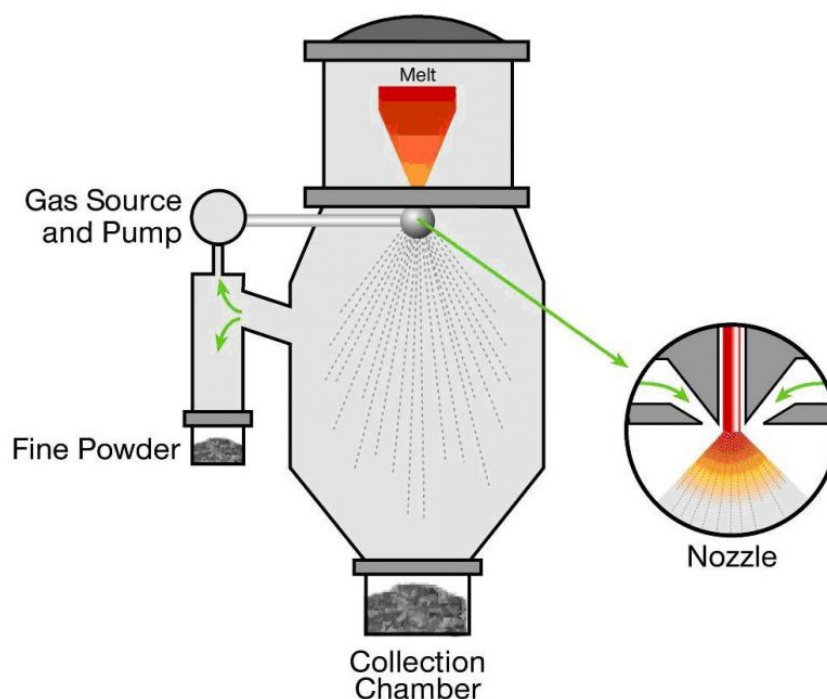


Рис.2.1 Розпилення газом

Розпилення газом є найпоширенішим методом виготовлення високоякісного металевого порошку для 3D-друку. Вихідну сировину плавлять під інертним газовим шаром або під вакуумом. Потім газ змушує розплавлений сплав проходити крізь сопло, де високошвидкісне повітря, газ азоту, гелію або аргону розпадають текучий розплавлений метал, розбиваючи його на дрібні краплі або частинки порошку. Ці краплі охолоджуються, падаючи в розпилювальну башту. Ці краплі або частинки переважно сферичні з невеликою кількістю асиметричних частинок.

Поряд із частинками також спостерігається окрема частинка, яка називається супутником. Супутник – це маленька частинка, яка під час затвердіння зв’язується з більшою. Розмір частинок коливається від 0 до 500 мкм, вихід у межах від 20 до 150 мкм коливається від 10% до 50% від загального.

Цей процес в основному використовується для таких металів, як нержавіюча сталь, інструментальна сталь, залізо, нікель і сплави міді. Він також використовується для титанових та алюмінієвих сплавів.

Розпилення води

Процес розпилення води подібний до процесу розпилення газу, з тією лише різницею, що в якості розпилювача замість високошвидкісного газу використовують воду. Цей процес порівняно дешевший, ніж розпилення газу.

Цей метод є кращим для нерекційних матеріалів, таких як сталь. Але цей процес зазвичай утворює частинки неправильної форми. Метали та сплави, які не реагують хімічно з водою.

Плазмова атомізація

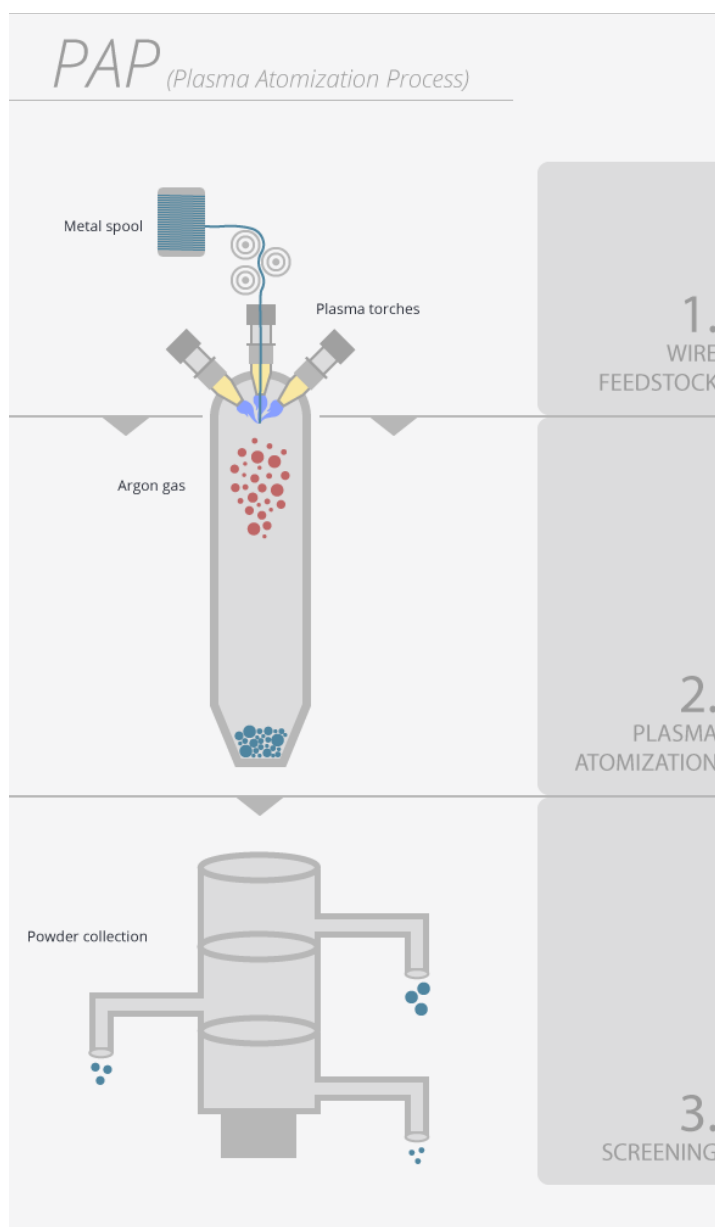


Рис.2.2 Плазмова атомізація

Плазмова атомізація є відносно новою технікою виробництва металевого порошку для 3D-друку високої якості. Він був запатентований PyroGenesis у 1995 році. Цей процес дозволяє виготовляти порошки, які є дрібними, однорідними, повністю щільними і сферичними металевими порошками, які течуть як вода. Вихідна сировина дроту подається безпосередньо в плазмотрон. Факел разом із іншими газами розпилює метал, утворюючи порошок. Розмір коливається від 0

до 200 мікрон. Цей процес обмежується сплавами або тільки для пластичних металів, тобто які можна витягнути в дроти.

Розпилення обертового диска

Розпилення з обертовим диском є одним із найпростіших методів виготовлення металевого порошку для 3D-друку. Його можна розглядати як альтернативу між газовим і плазмовим розпиленням. Порошок, отриманий за допомогою цього процесу, більш сферичний, ніж при газовому розпиленні, але має нижчу якість порівняно з розпиленням плазмою.

Цей процес дешевший, ніж PREP і плазмове розпилення. Він підходить для менш реакційноздатних сплавів з низькими температурами плавлення.

EIGA (Індукційне розпилення газу для плавлення електродів)

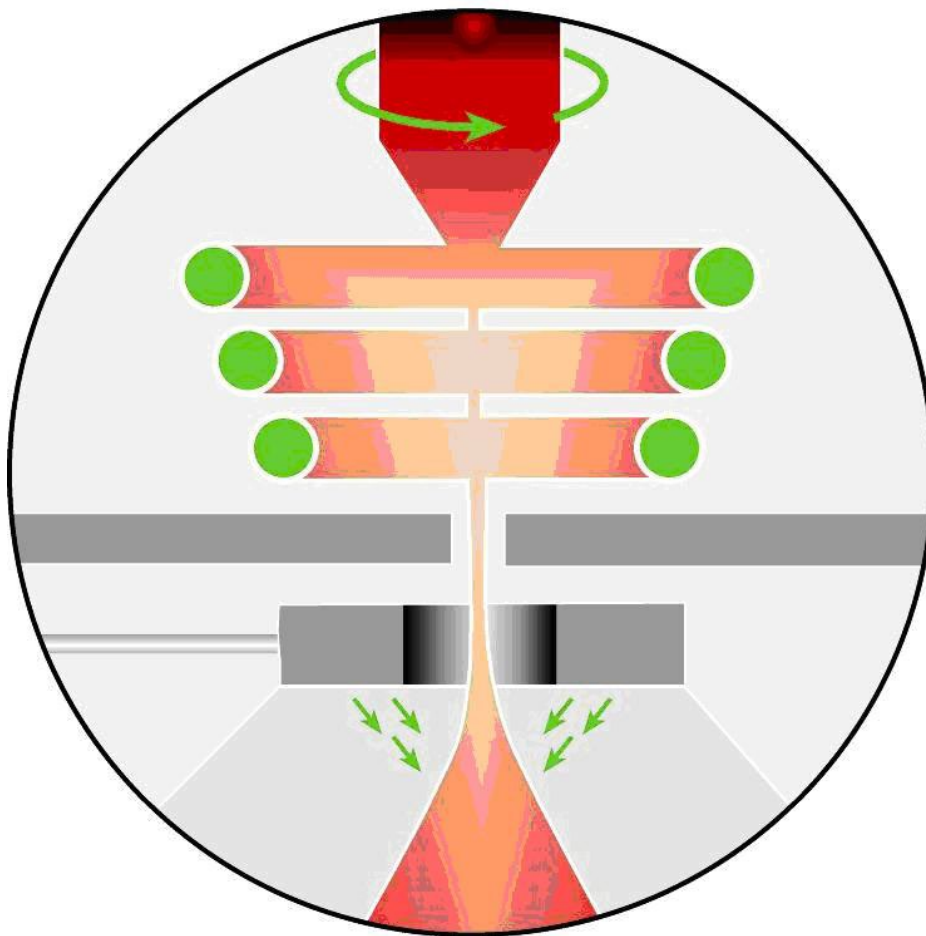


Рис.2.3 Індукційне розпилення

Електродний індукційний газ розпилення (EIGA) найчастіше використовується для виготовлення металевого порошку для 3D-друку з титану. Використовується в разі реакційноздатних металів.

Вихідна сировина у вигляді металевих брусків. Вони обертаються з великою швидкістю і плавляться за допомогою індукційної котушки. Розплавлений метал стікає до сопла і виходить на потік газу для розпилення.

Розмір частинок становить від 0 до 500 мікрон, а порошок схожий на розпилення газу. Цей процес відносно дешевий і ідеально підходить для дрібносерійного виробництва. Він може створити справді дрібну пудру.

PREP (Процес плазмового обертового електрода)

Цей процес подібний до EIGA. Єдина відмінність полягає в тому, що обертовий метал плавиться тільки при контакті з плазмою

Частинки надзвичайно сферичні, а вартість може бути досить високою.

Сфероїдизація плазми

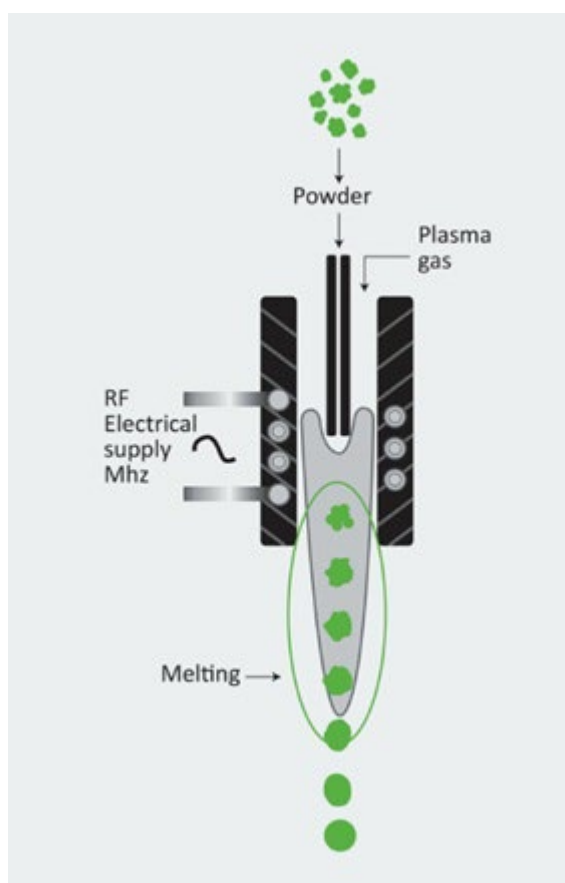


Рис.2.4 Сфероїдизація плазми

У цьому методі спеціально використовується LPW. Цей метод використовується для перетворення звичайних порошків, отриманих традиційними методами дроблення металу або методами розпилення та спікання, у сферичний порошок.

Порошок подається зверху під дією сили тяжіння та розпилюється за допомогою плазми через різні насадки залежно від типу порошку та його властивостей. Окремі частинки порошку повністю розплавляються, а потім формуються в ідеальну сферичну частинку, яка є повністю щільною. Особлива обережність приділяється, щоб уникнути забруднення поверхні шляхом випаровування домішок.

3. Розробка установки для сфероїдизації порпошків

Для створення установки було проаналізовано існуючі установки різних виробників. Але інформації у публічному доступі дуже мало і є лише загальний опис процесу.

Матеріалом який буде оброблюватися було вибрано титан, так як він набув найбільшої популярності на ринку сировини для 3D-друку

Головною особливістю титану, та його сплавів є його висока активність в нагрітому на понад 300°C стані. Це проявляється у вибуханні дрібних частинок при реакції з киснем. З цього можна зробити висновок, що середовище у якому буде проходити процес повинне бути вакуумне, або заповнене інертним газом. З точки зору якості набагато краще буде заповнити простір аргоном Ar , через те, що аргон є важчий за повітря, що приведе до витіснення залишкового наявного об'єму кисню.

Так як для даного процесу підходить лише інертна плазма для плазмоутворюючого газу використовують інертний газ, найчастіше це також аргон Ar . Тому це найкращий вибір.

В якості корпусу було прийнято рішення зробити установку на базі вже готової установки для іонного напилення «Булат» рис.3.1



Рисунок 3.1 Установка «Булат»

Таке рішення дозволить значно спростити процес розробки. В даній установці вже є базове оснащення з багатьма необхідними вузлами, такими як вакуумно відкачувальною установкою, для створення вакууму всередині камери. Також вона оснащена механізмом закачки газу, для створення необхідного середовища.

