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

Інститут матеріалознавства і зварювання ім.Є.О.Патона

Кафедра смарт технологій та з'єднань та інженерії поверхні

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ І.В.Смирнов

«___»_____2021 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: «Розробка устаткування для сфероідизації порошків в середовищі індукційної плазми»

Виконав:
студент IV курсу, групи ЗА-71
Шульга Ярослав Сергійович _____

Керівник:
Професор, д.т.н, професор,
Фомічов Сергій Костянтинович _____

Консультант з охорони праці:
професор, д.т.н, професор,
Левченко Олег Григорович _____

Рецензент:
Інженер з навчального процесу, д.т.н,
Спіріна Катерина Олександрівна _____

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

Київ – 2021 року

Анотація

Бакалаврська робота була створена для опису прототипу установки яка призначена для сфероідизації металевих порошків методом плазмової обробки.

Дипломний проект вміщає в себе пояснювальну записку обсягом 68, та 32 додатками у які входять 1 креслення формату А2, 13 креслень формату А3 та 18 креслень формату А4.

Перелік використовуваних бібліографічних посилань містить 14 джерел.

Завданням даної роботи було вирішення завдань, які пов’язані з проблематикою створення контрольованої плазмової області. Тому була запропонована специфічна конфігурація плазмотронів яка б мала вирішити дану проблему. Суть даної конфігурації заключається в розташуванні 3х 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 та механізму дозованої подачі порошків.

Розглянуто питання охорони праці.

Anmerkung

Die Bachelorarbeit wurde erstellt, um ein prototypisches System zu beschreiben, das für die Sphäroidisierung von den Metallpulvern durch die Plasmabehandlung ausgelegt ist.

Die Arbeit enthält die Erläuterungen und 32 Anhänge, darunter die 1 Zeichnung im Format A2, die 13 Zeichnungen im Format A3 und die 18 Zeichnungen im Format A4.

Die Liste der verwendeten Literatur enthält 14 Quellenangaben.

Die Aufgabe von dieser Arbeit war es, Probleme im Zusammenhang mit der Erzeugung eines kontrollierten Plasmabereichs zu lösen. Um dieses Problem zu lösen, wurde daher eine spezielle Konfiguration von Plasmatrons vorgeschlagen. Das Wesentliche dieser Konfiguration ist die Position von 3 Plasmatrons in einem Winkel von 45° zur horizontalen Achse und in einem Winkel von 120° zueinander.

Als Installation wurde beschlossen, die UVN E-450 "Bulat"-Installation aufzurüsten. Der Kern der Modernisierung besteht darin, eine Reaktorzone mit einer Höhe von 500 mm und einem Durchmesser von 219 mm auf der Oberseite der Kappe hinzuzufügen und im oberen Teil des Reaktors Plasmatrons und einen Pulverzufuhrmechanismus zu platzieren.

Auch während der Arbeit wurde das notwendige Design des Plasmatrons und der Mechanismus der dosierten Zufuhr von Pulvern entwickelt.

Das Thema Arbeitsschutz wird berücksichtigt.

Зміст

1. АНАЛІЗУВАННЯ НАПРЯМКІВ ЗАСТОСУВАННЯ СФЕРОІДИЗОВАНИХ ПОРОШКІВ 6
1.1 Наплавлення електродною стрічкою із застосуванням гранульованих порошків 6
1.2 Плазмове наплавлення. 15
1.3 Індукційне наплавлення. 18
*1.*4 Лазерне (світлове) наплавлення. 23
1.5 Електронно-променеве наплавлення 29
2. АНАЛІЗУВАННЯ БАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ СФЕРОІДИЗАЦІЇ ПОРОШКІВ 32
2.1 Проблеми, перспективи та теперишній стан адитивних технологій 33
2.3 Огляд способу отримання сфероідизованих гранул методом індукційної обробки 36
3. МЕТА І ЗАВДАННЯ РОБОТИ 38
4. РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ СФЕРОІДИЗАЦІЇ ПОРОШКІВ 39
4.1 Аналіз необхідного функціоналу та властивостей устаткування 39
5. РОЗРОБКА ПЛАЗМОТРОНА 43
5.1 Аналіз конструкції плазмотрона 43
5.1.1 Електродний вузол 44
5.1.2 Катодотримач 46
5.1.3 Вузол газоформування 47
5.1.4 Сопло 49
5.1.5 Анод 50
5.1.6 Потокоформуюча втулка 52
5.1.7 Штуцер подачі води 53
6. РОЗРОБКА МЕХАНІЗМУ ПОДАЧІ ПОРОШКУ 54
6.1 Корпус живильника 54
6.2 Вібратор 55
6.3 Котушка 56
7. ОХОРОНА ПРАЦІ 1
7.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів 1
7.2. Нормативні вимоги безпеки та гігієни праці 59
7.2.1 Вимоги до персоналу 59
7.2.2 Вимоги до технологічних процесів 59

7.2.3 Вимоги до виробничих приміщень 59
7.2.4 Вимоги до експлуатації зварювального обладнання 61
7.2.5 Вимоги до робочих місць 62
7.2.6 Метод контролю виконання вимог безпеки 63
7.3. Пожежна безпека 64
8. ВИСНОВОК 66
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 67

1. АНАЛІЗУВАННЯ НАПРЯМКІВ ЗАСТОСУВАННЯ СФЕРОІДИЗОВАНИХ ПОРОШКІВ

1.1 Наплавлення електродною стрічкою із застосуванням гранульованих порошків

В Україні і за рубежем широко застосовують високопродуктивний засіб механізованого наплавлення електродною стрічкою *1* при поперечному її розташуванні відносно напрямку наплавлення (рис. 1.1, а).

Для наплавлення використають стрічкі шириною 15 - 120 мм і товщиною 0,1 - 1,2 мм. Ширину наплавленного за один прохід шару регулюють поворотом стрічки -1 відносно її вертикальної осі на кут 0 - 90^0. При куті 0^0 ширина шару одержується максимальною, а при 90^0 – мінімальною (рис. 1.1, б).

При ширині стрічки 15 – 20 мм дуга з високою швидкістю переміщається по торцю електрода, а при великій ширині стрічки звичайно одночасно горить декілька дуг. При зростанні зварювального струму відбувається зростання швидкості переміщення дуг і зростає швидкість плавлення стрічки з одночасним зменшенням розмірів крапель.

Схема 1.1 Чинники впливу на якість зварного з'єднання

Однак для кожної товщини стрічки є певне критичне значення зварювального струму, після якого процес стає некерованим.

При наплавленні широкою стрічкою під шаром флюсу в місцях перекриття валиків часто утворюються підрізи і захоплення шлаку. Щоб уникнути цих а також інших зварювальних дефектів, використовують комбіннований засіб наплавки – електродною стрічкою із застосуванням електродного дроту.

Відстань *a* залежить від режиму наплавлення; вона повинна бути такою, щоб не твердів шлак і щоб не було загальної зварювальної ванни.

Відстань *b* вибирають у залежності від товщини валика і заданого режиму наплавлення таким чином, щоб проплавлення від впливу електродного дроту приходилося на дільницю утворення підрізу і скупчення шлаку.

Для цього позаду електродної стрічки *1*, на незначній відстані від торця, подають електрод *2* круглого перетину. Електродний дріт подають як з боку наплавленого валика (рис. 1.1, в), так і з протилежного боку стрічки (рис. 1.1, г).

Електродний дріт подається окремим механізмом рівномірно і водночас із стрічкою. Струмопідвід є загальним як для дроту, так і для стрічки. Для наплавлення застосовують електродний дріт діаметром 2,4 - 3,2 мм спільно з стрічками. Комбінований засіб є найбільш доцільним при наплавленні під флюсом стрічками шириною більш 50 мм.