Проте все одно необхідно внести деякі зміни. Спершу потрібно зробити місце для розташування плазмотронів. Для того аби врівноважити силу полум'я плазми, і домогтись того, щоб порошок сипався вниз, без зміщення вниз, необхідно розташувати 3 плазмотрони під кутом 45° відносно горизонталі, і під кутом 120° один відносно одного. Схема зображена на рис. 4.2

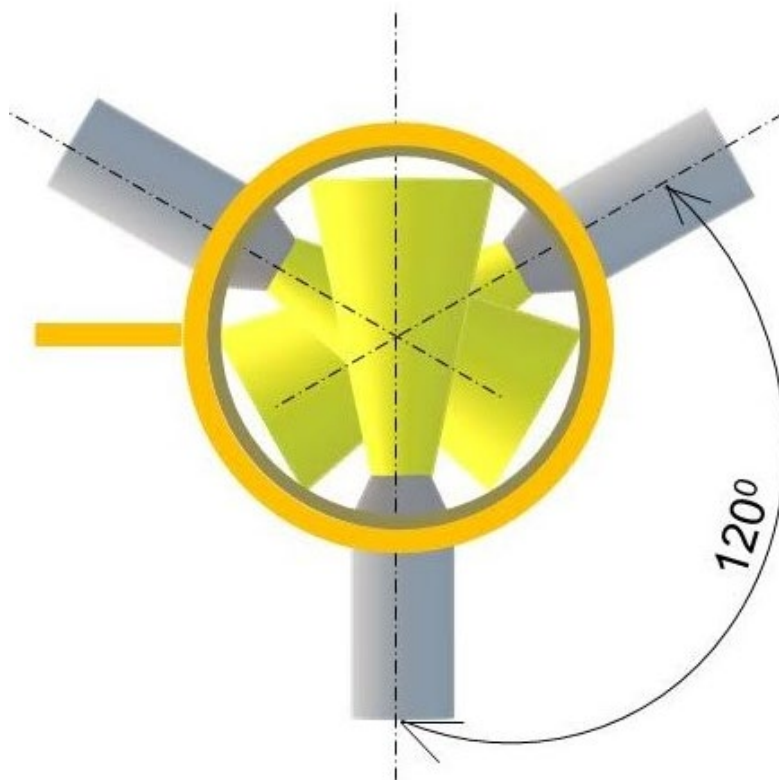


Рисунок 3.2 Розміщення плазмотронів

По-друге, потрібно збільшити висоту місця проходження процесу щоб порошок встиг кристалізуватись після обробки. Висоти купола «Булата» (500мм) не достатньо, тому в якості додаткової висоти буде використовуватись обрізаний балон для газу на 40л. додатково необхідно додати хоча б 500мм висоти падіння,

а для того аби «реактор» прикріпити до купола, необхідно зробити на вершині купола виріз, діаметром меншим за діаметр балону на значення товщини стінки і заварити між собою.

Це дасть нам також можливість зробити місце під плазмотрони. Кріплення зображене на рис. 3.3

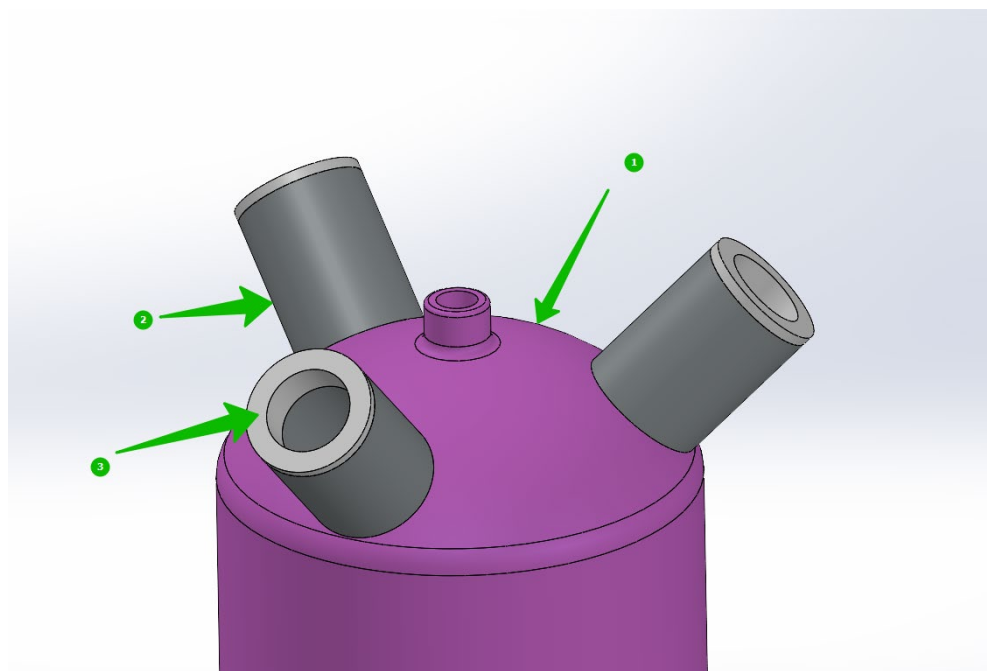


Рисунок 3.3 Місця кріплення плазмотронів

Конструкція досить проста, цифрою 1 позначено газовий балон, цифрою 2 позначено горловину під плазмотрон, яка виконана зі сталюї труби $\varnothing 60$, цифрою 3 позначено металевий виточений фланець до якого різьбою буде прикручуватись плазмотрон.

Також слід зауважити, що реактор із балону для газів під високим тиском, є чудовим варіантом також через наявність зверху горловини, вона є чудовим місцем для розміщення дозатора.

4. Виготовлення плазмотрона

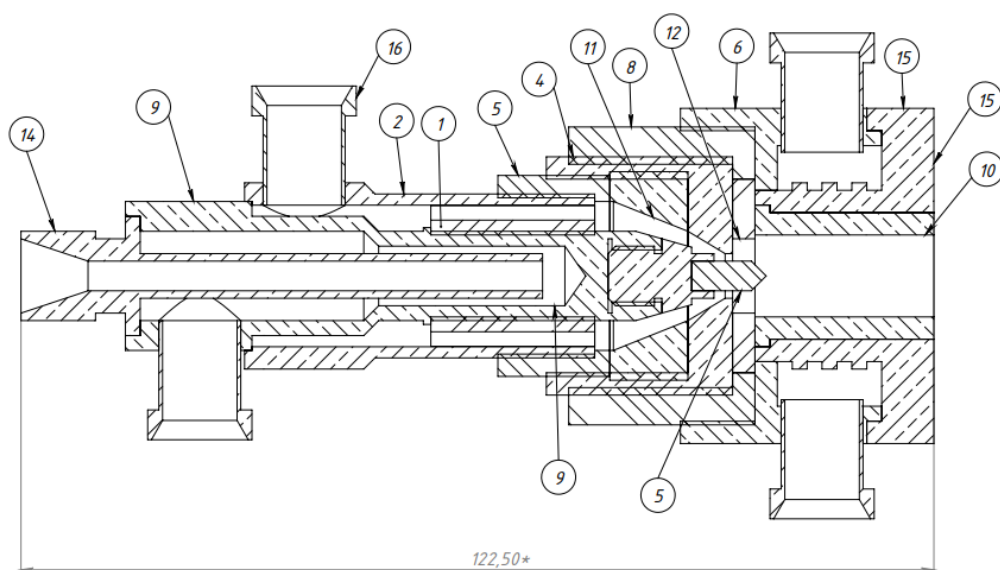


Рисунок 4.1 Плазмотрон та його схема

Даний плазмотрон конструктивно складається з 4х умовних вузлів, це:

- анодний вузол
- катодний вузол
- охолоджувальний контур
- вузол газопостачання

Для запалювання плазми, в плазмотроні загоряється дуга між вольфрамовим електродом (3) та анодом (10). Електрод вставляється в мідний електродотримач (5), який в свою чергу вкручується в катодний вузол (9), який безпосередньо підключається до джерела живлення. Катодна область від анодної відмежовується ізоляторами (7) та (8). Анод розміщується безпосередньо в зоні сопла, і під'єднаний до тепловідводу (13), який собою представляє мідну гільзу з пазом під анод всередині, пазом під кріплення кришки сопла (6), також на тепловідводі виточені ребра, які необхідні для збільшення зони охолодження анода.



Рис. 4.2 Катодний вузол з припаяною системою охолодження та вузлом газоформування

На рис 4.2 зображений катодотримач (9)(рис.4.3) до якого припаяний спеціальний штуцер подачі води (14)(рис.4.4) в якому створено довгий канал подачі води всередину, це необхідно для того, аби вода подавалась як можна ближче до електрода, і в принципі рівномірно розтікалась по каналу. Для виведення відповідно теж передбачено штуцер. Сам штуцер подачі води вкручується в катодний вузол, який в свою чергу вкручується у вузол газоформування (2).

Вузол газоформування являє собою круглий мідний корпус (2)(рис.4.6), який розташований ззовні плазмотрона, має один отвір під штуцер подачі газу, і утворює собою канал для подачі цього газу вздовж всього плазмотрона. Для того аби потік газу був ламінарний, передбачена втулка (1)(рис.4.7) в якій розташовано дрібні поздовжні пази, які формують рівнонаправлений потік газу.

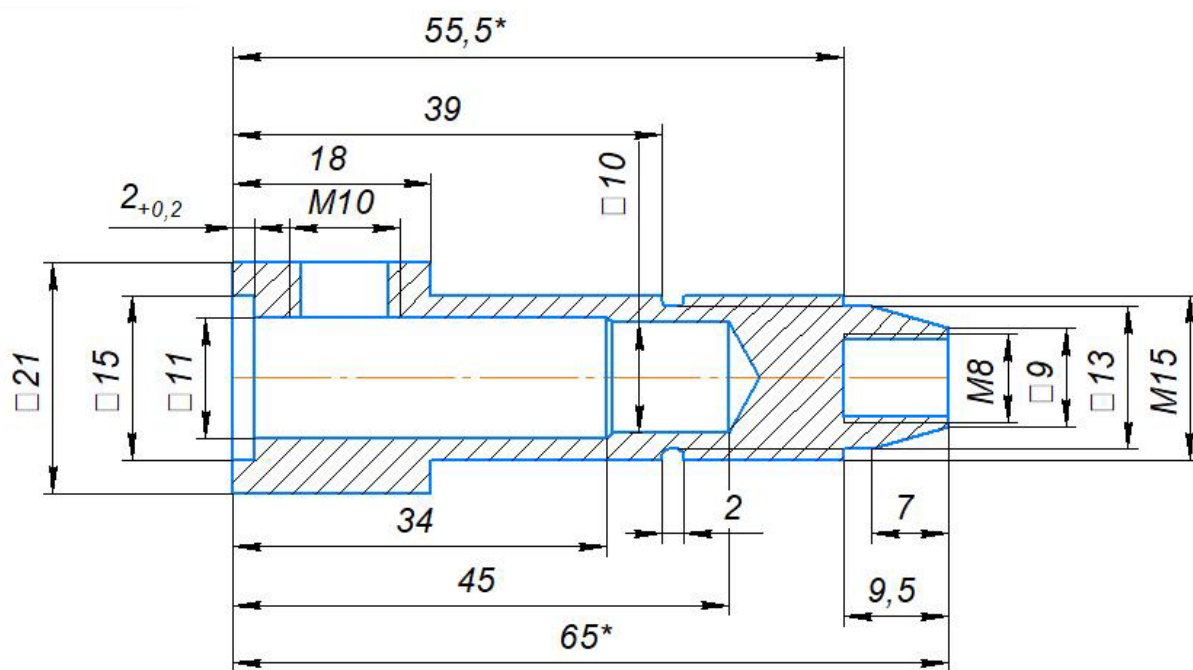


Рис. 4.3 Катодотримач

Ця деталь є важливою частиною конструкції плазмотрона. Вона проводить струм до електрода, формує канал проведення газу, та являється частиною системи охолодження електрода. При конструюванні даного вузла точкою від

якої відштовхувались, був діаметр електродного вузла, тому попереду місце під електрод має внутрішню різьбу M8 під власне кажучи сам електрод.

Далі можна побачити виточену канавку, яка має розмір $\varnothing 11\text{мм}$ та $\varnothing 10\text{мм}$, це і є зона охолодження. З тильної сторони проточений вхідний канал з пазом під спеціальний штуцер, але особливістю його є те, що його канал подачі води простягається практично вздовж всього катодотримача, для того щоб вода попадала першочергово безпосередньо в найбільш наближену до електрода точку, і тоді вже розтікалась вздовж стінок до вихідного отвору, де в загальній збірці буде розташований стандартний штуцер, який призначений для виведення води із зони охолодження, і власне кажучи забезпечення нормальної циркуляції.

Також на катодотримачі зроблений спеціальний паз для фіксації спеціальної потокоформуючої втулки (1)(рис.), яка необхідна для формування колінеарного потоку. Проте це не єдине посадочне місце, ближче до тильної сторони розташований ще один паз, який слугує для розміщення зовнішнього кожуха плазмотрона.

Так як даний вузол в першу чергу призначений для фіксації електрода, та відведення тепла, то економічно було раціонально використати латунь в якості матеріалу.

Виготовлений даний компонент методом токарної обробки.

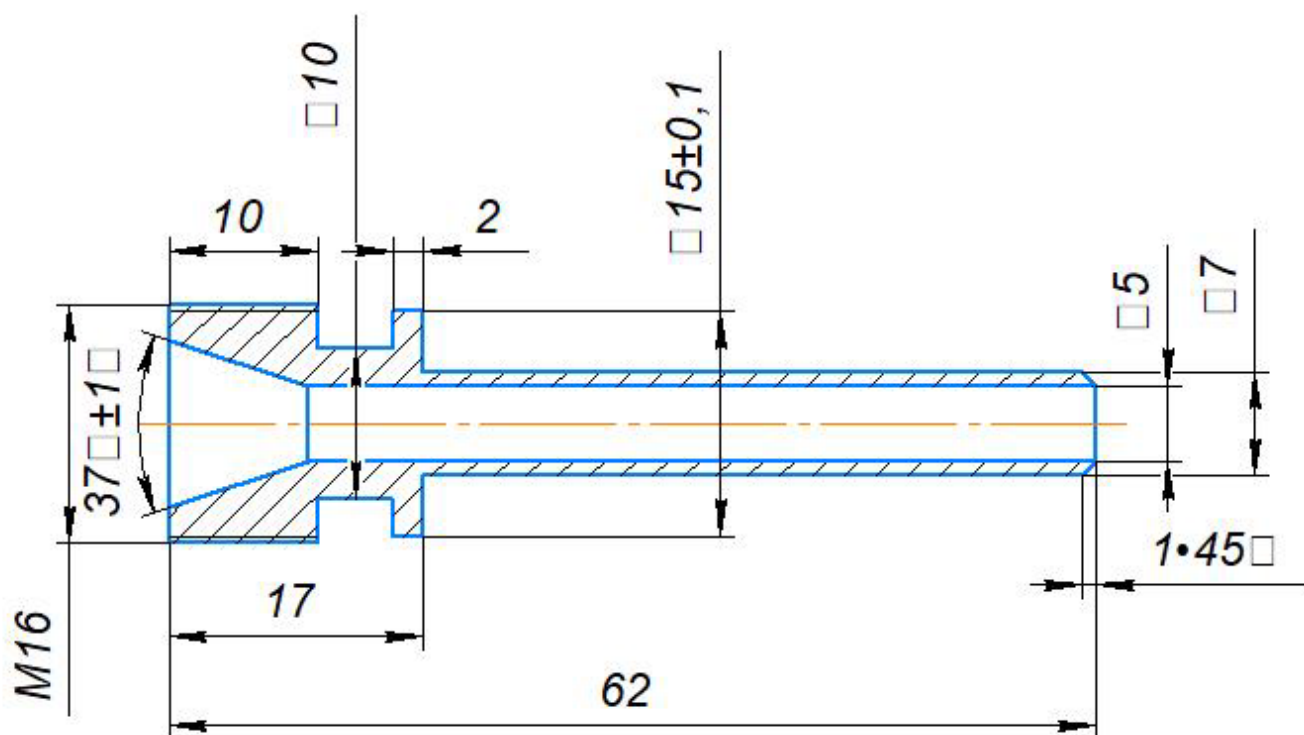


Рис.4.4 Штуцер

В плазмотроні наявні чотири стандартизовані штуцери і п'ятий спеціальний штуцер (14)(рис.4.4). Він знаходиться в серединні катодотримача і припаяний до нього. Він необхідний для подачі води чим ближче до електроду, тим самим збільшивши ефективність охолодження.

Виготовлений даний компонент з латуні методом токарної обробки.