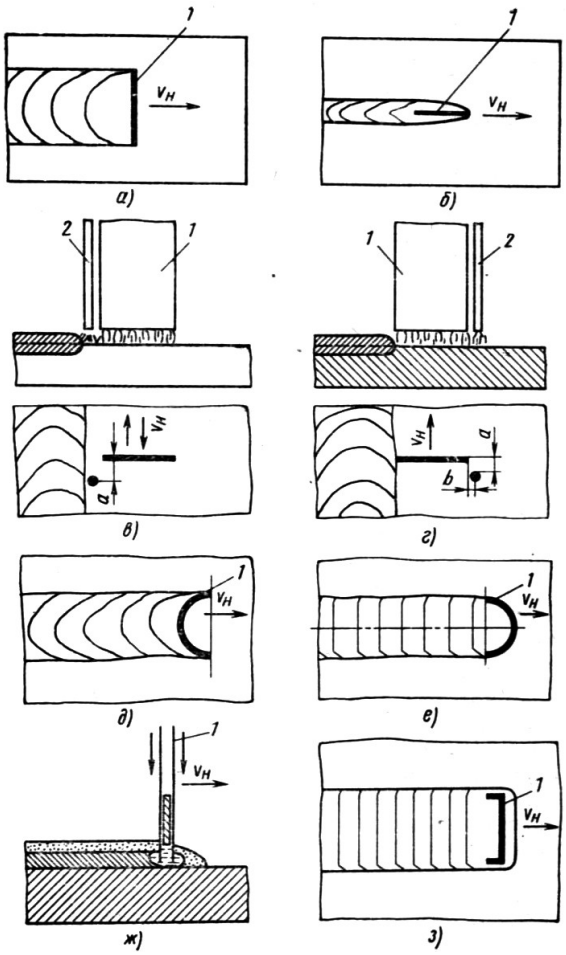


Рисунок. 1.1 - Способи наплавлення електродною стрічкою. [14]

Однак це не завжди дозволяє уникнути дефектів в наплавленому металі. Краще всього наплавляти електродом жолобоподібної форми (рис. 1.1, д, е) з різноманітним положенням угнутості стрічки по відношенню до напряму наплавлення.

Профільована стрічка дозволяє збільшити діапазон оптимальних швидкостей наплавлення, забезпечуючи гарне формування країв валика. Такий електрод має підвищену жорсткість і запобігає вигину стрічки при проходженні її через шар флюсу. Найбільш легко профілювати електродні стрічки товщиною 0,3 - 0,4 мм. Застосування таких стрічок забезпечує високу стабільність дугового процесу.

Для збільшення продуктивності якості наплавлення застосовують також дві спарені електродні стрічки перетином 0,5 х 60 мм, що одночасно

подаються в зону дуги (рис. 1.1, ж). При наплавці двома електродами розплавлений шлак, що знаходиться між ними, забезпечує утворення цій зоні електрошлакового процесу.

Для запобігання утворення шлакових включень в місцях перекриття суміжних валиків при суцільній наплавці використовують також електродну стрічку з відбуртованими кромками (рис. 1.1, з). Означений засіб дозволяє покращити проплавлення в місцях скупчення шлака, збільшити тривалість перебування зварювальної ванни у рідкому стані по краях валиків і уникнути утворення в цих зонах різноманітних зварювальних дефектів.

Приклад пристрою для профілювання стрічки наведено на рис. 2.6. На цьому же рис. (а, б, в, г) показана зміна форми зварювальної ванни у залежності від розміру бокових буртів стрічки.

Електродна стрічка *1* подається в зону дуги роликами *2*, що мають згинальні профілі *3* для відбуртовки кромок 4 стрічки 1. Спрямовуючи губки струмопідводу 5 мають пази, що забезпечують подачу стрічок з різноманітною величиною буртів. Величина буртів залежить від товщини стрічки, режиму наплавлення, а також необхідності отримання заданої довжини зварювальної ванни по краях валиків.

Бурти по кромках стрічки забезпечують роздільне існування декількох

Додаткові зварювальні дуги по краях широкої стрічкі збільшують глибину проплавлення основного металу на цих дільницях.

дуг на стрічці і на буртах, розташованих уздовж осі наплавлення.

Тривалість існування зварювальної ванни в місцях скупчення шлаку сприяє тому, що шлак встигає сплинути на поверхню розплавленого металу і перейти у шлакову ванну. При цьому будуть відстуні несплавлення по краях наплавленого валика, а крайки валиків стають рівними. Наплавлений метал, а також основний метал у зоні термічного впливу стають однорідні.