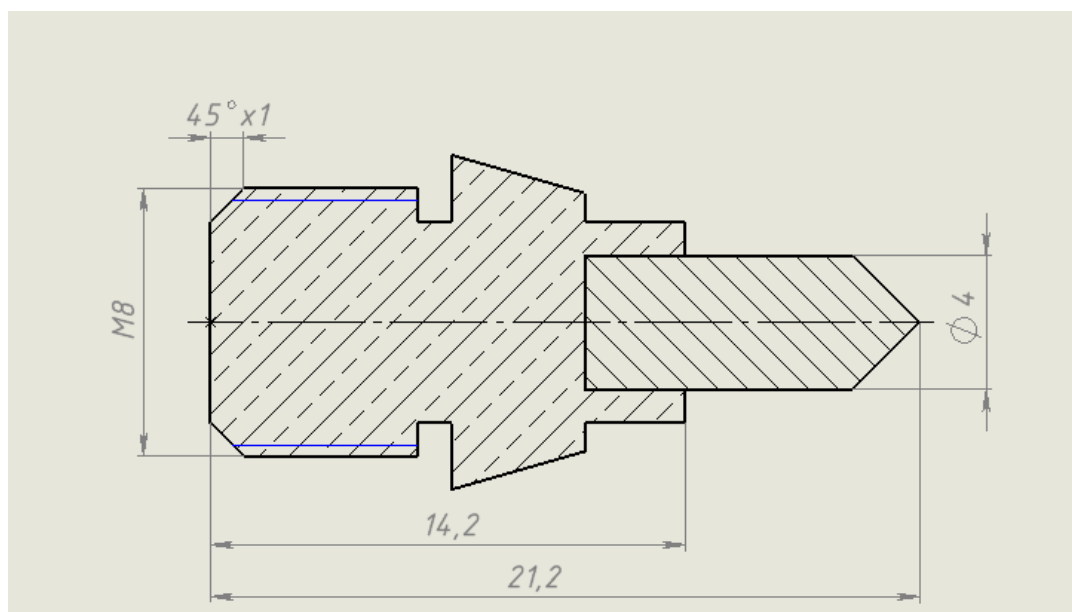


Рисунок 4.5 Електродний вузол

На рис. 4.5 зображено електродний вузол, він складається електродотримача, та електрода.

Електродний вузол відповідає за запалення робочої дуги, тому він повинен для цього він повинен відповідати певним характеристикам:

- гарну електропровідність;
- жароміцність;

Жароміцність необхідна через те, що робоча температури дуги може набувати температуру понад 5000°C . Для додаткового охолодження використовується водяне охолодження.

Конструктивно даний вузол є цільним, тобто електрод припаюється до свого тримача, а в сам плазмотрон вже встановлюється за допомогою наявного різьбового з'єднання М8. Проте через те, що сама форма тримача є конічна, це дає певні незручності з точки зору подальшої заміни деталей вузла, так як він є розхідним матеріалом. Для того аби це виправити, на гранях тримача необхідно виточити прямі пази, які дозволять потім викрутити електрод за допомогою ключа.

В якості неплавкого електрода використовується лантановий вольфрамовий електрод $\varnothing 4\text{мм}$. Даний електрод виокремлюється підвищеною стійкістю дуги, можливістю роботи при високих значеннях струму, а також більшою тугоплавкістю. Це дозволяє використовувати електрод більшу кількість часу в порівнянні з електродами з чистого технічного вольфраму.

Тримач виготовлений з міді марки М2, виготовлений даний вузол методом токарної обробки.

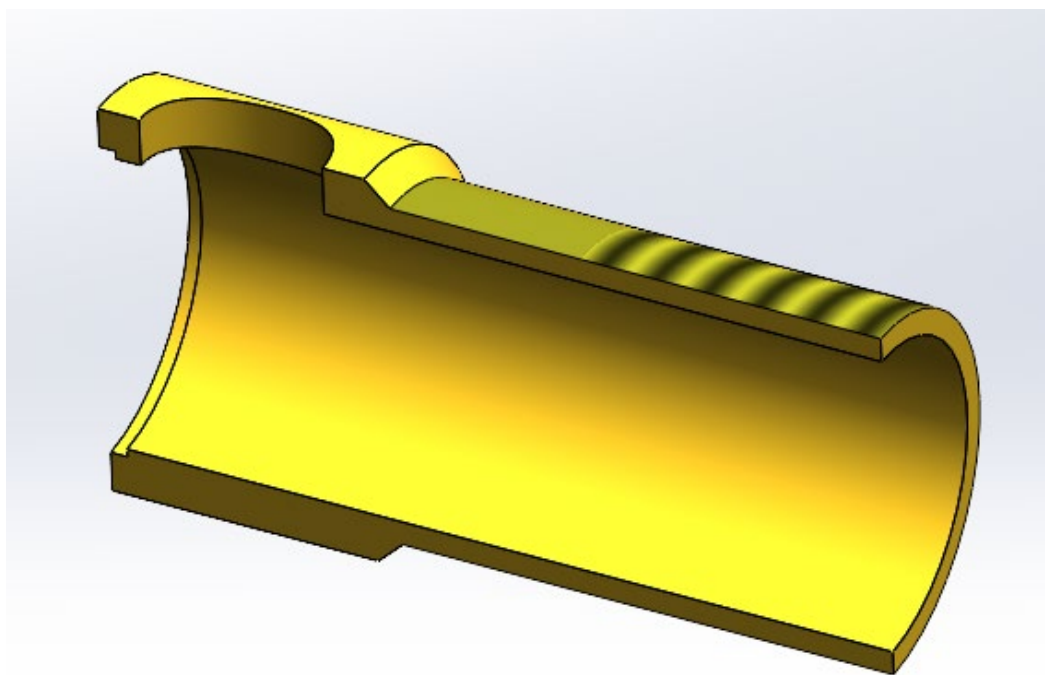
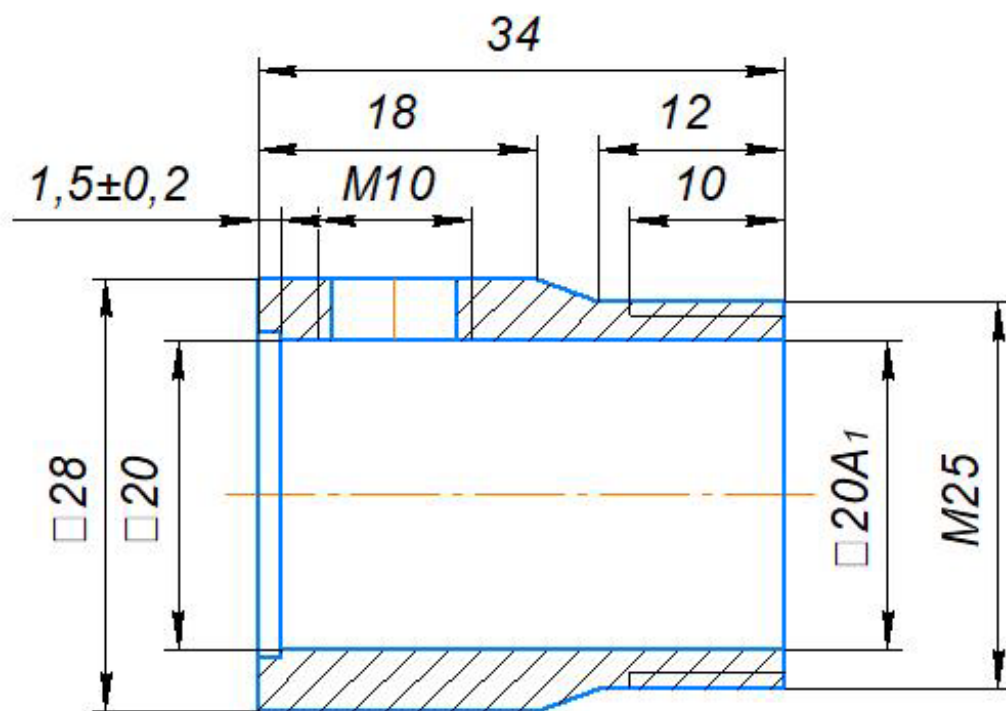


Рис.4.6 Газоформирующий вузол

Ця деталь формує канал газового потоку. Він розміщується поверх катодотримача на спеціальне посадкове місце з тильної сторони. Газ подається через стандартизований штуцер для якого передбачено отвір. Газ рухається

здовж каналу утвореного даного вузла та проходить через потокоформуючу втулку (1)(рис.4.7)



Рис.4.8 Ізолятор та мідний корпус

Для з'єднання з ізолятором (5)(рис.4.8) передбачено різьбу M25.

Зроблений з латуні так як він не повинен напряму піддаватись температурному впливу і проводити струм. Виготовлений методом токарної обробки.

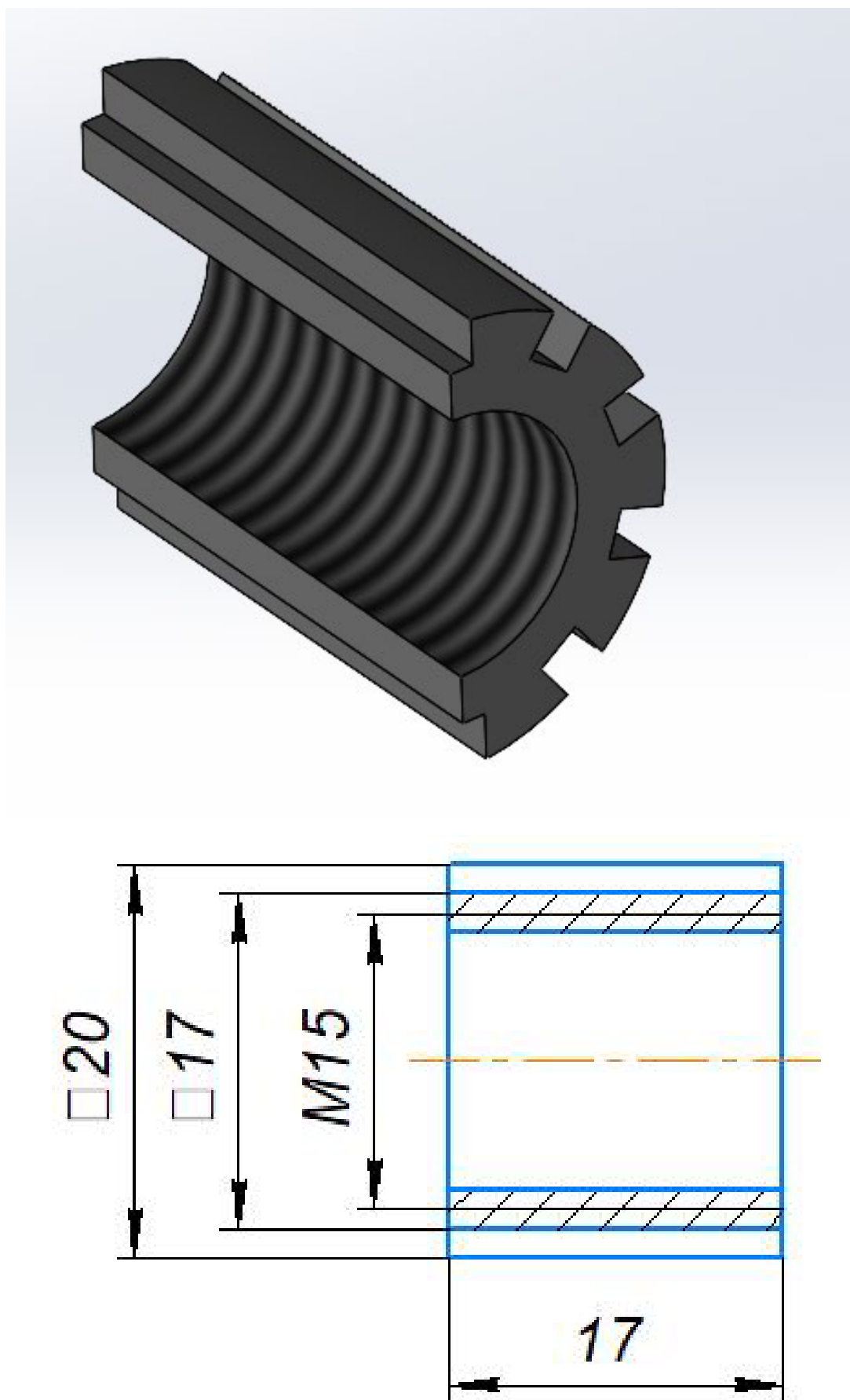


Рис.4.9 Потокоформи́ющая втулка

На ілюстрації рис.4.9 зображена потокформуєча втулка, яка формує колінеарний потік газу. Що забезпечує сталу подачу газу, і стабільний промінь плазми. Для її фіксації наявна різьба M15 на катодотримачі на яку ця втулка вкручується.

Для виготовлення цієї втулки використали латунь. Виготовили методом токарної та фрезерної обробки.

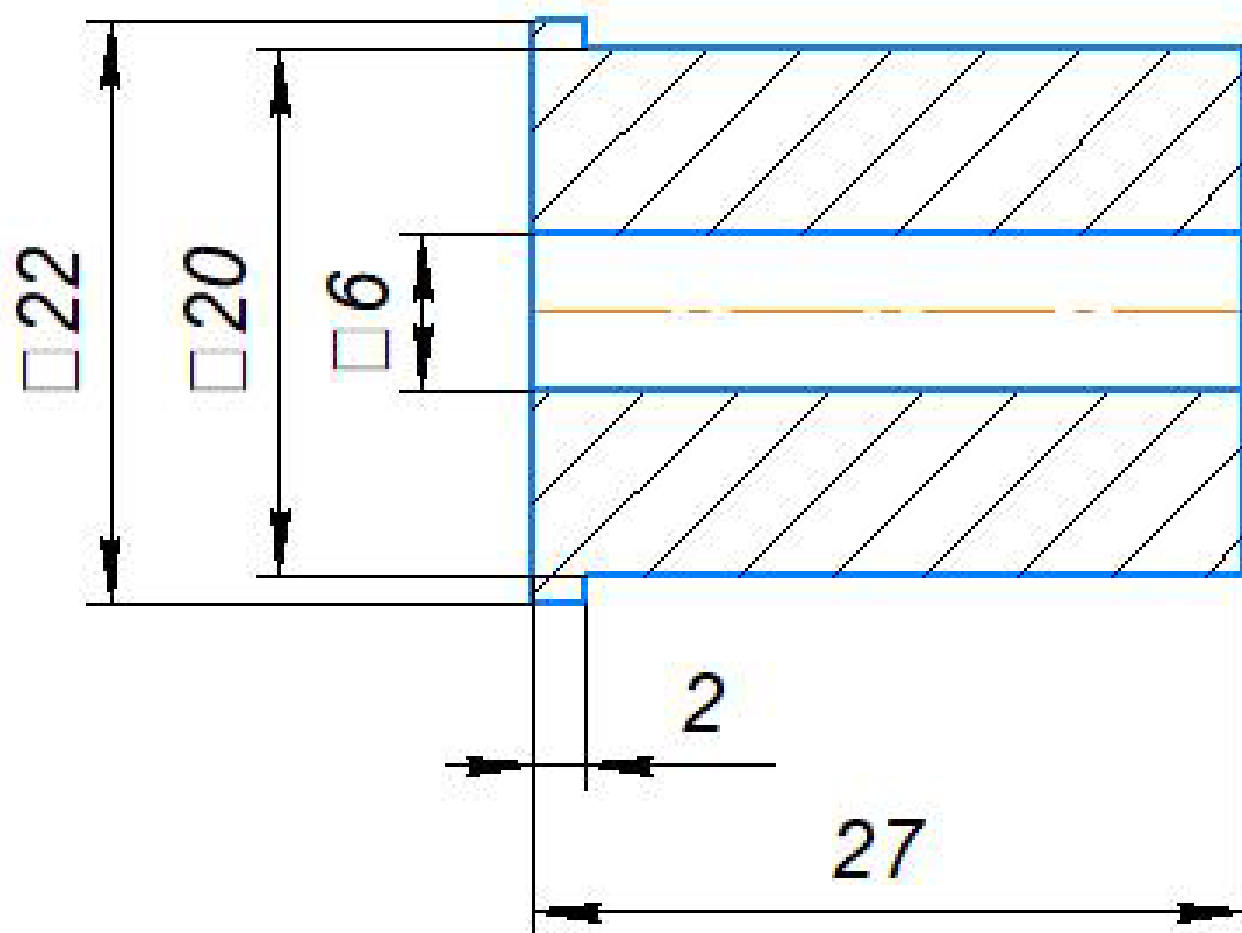


Рис.4.10 Анод

В плазмотроні анод(10)(рис.4.10) виконує ключову функцію, він підтримує горіння робочої дуги. Існує дві дуги: попередня і робоча. Перша потрібна для того щоб без проблем запалити другу.

Так як через дану деталь безпосередньо буде проходити промінь плазми і під її дією він не деформувався ми використали мідь марки М1, через її гарну теплопровідність.

Для відводу тепла від аноду використовується сопло з декількох деталей у якому циркулює вода. Для його розміщення в цьому соплі зроблено паз у який заводиться анод, і надійно фіксується.

Для економії матеріале, та ефективнішого виготовлення деталі було би розумно використати трубу даного діаметру. Але так як я не зміг знайти потрібну трубу ми використали мідний прут.

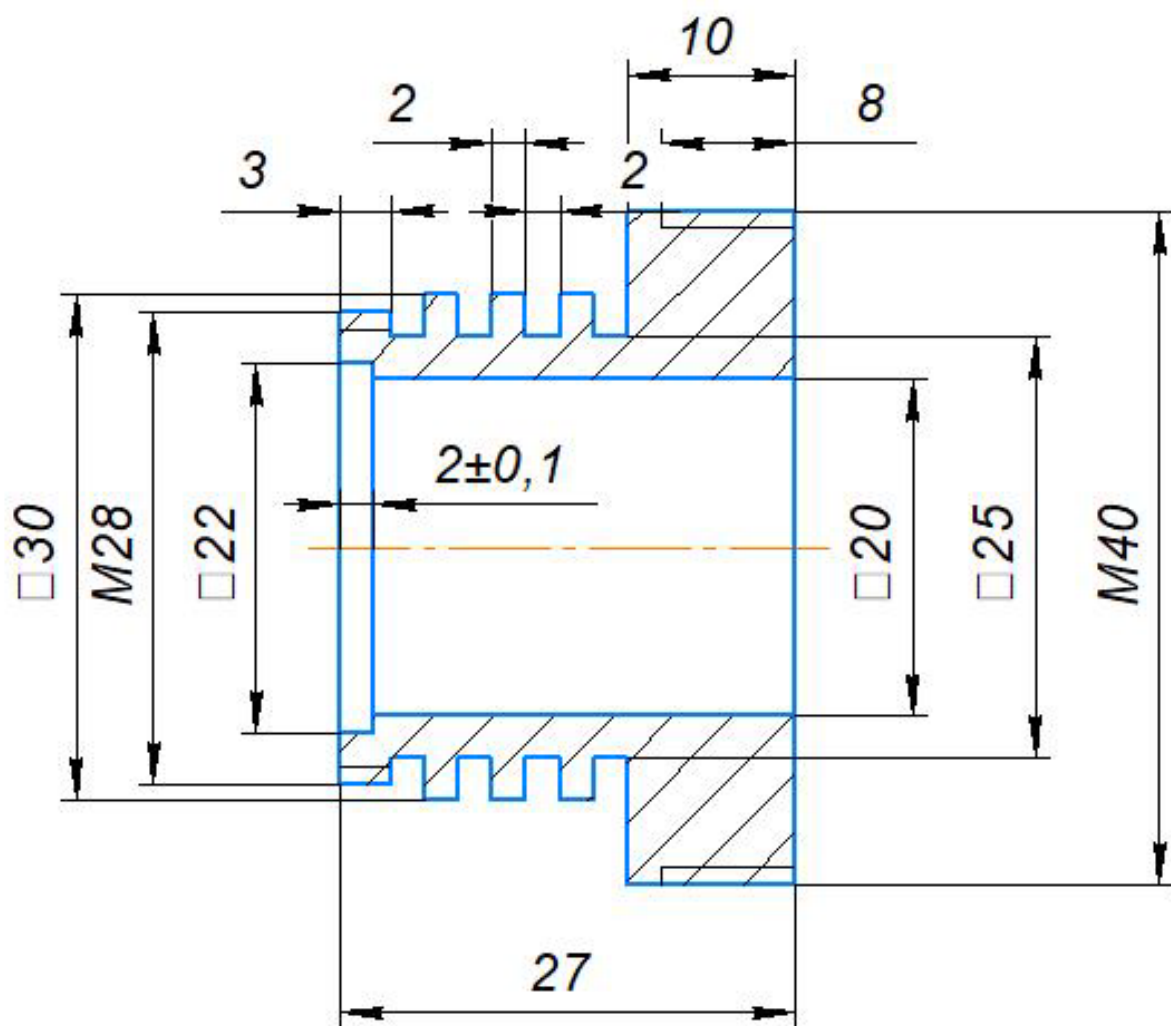


Рис.4.11 Кожух сопла внутрішня частина

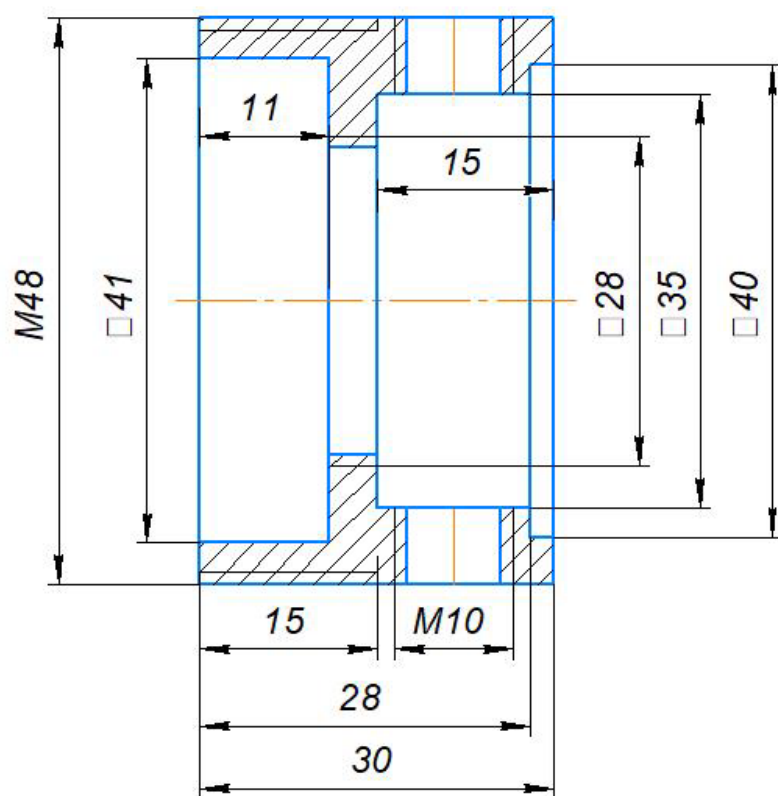


Рис.4.12 Зовнішня частина кожуха сопла з припаяними штуцерами

На рис.4.11 та рис.4.12 показані дві частини сопла. У внутрішній частині зроблені спеціальні ребра для відводу тепла, для більшої ефективності. Також зроблено місце для аноду з фіксуючим пазом.

Для з'єднання з зовнішньою частиною зроблена різьба M28. Разом вони утворюють замкнуту систему водяного охолодження де два штуцери являють собою вхід і вихід для води.

Для фіксації з іншими деталями плазмотрону передбачено дві різьби: M48 на зовнішній частині (рис.4.12) і M40 на внутрішній (рис.4.11).

Деталі виготовлено з латуні, методом токарної обробки.



Рис.4.13 Ізолятор

Електродотримач разом з своєю системою охолодження кріпиться на різьбу M32 у ізоляторі (рис.4.13) який вставляється в сопло. І фіксується кришкою (рис.4.14) на різьбу M48.

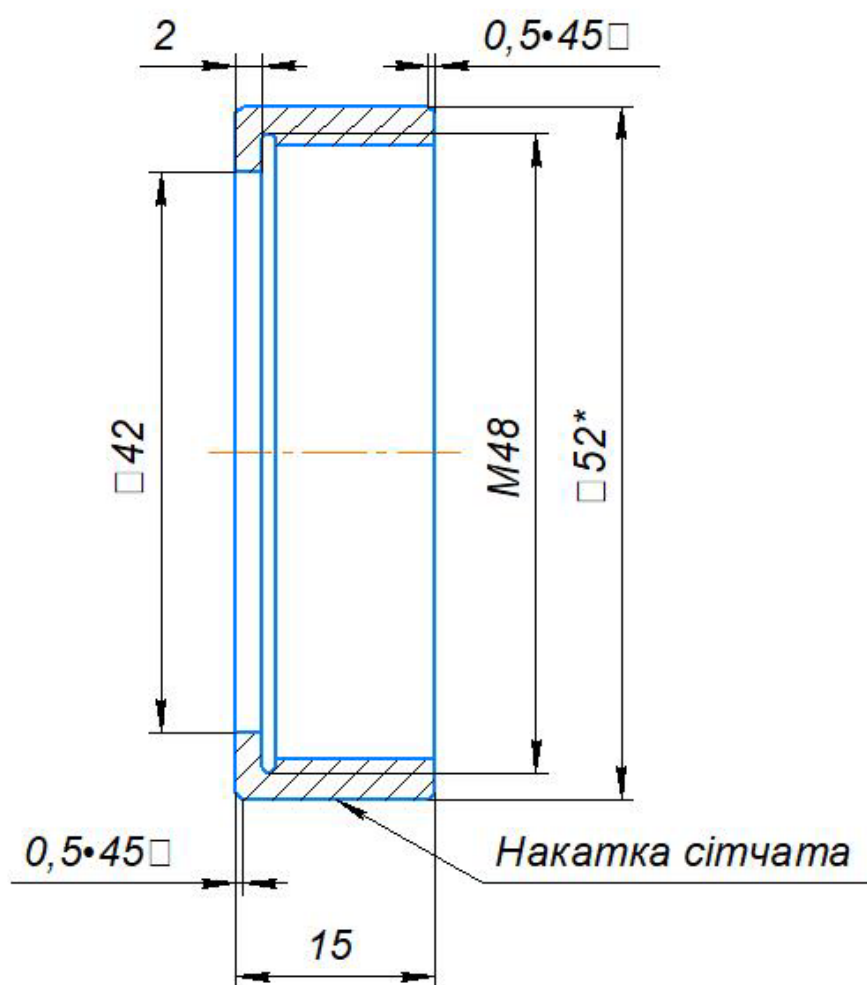
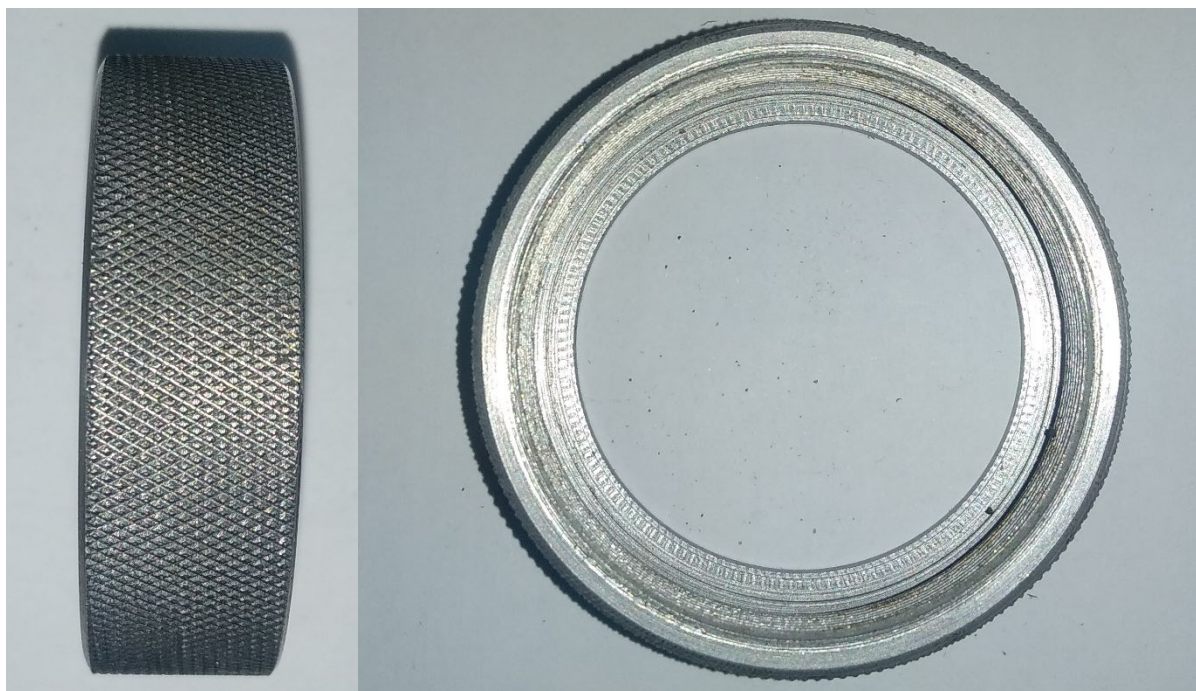


Рис.4.14 Фіксатор сопла

5. Механізм подачі порошку

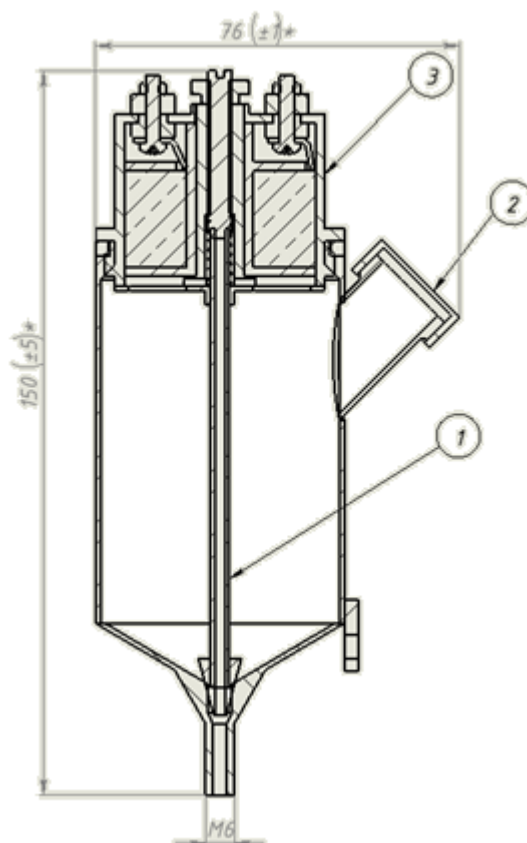


Рисунок 5.1 Механізм подачі порошку

На ілюстрації можна побачити, даний механізм має три компоненти: корпус (2), вібратор (3) та котушку (1).

Дозатор працює таким чином: струм підводиться до котушки де виникає електромагнітна індукція. Осердям в цій конструкції виступає вібратор з пружиною. Пружина починає коливатися під дією електрорушійної сили, таким чином відкриваючи клапан з певною частотою.

Порошок засипається через наявну горловину в корпусі.

5.1. Корпус живильника

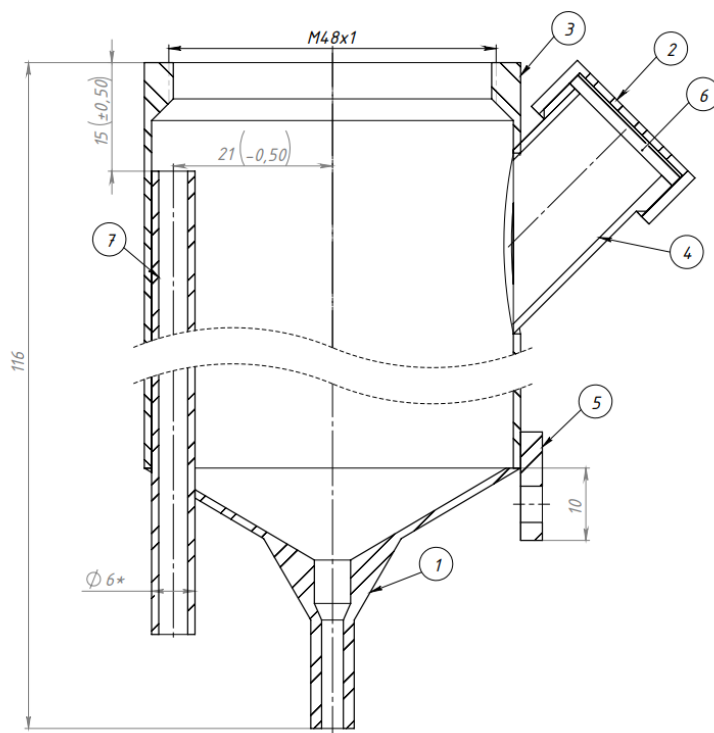


Рисунок 5.2 Корпус механізму подачі

На рис. 5.2 зображений корпус, він складається із декількох деталей: обечайки (3), горловини (4), кришки горловини (6), днища (1) та трубки (7), яка слугує для підтримання нормального тиску всередині корпусу.

На верхній частині корпусу присутня різьба M48, вона знаходиться там для приєднання катушки до корпусу.

Даний корпус не піддається дії агресивного середовища, тому його можливо виконати зі таких марок сталі як Сталь 3, або 09Г2С. Даний вибір обумовлений суголго економічною складовою.

5.2. Вібратор

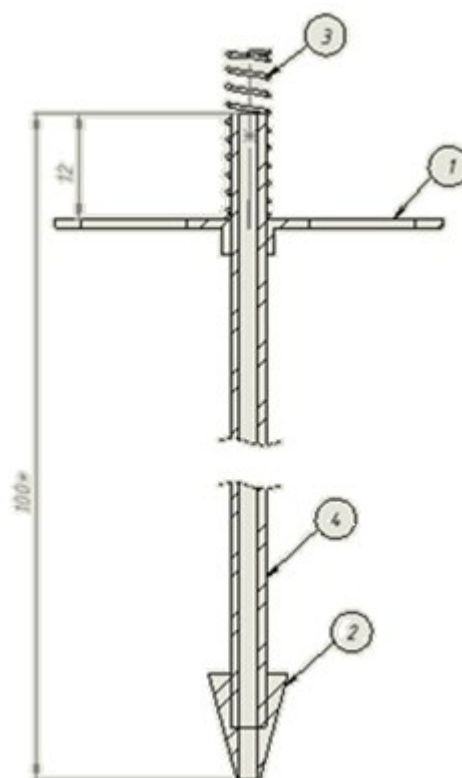


Рисунок 5.3

Вібратор являє собою пропускний клапан в механізмі подачі порошку. В ньому присутні чотири деталі. Це диск (1), який виступає в ролі обмежувача. Його завдання не давати конструкції підійматись вище певного рівня, для того щоб подача порошку була рівномірною.

Наступним компонентом є пружина (3). Вона відповідає за відкриття і закриття клапану.

Конус (2), це і є клапан, який собою закриває канал в корпусі.

5.3. Котушка

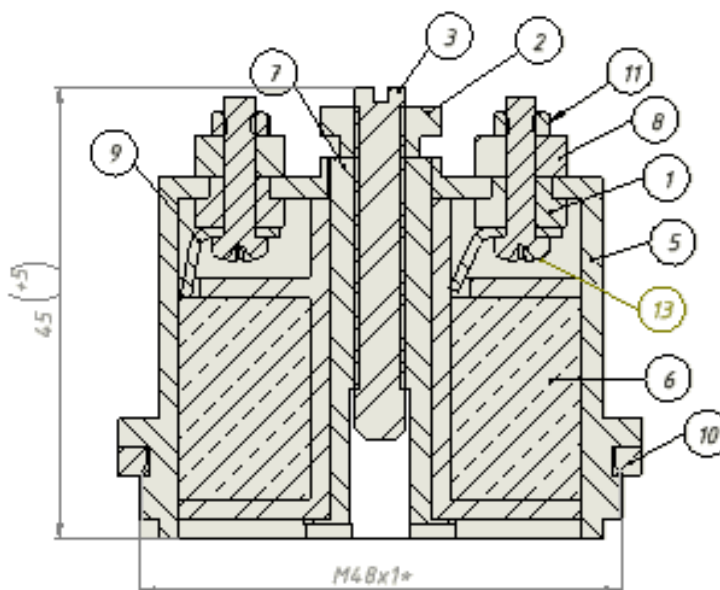


Рисунок 5.4 Котушка

Котушка необхідна для приведення в дію вібратора. Це відбувається за рахунок створення ЕРС, яка утворюється мідною котушкою (6). Підводиться струм до неї за допомогою клем, в даному випадку вони реалізовані у вигляді двох болтів МЗ, які ізолювані від корпусу шайбами з діелектрика (8) та (1). Спеціальні провухини (9) використовуються для підведення струму безпосередньо від клем до «міді». Для того, аби вони без проблем могли мати контакт, в скелеті (5) передбачено (2) отвори. Скелет необхідний для запаковування мідної котушки, і виконує функцію струбцини. Ще в ньому посередині наявний канал в який вкручується спеціальний палець (3). Він виконує функцію осердя та утворює місце для розташування пружини з вібратором.

6. Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

Технології адитивного виробництва на сьогоднішній день є найперспективнішим методом виробництва. За допомогою цієї технології зараз можливе виготовлення від дрібних деталей неординарної форми до космічних ракет та будівель.

Пошарове виготовлення деталей стає необхідним у сучасному виробництві, бо завдяки даній технології стало можливе виготовлення деталей будь якої геометричної форми. Також максимально зменшується вплив людини на процес виробництва, що зменшує ймовірність дефектів і дає можливість виготовляти вироби з високим рівнем відповідальності. Для подальшого і легшого розвитку технології адитивного виробництва в Україні ми розроблюємо установку для виготовлення сфероїдизованих порошків. Виробництво матеріалів українськими підприємствами повинно здешевити їх вартість і зробити більш доступними.

Основні проблеми, які ми розглядаємо:

- Безпечну експлуатацію механізмів і систем, що рухаються;
- Забезпечення захисту від небезпечних аерозолів та випромінювання.
- Забезпечення пожежної безпеки.

6.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ)

Зазначені у таблиці 6.1 шкідливі і небезпечні фактори у виробництві являють собою негативні наслідки плазмового зварювання оскільки це найближчий процес до сфероїдизації порошків.

В якості матеріала який буде піддаватись сфероїдизації порошок титановий ПТК, який буде попередньо армований керамікою ТУ 14-22-57-92.

У зв'язку з високою активністю титана при температурах понад 400, плазмоутворюючим газом обираємо Аргон високої чистоти, тобто вміст аргону >99.998% ТУ 2114-005-05798345-2009.

Так як обладнання є експериментальним, то режими проведення процесу будуть обиратись дослідним шляхом.

Види процесів	Шкідливі виробничі фактори										Небезпечні виробничі фактори			
	Шкідливі речовини	Випромінювання в оптичному діапазоні			Електромагнітні поля	Магнітні поля	Іонізуючі випромінювання	Шум	Ультразвук	Статичне навантаження на руху	Електричний струм	Іскри, бризки і викиди	Механізми і вироби, що рухаються	Системи, які знаходяться під тиском
		Ультрафіолетове	Видиме	Інфрачервоне										
Плазмове зварювання	xx	x	xx	xx	-	-	x	x	x	-	xx	xx	x	xx

Примітки: xx - інтенсивний фактор; x - помірний фактор; (-) – незначний фактор

6.2. Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

6.2.1. Вимоги до технологічних процесів

Вимоги охорони праці під час електрозварювання металів регламентуються нормативно-правовим актом з охорони праці НПАОП 28.52-1.31-13 [5]

Вибираючи технологію процесу сфероїдизації перевагу слід надавати тому процесу, за якого будуть забезпечуватися кращі умови праці. Необхідно використовувати ті види та марки матеріалів, які в процесі сфероїдизації забезпечують мінімальне виділення в повітря шкідливих речовини. Не допускається використання зварювальних матеріалів, що не пройшли гігієнічну оцінку в установленому порядку.

При створенні технологічних процесів зварювання слід передбачити максимально можливу механізацію та автоматизацію процесів зварювання та його окремих елементів. Допустимі показники важкості та напруженості праці працівників повинні бути не вищі II класу згідно з нормами „Гігієнічної класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу” [6].

Обов'язковим етапом проектування технологічних процесів є розробка відповідних засобів та заходів колективного захисту від впливу характерних для даного процесу шкідливих та небезпечних виробничих факторів. Одним із таких заходів є застосовування пристроїв місцевої витяжної вентиляції з системами очищення видаленого повітря від аерозолів та газів у відповідності з вимогами ДБН В.2.5-67:2013 [7].

Плазмове зварювання, різання та напилення металів повинно виконуватись у відповідності до вимог НПАОП 28.5-1.02-07 [8]. Для цього виділяють окремі приміщення або ізольовані сектори цеху. Допоміжні операції для плазмової обробки (механічна обробка, очищення, приготування порошків тощо) повинні проводитися за межами основних ділянок, де використовується плазмова технологія.

Пристрої місцевої витяжної вентиляції повинні блокуватися з технологічним обладнанням.

Установки високочастотної низькотемпературної плазми необхідно екранувати.

Балони зі зжатыми газами потрібно встановлювати за межами ділянки плазмової обробки з наступною подачею газу до газозабірної щита.

У приміщеннях, де зберігається водень, повинна бути механічна приточно-витяжна вентиляція з кратністю повітрообміну не менше 10. Вміст водню у повітрі приміщення необхідно контролювати автоматичними газоаналізаторами.

Якщо за умовами технологічного процесу на установках неможливо застосовувати звукоізолюючі кожухи, оператори повинні знаходитися в звукоізованих кабінах з вікнами для спостереження і дистанційним керуванням процесу.

Якщо місцева витяжна і загальнообмінна вентиляція не може забезпечити належну чистоту повітря, наприклад, при різанні в замкнених і напівзамкнених просторах, необхідно здійснювати примусову подачу чистого повітря в зону дихання робітника.

Для усунення можливості ураження електричним струмом разом з загальними засобами електробезпеки необхідно перевіряти роботу кнопочних пристроїв дистанційного вмикання і вимикання установки з метою запобігання випадковому пуску обладнання та блокуючих пристроїв, що забезпечують автоматичне відключення електроживлення у разі зупинки подачі води для охолодження, а також блокування кожуха, що закриває струмопідвідні частини осцилятора і відключає електроживлення при зніманні кожуха.

Усі операції з плазмової обробки потрібно проводити не менш ніж двома робітниками.

6.2.2. Вимоги до виробничих приміщень

Відстань між устаткуванням, від устаткування до стін та колон приміщення, інших споруд, ширина проходів та проїздів повинні відповідати чинним

будівельним нормам та нормам технологічного проектування заготівельно зварювальних цехів ДБН В.2.2-28:2010 [9].

Ширина проходів по периметру робочого стола, стенда, зварювального виробу повинна бути не менш 1 м.

Підлоги для виробничих приміщень мають бути виготовлені з матеріалів, що не згорають і мають малу теплопровідність. Підлога повинна мати рівну не ковзку поверхню.

Виробничі приміщення повинні бути обладнані загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 [7].

Повітрообмін цехів належить розраховувати на розведення шкідливих речовин, не вловлених місцевими витяжними пристроями, до рівня ГДК.

Видалене повітря з виробничих приміщень в атмосферу повинно проходити фільтрацію (очищення) від шкідливих речовин до концентрацій, що не перевищують допустимих рівнів викидів.

Подавання припливного повітря треба здійснювати в робочу зону або у напрямку робочої зони. Температура повітря, що подається вентиляційними установками, повинна бути не нижче +20 0С згідно з ДСН 3.3.6.042-99 [10].

У випадку відсутності місцевого або загальноцехового вентилявання повітря до рівня ГДК (дугове зварювання в середині виробів з антикорозійним покриттям) слід передбачати примусове попадання чистого повітря під маску зварника в об'ємі від 6 до 8 м³/год, підігрітого в холодну пору року до температури не нижче +180С згідно ДСН 3.3.6.042-99 [10].

Параметри мікроклімату виробничих приміщень повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99 [10]. Якщо інтенсивність теплового опромінення працюючих перевищує значення цих норм, слід передбачати спеціальні засоби захисту: екранування джерела, повітряне душення, засоби індивідуального захисту.

Рівні шуму, ультразвуку та інфразвуку мають відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99 [11], а загальної і місцевої вібрації – ДСН 3.3.6.039-99 [12].

Освітлення цехів, ділянок і робочих місць, де виконуються роботи з дугового і електрошлакового зварювання, повинно відповідати ДБН В.2.5-28-2006 [13].

Під час дугового зварювання всередині замкнутих і важкодоступних просторів (посудин, корпусів, відсіків) освітлення повинно здійснюватися зовнішніми джерелами світла спрямованої дії чи місцевим освітленням з напругою не більш 12 В, при цьому освітленість робочої зони повинна становити не менше 30 лк.

6.3. Розрахунок інженерного рішення

Установка для сфероїдизації порошків знаходиться в окремому приміщенні. Для забезпечення фільтрації повітря над установкою встановлюється місцева система вентиляції.

Під час електродугового процесу утворюються зварювальні аерозолі, хімічний склад яких залежить від складу наплавленого металу на виріб. Вентиляція приміщення повинна відповідати ДБН В.2.5-67:2013 [7].



Рис. 6.1 Система вентиляції

Кількість шкідливих речовин, що локалізується місцевою вентиляцією, може складати для витяжних шаф не більше 90%, а для інших видів витяжних пристроїв – не більше 75%. Тому решта шкідливих речовин (10-25%) повинна видалятися загальнообмінною вентиляцією.

Швидкість руху повітря, що створюється місцевими відсмоктувачами біля джерел виділення шкідливих речовин, повинна бути не менше 0,5 м/с.

Для очищення повітря застосовуємо місцеву вентиляцію з відкритим відсмоктувачем. Над обладнанням встановлюються зонти (рис.6.1). Продуктивність вентиляювання повинна становити 1600 м³/год. Для забезпечення видалення ЗА над установкою встановлюється вентиляційний зонт [14] та відцентровий вентилятор равлик Bahçivan OBR 200 M-4K [15].

Для забезпечення індивідуального захисту від шкідливих речовин застосовується Респіратор напівмаска 6200 [16] (рис.6.2)



Рис.6.2 Респіратор напівмаска 6200

Для забезпечення захисту від оптичного випромінювання встановлюється мобільний захисний екран. Для даної установки контролю якості підходить Екран

Cepro Gazelle 2000x2000 мм с зеленої захисної шторою Green-6 [17]. Цей екран чудово підходить для робіт в невеликих приміщеннях, а його невелика маса дозволяє з легкістю переносити його.

6.4. Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

З метою запобігання виникненню та ліквідації надзвичайних (аварійних) ситуацій на підприємстві має бути план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій у відповідності до положення [18].

6.4.1. Пожежна безпека

Пожежна безпека при проведенні сфероїдизації порошків забезпечена регламентацією виконання, застосування і режиму експлуатації установок для ручного дугового зварювання та іншого обладнання, матеріалів і виробів, які можуть стати джерелами підпалення горючої середи. В небезпечних зонах стоять пожежні пости. По закінченню роботи працівник повинен перевірити робоче місце. При займанні установки слід одразу від'єднати її від напруги та погасити полум'я за допомогою піску чи вогнегасника.

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 [19] приміщення, у яких виконуються зварювальні роботи, за вимогами вибухопожежної безпеки належить до категорії Г.

Пожежна безпека забезпечується:

- запобігання спалаху ізоляції при КЗ за рахунок максимального струменевого захисту;
- запобігання утворення горючого середовища за рахунок надійної герметизації обладнання, обмеженням застосування і зберігання горючих і вибухонебезпечних речовин;
- застосування пожежної сигналізації з датчиком (ИДФ-I, ДПД і др.);
- використанням вогнегасників для класу пожежі Е вогнегасники типу УО, ОП-10А.

При організації технологічного процесу дотримуються усіх вимог електростатичної іскробезпеки.

Передбачається також аварійне зливання пожежонебезпечних рідин, аварійне втручання горючих газів із апаратури.

Рекомендована періодична очистка робочого місця цеху, апаратури від горючих відходів, відкладання пилу, вилучення пожежонебезпечних відходів виробництва, заміна ЛВЖ і ГЖ на пожежонебезпечні технічні миючі засоби.

Приміщення обладнується засобами колективного та індивідуального захисту людей від небезпечних факторів пожежі та протидимного захисту.

Тип виконання електрообладнання в приміщенні повинен відповідати класу зони пожежо- та вибухобезпечності.

На ділянках виробничого приміщення, де застосовується зварювання, передбачаємо встановлення протипожежних щитів, укомплектованих вуглекислотними вогнегасниками, баграми, ломами, відрами, сокирами. Біля щитів передбачаємо наявність ящиків з піском, сухість якого регулярно перевіряється. Для гасіння можливих пожеж передбачаємо також використання азбестових покривал.

6.4.2. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробією електричної напруги на корпус зварювального агрегату необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника ділянки.

У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити зварювальний агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити пострадалому штучне дихання.

У випадку загорання зварювального агрегата необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника.

Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний:
– негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101;

- приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на ділянці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо);

- викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, ділянки).

У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника ділянки та звернутися в медпункт.

7. Розробка стартап проекту

Розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження.[120]

7.1. Опис ідеї проекту

Таблиця 7.1 Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Ідея проекту надати повний спектр аутсорсингових сервіс та послуг з постачання металевого порошку для адитивного виробництва.	1. Послуги консультації	Звернувшись до нас клієнт матиме змогу проконсультуватися по питанням виготовлення та використання металевих порошоків для адитивного виробництва.
	2. Постачання матеріалів власного виробництва.	Звернувшись до нас клієнт матиме змогу отримувати матеріали за меншу ціну ніж за кордоном не втрачаючи у якості
	3. Дослідження та аналіз матеріалів.	Звернувшись до нас клієнт отримує можливість комплексно перевірити якість матеріали
	4.Розробка нових матеріалів	Звернувшись до нас клієнт отримує найновіші розробки в сфері адитивних технологій

7.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл. 7.2).

Таблиця 7.2 Технологічне здійснення ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Сфероїдизація металевого порошку для адитивного виробництва	Плазмова атомізація	Технологія наявна і не потребує розробки	Технологія доступна
2	Сфероїдизація металевого порошку для адитивного виробництва	Дозування порошку	Технологія наявна і не потребує розробки	Технологія доступна
3	Сфероїдизація металевого порошку для адитивного виробництва	Вакуумне середовище	Технологія наявна і не потребує розробки	Технологія доступна

За результатами аналізу технологій робиться висновок що усі розглянуті варіанти можливо використовувати без проблем.

7.3. Аналіз можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Таблиця 7.3 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних конкурентів	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум. од.	60-100 тис. грн
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень входу	Масштабність
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ, ГОСТ, ISO
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	45

За результатами таблиці 7.3 можна зробити висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Таблиця 7.4 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Виробництво якісного матеріалу/порошку для адитивного виробництва	Великі і малі підприємства. Для домашнього користувача	Цінова політика, якісні характеристики, Конкурентний бренд	-До продукції: якість, ціна

Таблиця 7.5 Фактор загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Невідомий бренд	Поява нового невідомого бренду може призвести до неможливості впізнання клієнтами потрібної інформації про продукт	Застосування можливих рекламних рішень
2	Політична нестабільність	Зміна політичного становища в країні (збільшення податків, тощо)	Застосування спеціально розробленого плану для утримання компанії на ринку і отримати час для рішення проблеми
3	Рейдерські захоплення та несприятлива ситуація для підприємництва.	Втрата власного підприємства	Створення організації однодумців по власному захисту підприємств.

Таблиця 7.6 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція компанії
1	Банкрутство компанії конкурента	Банкрутство компанії конкурента	Поглинання частини або цілком компанії конкурента для збільшення власних можливостей. При умові фінансової можливості
2	Інтелектуальна власність та закони про захист інтелектуальної власності.	Захист власних розробок	Наймання спеціаліста з захисту інтелектуальної власності Патентування, засекречування розробок та ідей. Охорона приміщення та персональних комп'ютерів.
3	Корупція	Втрата майната коштів	Захист власних інтересів

Висновок

В даній роботі я проаналізував адитивні технології та їх вплив на сучасне виробництво. Розглянуті методи виготовлення порошків. Розроблена установка на базі вже готового обладнання. Це дозволить прототипу з мінімально кількістю затрат.

Виготовили плазмотрон для прототипу. На жаль через певні труднощі експерименти не були проведені.

Також проаналізував шкідливі і небезпечні виробничі фактори і розробив стартап проект.

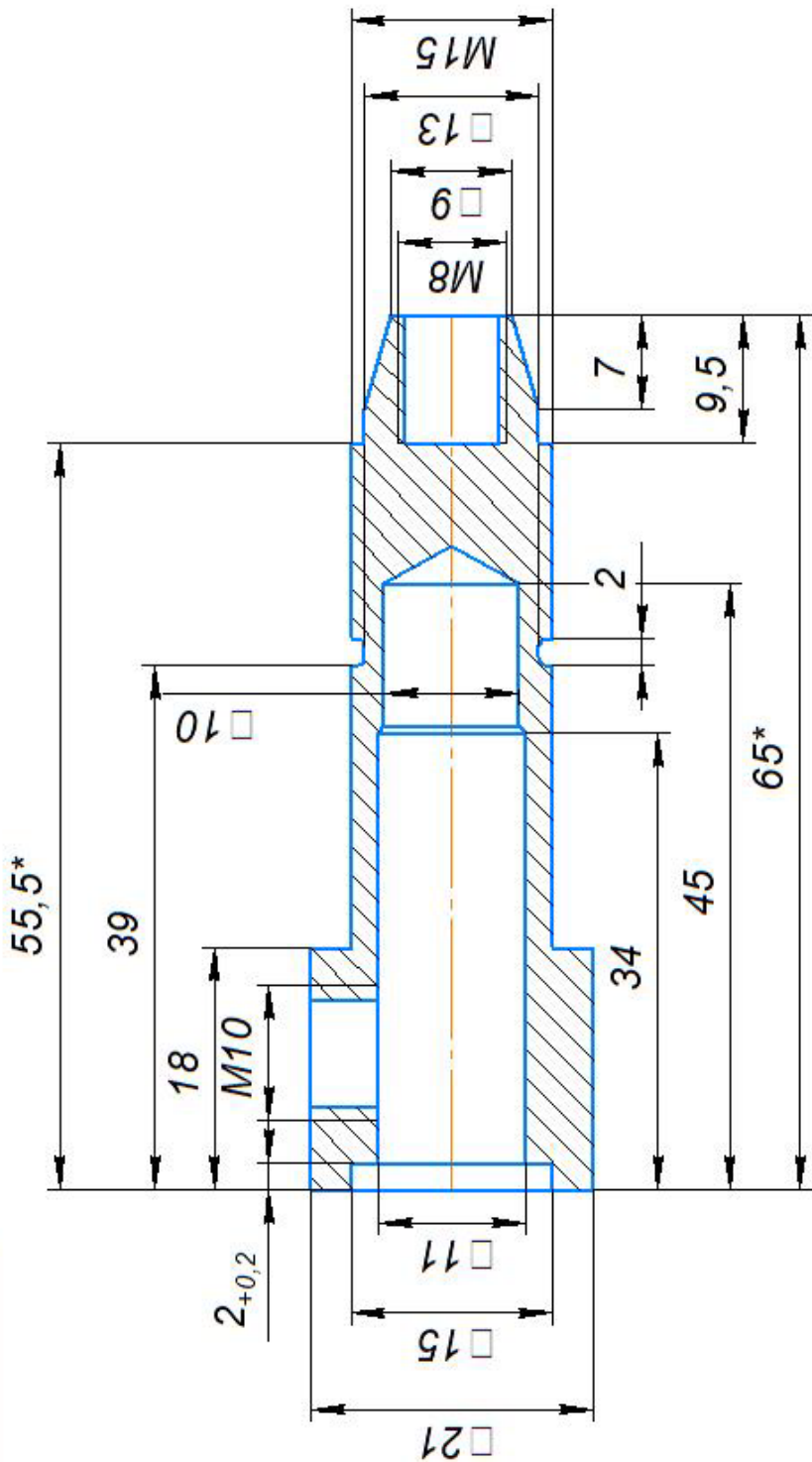
Список використаної літератури

1. Електронний ресурс: <https://uk.wikipedia.org>
2. Електронний ресурс:
<https://web.archive.org/web/20140203071153/https://thre3d.com/how-it-works/powder-bed-fusion/selective-heat-sintering-shs>
3. ISO/ASTM 52900:2015 -Адитивне виробництво — Загальні принципи
4. Електронний ресурс: <https://manufactur3dmag.com>
5. НПАОП 28.52-1.31-13. Правила охорони праці під час зварювання металів.
6. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу № 0472-14.
7. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.
8. НПАОП 28.5-1.02-07. Правила охорони праці при термічній обробці металів.
9. ДБН В.2.2-28:2010. Будинки адміністративного та побутового призначення.
10. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
11. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
12. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.
13. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
14. Електронний ресурс: <https://prom.ua/ua/p681162277-ventilyatsionnyj-zont-promyshlennyj.html>
15. Електронний ресурс: <https://prom.ua/ua/p301749187-tsentrobezhyj-ventilyator-ulitka.html>

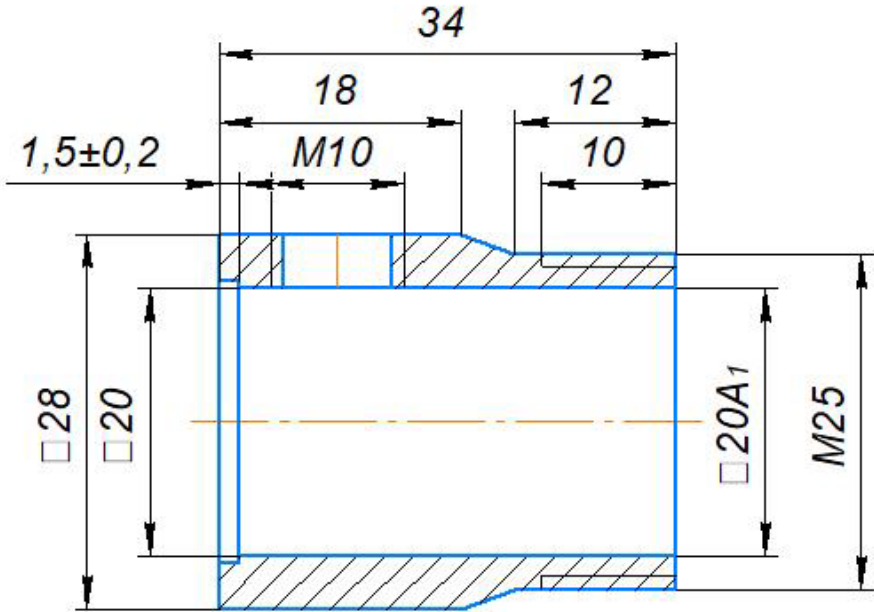
16. Електронний ресурс: https://prozaxist.ua/ua/p1129785187-respirator-polumaska-6200.html?gclid=Cj0KCQiAnuGNBhCPARIsACbnLzoxaj95yVpMgEnd7diWsu7N5PTvvzxgQ0wXKm3sUxLf6LuyhXkaRloaArF1EALw_wcB
17. Електронний ресурс: <https://prom.ua/ua/p1005638859-ekran-cepro-gazelle.html>
18. Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій, № 424/3717 від 30.06.1999 р.
19. НАПБ Б.03.002-2007. Визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
20. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

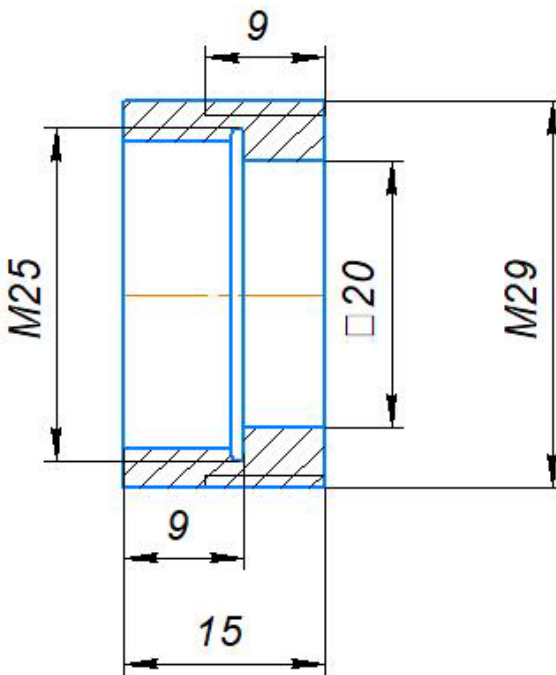
Інв. № подл.	Підп. у дата	Взам. инв. №	Інв. № дубл.	Підп. у дата	Справ. №
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	----------

3С-01.02.00.001.09



3С-01.02.00.001.09				Лит.		Масса	Масштаб
Катодотримач							2:1
Латунь ЛС-59				Лист		Листов	1
НТУУ "КПІ							
ім. І.Сікорського", ІМЗ							
Копіював				Формат А4			

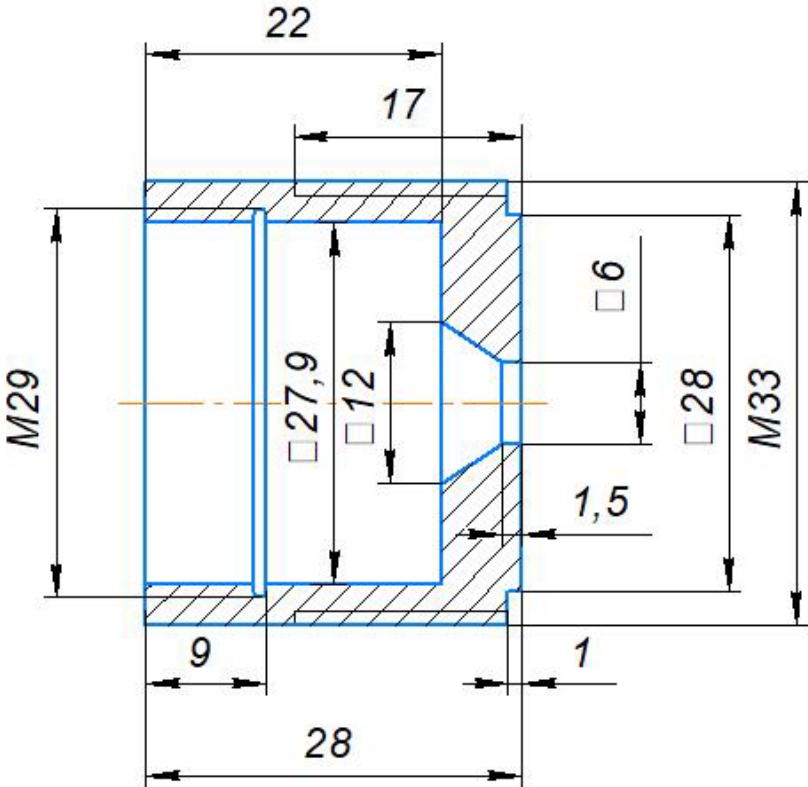
Перв. примен.		Справ. №		3С-01.02.00.001.02									
													
				3С-01.02.00.001.02									
				Вузол газоформування									
				Латунь ЛС-59									
				Копировал									
				Формат А4									
				Изм. Лист № докум. Подп. Дата									
				Разраб. Костюченко В.Р.									
				Пров. Фомичев С.К.									
				Т.контр.									
				Н.контр. Спіріна К.О									
				Утв.									
				Лит. Масса Масштаб									
				2:1									
				Лист Листов 1									
				НТУУ "КПІ ім. І.Сікорського", ІМЗ									

Перв. примен.		Справ. №		3С-01.02.00.001.05										
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата								
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата								
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата								
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата								
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата								
Инв. № подл.		Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата		3С-01.02.00.001.05				
Изм.		Лист		№ докум.		Подп.		Дата		Ізолятор				
Разр.аб.		Костюченко В.Р.												
Пров.		Фомичов С.К.								Капролон				
Т.контр.														
Н.контр.		Спіріна К.О.								Лит. Масса Масштаб 2:1 Лист Листов 1 НТУУ "КПІ ім. І.Сікорського", ІМЗ				
Утв.														

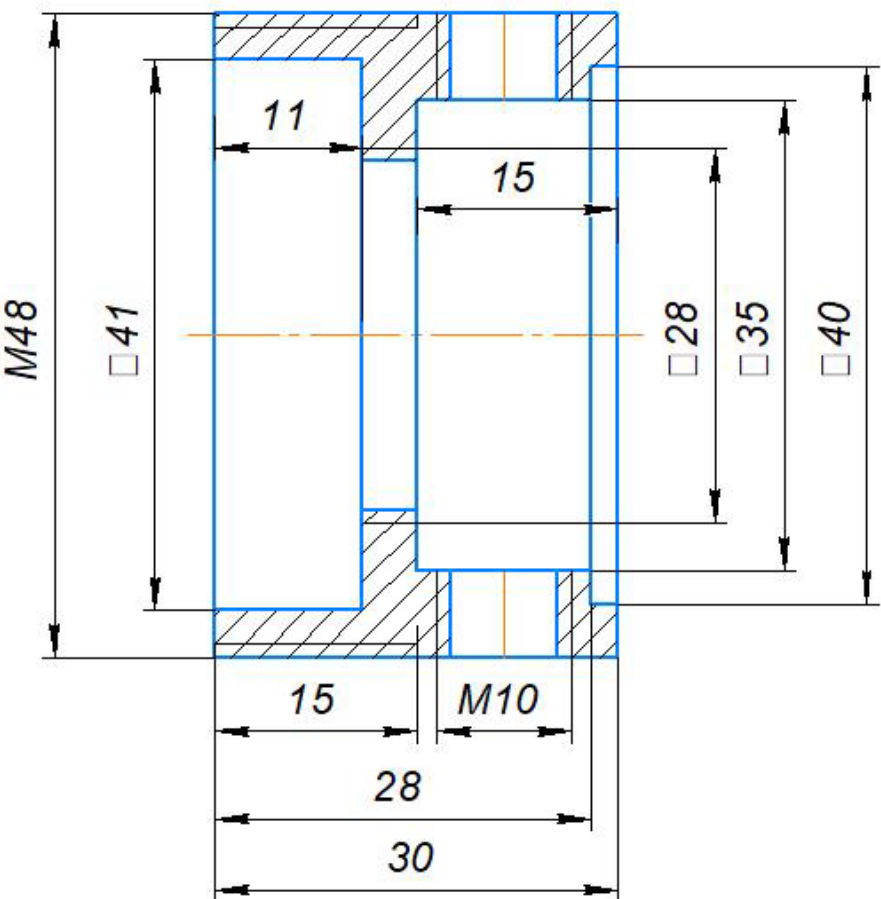
Копировал

Формат А4

Перв. примен.		Справ. №		3С-01.02.00.001.04	
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.	
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.	
Изм.		Лист		№ докум.	
Разраб.		Костюченко В.Р.		Подп.	
Пров.		Фомичев С.К.		Дата	
Т.контр.					
Н.контр.		Спіріна К.О			
Утв.					
3С-01.02.00.001.04				Електрод підпалювання дуги	
Мідь М1				Лит. Масса Масштаб	
				2:1	
				Лист Листов 1	
				НТУУ "КПІ ім. І.Сікорського", ІМЗ	



[illegible]

Перв. примен.		Справ. №		3С-01.02.00.001.06	
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.	
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.	
Изм. Лист		№ докум.		Подп.	
Разраб.		Костюченко В.Р.			
Пров.		Фомичев С.К.			
Т.контр.					
Н.контр.		Спіріна К.О			
Утв.					
				3С-01.02.00.001.06	
Зовнішній кожух сопла				Лит.	Масса
				Масштаб 2:1	
Латунь ЛС-59				Лист	Листов 1
НТУУ "КПІ ім. І.Сікорського", ІМЗ					

Перв. примен.

Справ. №

3С-01.02.00.001.15

Подп. и дата

Ине. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Ине. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Костюченко В. Р.		
Пров.		Фомічов С. К.		
Т.контр.				
Н.контр.		Спіріна К. О		
Утв.				

3С-01.02.00.001.15

Внутрішній
кожух сопла

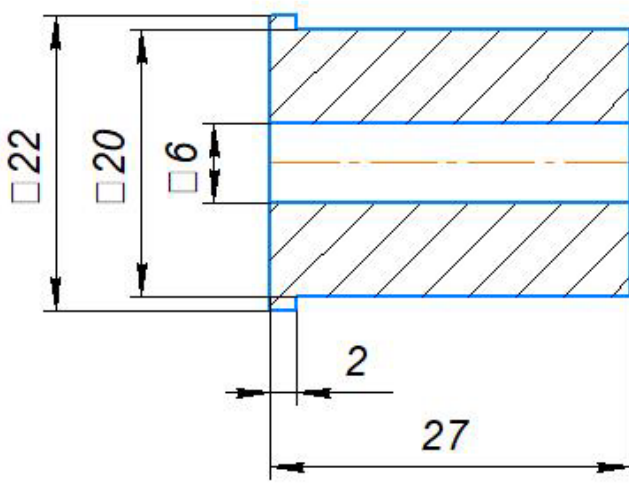
Латунь ЛС59

Лит.	Масса	Масштаб
		2:1
Лист	Листов 1	

НТУУ "КПІ
ім. І.Сікорського", ІМЗ

Копировал

Формат А4

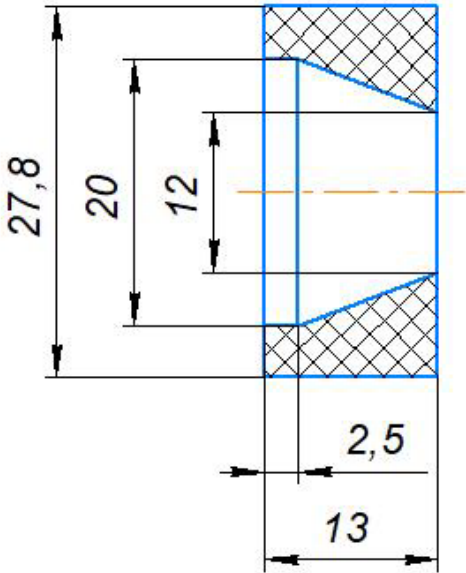
Перв. примен.		Справ. №		3С-01.02.00.001.10					
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата			
Инв. № подл.		Изм.		Лист		№ докум.		Подп.	Дата
Разраб.		Костюченко В.Р.							
Пров.		Фомічов С.К.							
Т.контр.									
Н.контр.		Спіріна К.О							
Утв.									
3С-01.02.00.001.10					3С-01.02.00.001.10				
									
					3С-01.02.00.001.10				
Анод					Лит.	Масса	Масштаб		
							2:1		
Мідь М1					Лист	Листов 1			
					НТУУ "КПІ ім. І.Сікорського", ІМЗ				

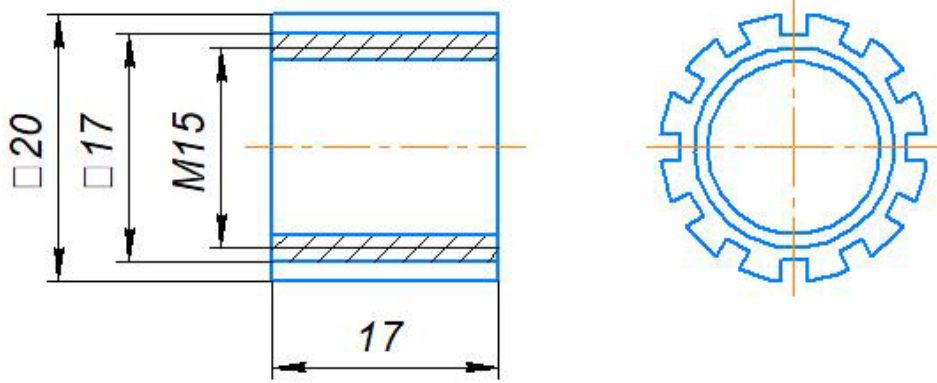
[illegible]

Перв. примен.		3С-01.02.00.001.17	
Справ. №			
Подп. и дата			
Инв. № дубл.			
Взам. инв. №			
Подп. и дата			
Инв. № подл.			
Изм.		3С-01.02.00.001.17	
Лист		Фіксуєча кришка	
№ докум.		Лит.	
Подп.		Масса	
Дата		Масштаб	
Разраб. Костюченко В.Р.		2:1	
Пров. Фомічов С.К.		Лист	
Т.контр.		Листов 1	
Н.контр. Спіріна К.О		НТУУ "КПІ	
Утв.		ім. І.Сікорського", ІМЗ	
		Ст3	
		Копировал	
		Формат А4	

Technical drawing of a rectangular cover. Dimensions: width 42, height 52*, internal width 48, and internal height 48. It shows a mesh reinforcement (Накатка сітчатая) at the bottom and top edges with a thickness of 0,5*45. The bottom edge has a width of 15. The top edge has a width of 2. The drawing is labeled with '3С-01.02.00.001.17' and 'Фіксуєча кришка'.

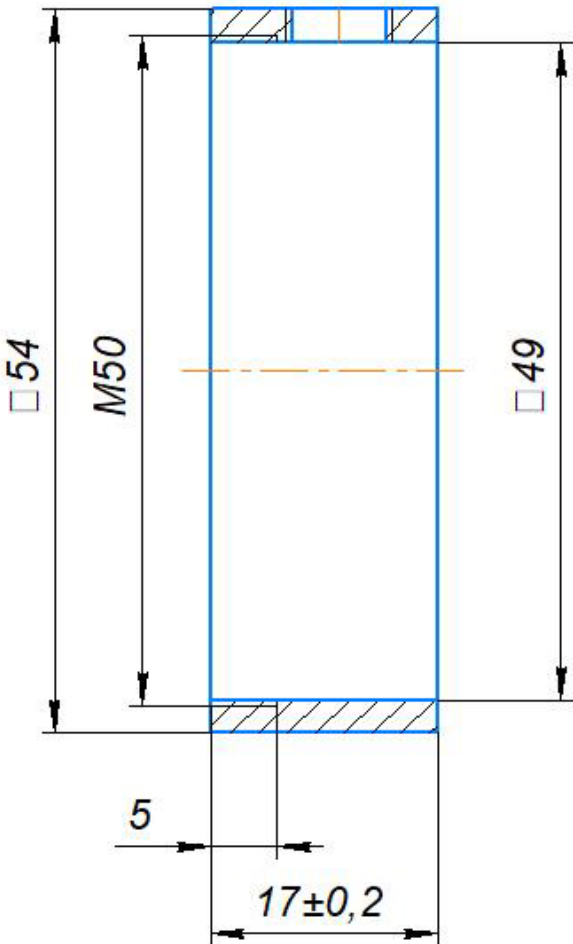
Перв. примен.		Справ. №		3С-01.02.00.001.11				
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата		
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	3С-01.02.00.001.11 Прокладка Азбоцемент		
	Разр.аб.	Костюченко В.Р.						
	Пров.	Фомічов С.К.						
	Т.контр.							
	Н.контр.	Спіріна К.О						
Утв.						Лит. Масса Масштаб 2:1 Лист Листов 1 НТУУ "КПІ ім. І.Сікорського", ІМЗ		

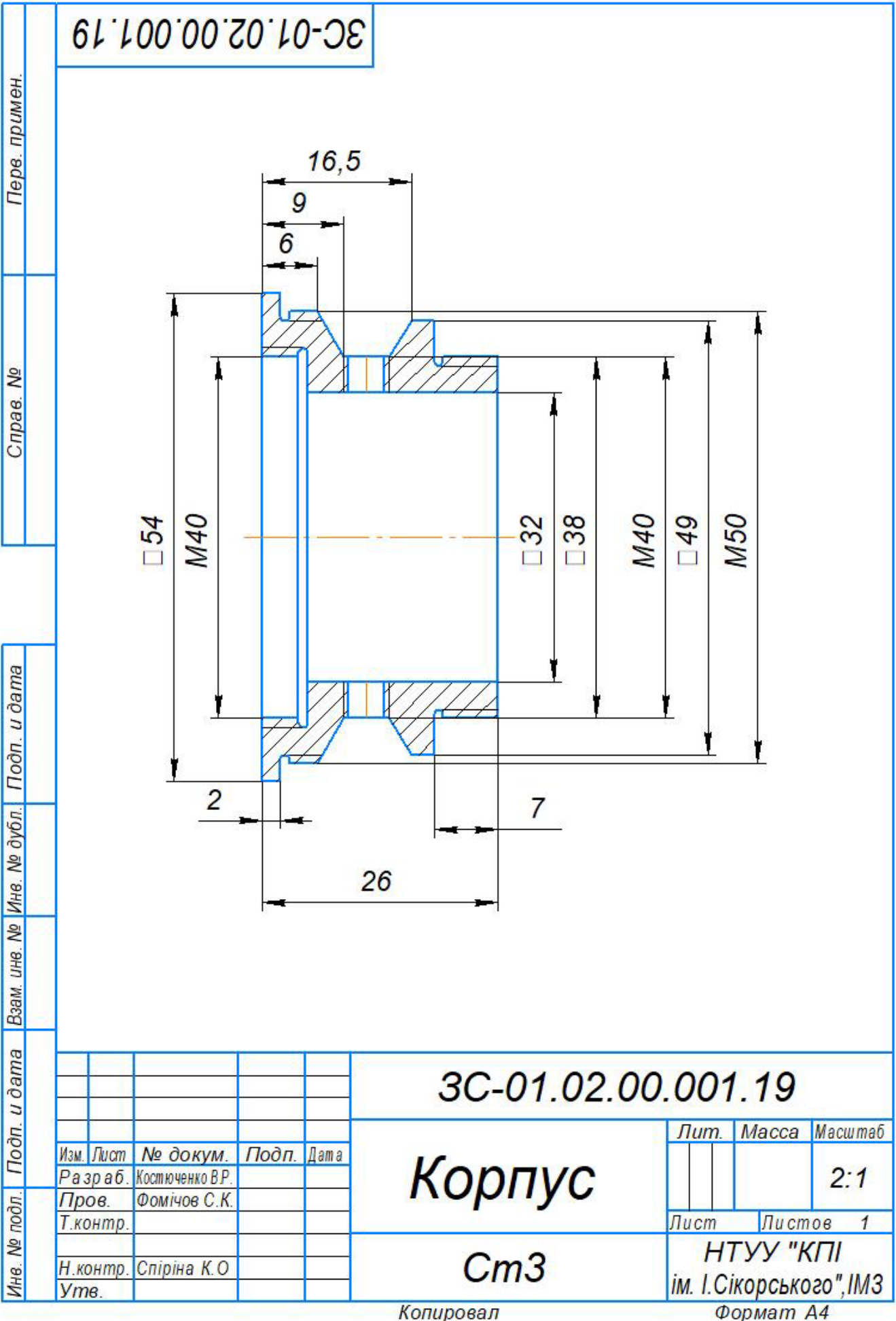


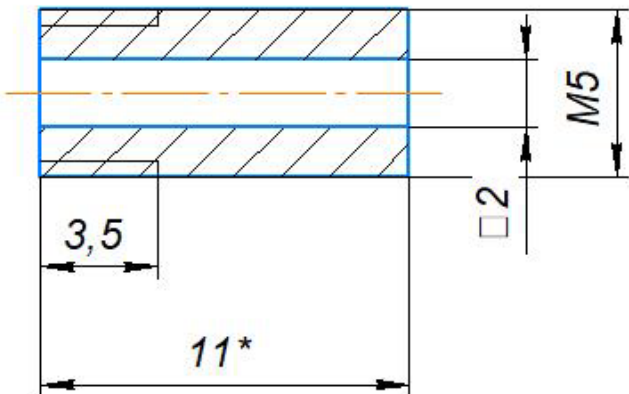
Перв. примен.		Справ. №		3С-01.02.00.001.01					
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата			
Изм.		Лист		№ докум.		Подп.		Дата	
Разраб.		Костюченко В.Р.		Пров.		Фомічов С.К.			
Т.контр.				Н.контр.		Спіріна К.О			
Утв.									
3С-01.02.00.001.01					3С-01.02.00.001.01				
									
Втулка з каналами під газ					Лит. Масса Масштаб				
					2:1				
Латунь Лс-59					Лист Листов 1				
					НТУУ "КПІ ім. І.Сікорського", ІМЗ				
Копировал					Формат А4				

Перв. примен.		Справ. №		3С-01.02.00.001.14			
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата	
Изм. Лист		№ докум.		Подп.		Дата	
Разраб.		Костюченко В.Р.					
Пров.		Фомічов С. К.					
Т.контр.							
Н.контр.		Спіріна К.О					
Утв.							
3С-01.02.00.001.14				Штуцер			
Латунь ЛС-59				Лист 1			
Копировал				Формат А4			

Technical drawing of a brass plug (Штуцер) in cross-section. The drawing shows a cylindrical part with a tapered end. Dimensions are given in millimeters: total length 62, tapered section length 17, tapered section outer diameter 37 ± 1, tapered section inner diameter 10, tapered section wall thickness 2, tapered section outer diameter at base 15 ± 0.1, tapered section inner diameter at base 5, tapered section wall thickness at base 7, and tapered section outer diameter at tip 1.45. The drawing is labeled M16 and 3С-01.02.00.001.14.

Перв. примен.		Справ. №		3С-01.02.00.001.18										
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.										
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.										
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.										
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.										
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.										
Изм.		Лист		№ докум.		Подп.		Дата		3С-01.02.00.001.18				
Разраб.		Костюченко В.Р.								Кришка				
Пров.		Фомічов С.К.												
Т.контр.										Лит.				
										Масса				
										Масштаб				
										2:1				
Изм.		Лист		№ докум.		Подп.		Дата		Лист				
Н.контр.		Спіріна К.О								Листов				
Утв.										1				
										НТУУ "КПІ				
										ім. І.Сікорського", ІМЗ				
										Ст3				



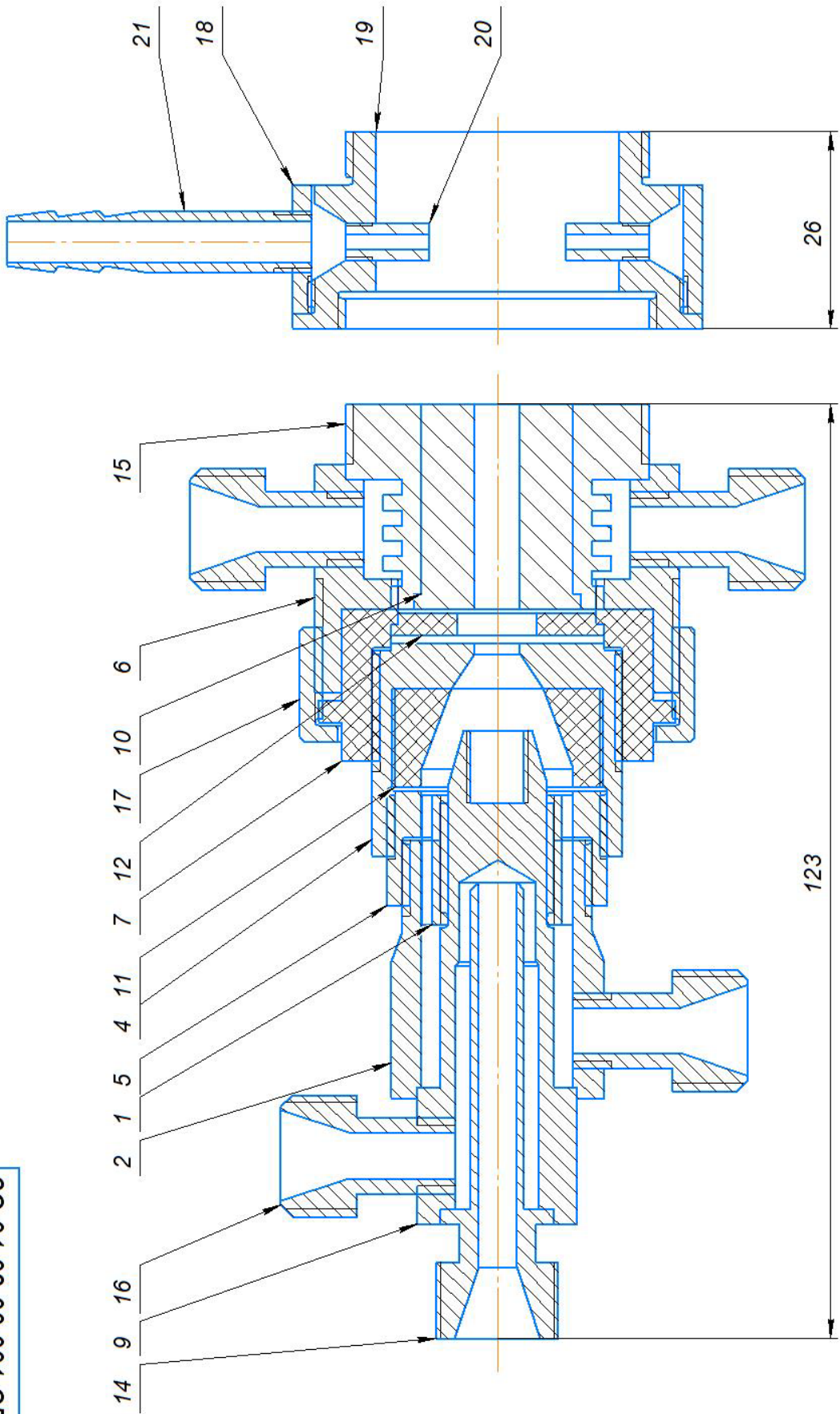
Справ. №		Перв. примен.		ЗС-01.02.00.001.20									
													
				ЗС-01.02.00.001.20									
				Штуцер									
				Ст3									
				Лист 1									
				НТУУ "КПІ ім. І.Сікорського", ІМЗ									

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					
Разраб.		Костюченко В.Р.							
Пров.		Фомічов С.К.							
Т.контр.									
Н.контр.		Спіріна К.О.							
Утв.									

Копировал Формат А4

ЗС-01.02.00.001.21		Перв. примен.		Справ. №																															
		<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подп.</td> <td>Дата</td> </tr> <tr> <td>Разраб.</td> <td></td> <td>Костюченко В.Р.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Пров.</td> <td></td> <td>Фомічов С.К.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Т.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Н.контр.</td> <td></td> <td>Спіріна К.О.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Утв.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разраб.		Костюченко В.Р.			Пров.		Фомічов С.К.			Т.контр.					Н.контр.		Спіріна К.О.			Утв.					ЗС-01.02.00.001.21 Штуцер Латунь ЛС-59	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата																															
Разраб.		Костюченко В.Р.																																	
Пров.		Фомічов С.К.																																	
Т.контр.																																			
Н.контр.		Спіріна К.О.																																	
Утв.																																			
<table border="1"> <tr> <td>Лит.</td> <td>Масса</td> <td>Масштаб</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>2:1</td> </tr> <tr> <td>Лист</td> <td>Листов</td> <td>1</td> </tr> </table>		Лит.	Масса	Масштаб			2:1	Лист	Листов	1	НТУУ "КПІ ім. І.Сікорського", ІМЗ		Копировал Формат А4																						
Лит.	Масса	Масштаб																																	
		2:1																																	
Лист	Листов	1																																	

ЗС-01.02.00.001 СБ



ЗС-01.02.00.001 СБ

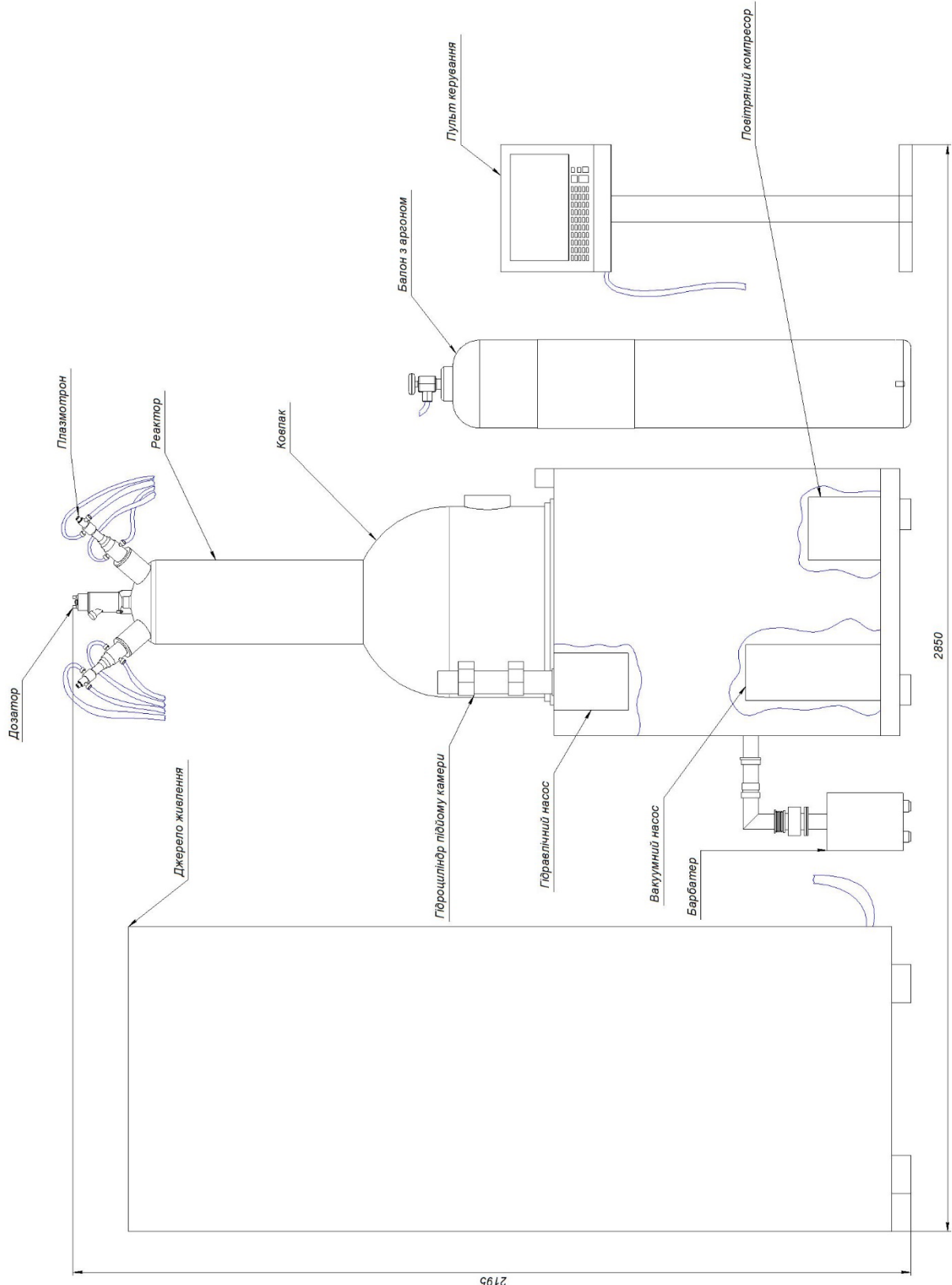
Плазмотрон

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Котляченко В.Р.	Пров.	Фомичев С.К.				2:1
Т. контр.		Н. контр.	Спіріна К.О.		Лист	Листов	1
Утв.					НТУУ "КПІ		
					ім. І.Сікорського", ІМЗ		
					Формат А3		

Копировал

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №						<u>Документация</u>		
		A3			ЗС-01.02.00.001 СБ	Плазмотрон		
						<u>Детали</u>		
		A4	1		ЗС-01.02.00.001.01	Втулка з каналами під газ	1	
		A4	2		ЗС-01.02.00.001.02	Вузол газоформування	1	
		A4	3		ЗС-01.02.00.001.04	Електрод підпалювання дуги	1	
		A4	4		ЗС-01.02.00.001.05	Ізолятор	1	
		A4	5		ЗС-01.02.00.001.06	Зовнішній кожух сопла	1	
		A4	6		ЗС-01.02.00.001.07	Ізолятор	1	
		A4	7		ЗС-01.02.00.001.09	Катодотримач	1	
		A4	8		ЗС-01.02.00.001.10	Анод	1	
		A4	9		ЗС-01.02.00.001.11	Прокладка	1	
		A4	10		ЗС-01.02.00.001.12	Прокладка	1	
		A4	11		ЗС-01.02.00.001.14	Штуцер	1	
		A4	12		ЗС-01.02.00.001.15	Внутрішній кожух сопла	1	
		A4	13		ЗС-01.02.00.001.16	Штуцер	1	
		A4	14		ЗС-01.02.00.001.17	Фіксуєча кришка	1	
		A4	15		ЗС-01.02.00.001.18	Кришка	1	
		A4	16		ЗС-01.02.00.001.19	Корпус	1	
		A4	17		ЗС-01.02.00.001.20	Штуцер	1	
		A4	18		ЗС-01.02.00.001.21	Штуцер	1	
Подп. и дата		ЗС-01.02.00.001						
		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Инв. № подл.	Разраб.	Костюченко В.Р.					Лит.	Лист
	Пров.	Фомічов С.К.						Листов
								1
	Н.контр.	Спіріна К.О.					НТУУ "КПІ	
Подп. и дата							ім. І.Сікорського", ІМЗ	
		Утв.						

ЗС-01.02.00.002



ЗС-01.02.00.002				Лист	Масштаб
Плазмова установка малої потужності для сфероїзації порошків				1:1	1:1
НТУУ "КПІ"				Лист	Титул
Ім. І.Скорохода, ІМЗ				Утв.	Схвалено
Копіювати				Формат А1	