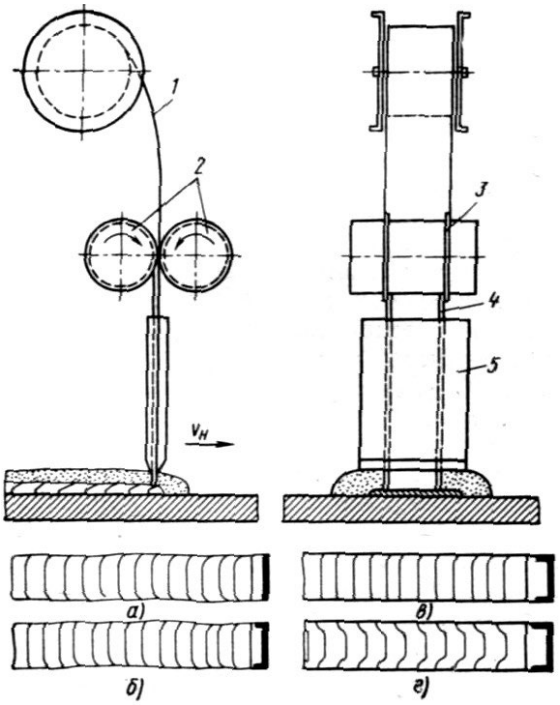


Рисунок 1.2 - Пристрій для подання профільованої стрічки. [14]

При наплавленні електродною стрічкою не завжди вдається отримати наплавлений метал необхідного хімічного складу. Іншим засобом легування наплавленого металу є наплавлення стрічкою під шаром флюсу по гранульованому порошку, що подається спереду електрода на основний метал у зону дуги (рис. 1.3).

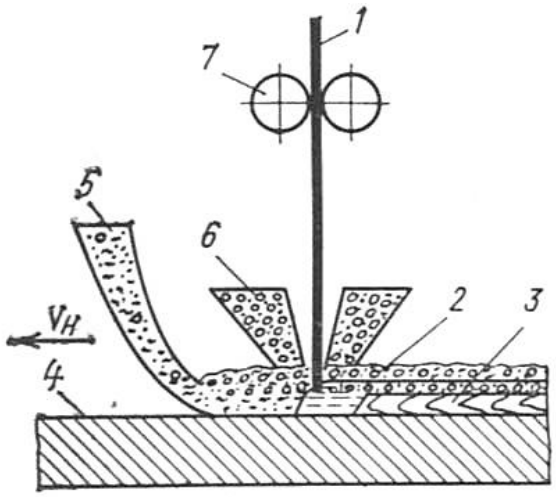


Рисунок. 1.3 - Схема наплавлення електродною стрічкою з застосуванням гранульованих порошків [14]:

1 – електродна стрічка,

2 – шлакова кірка,

3 – наплавлений валик,

4 – виріб,

5 – лоток для подавання гранульованого порошку,

6 – флюсоживлячий пристрій,

7 – ролики, що подають стрічку

Плавлення металокерамічної стрічки відрізняється від плавлення холоднокатаної стрічки тим, що металокерамічні стрічки мають більший, у порівнянні з холоднокатаними, питомий електричний опір і капілярну будову. Це призводить до більшого нагріву торця електрода і інтенсифікує процес розплавлення стрічки.

Процес плавлення порошкової стрічки також істотно відрізняється від плавлення холоднокатаної стрічки тому, що низька електропровідність шихти призводить до горіння дуги здебільшого на оболонці електрода. Причому дуга порівняно швидко переміщається уздовж електрода і тривалий час (довше ніж при використанні холоднокатаної стрічки) горить на бічних стінках оболонки

Із збільшенням струму і напруги стабільність горіння дуги підвищується, причому при прямій полярності більше ніж при зворотній.

При наплавленні на форсованих режимах 75 – 80 % металу переходить в зварювальну ванну у виді крапель, а інше переходить через шихту, минаючи стадію краплі.

Збільшення сили зварювального струму, окрім підвищення продуктивності зменшує неоднорідність хімічного складу наплавленого металу за рахунок збільшення конвекційного перемішування у зварювальній ванні.

Устаткування

Для наплавлення холоднокатаною електродною стрічкою використовують зварювальні апарати як тракторного так і підвісного типів.

Основний орган, що забезпечує наплавлення широким електродом, - приставка для подачі електродної стрічки. Конструкція приставки залежить від виду зварювальної голівки і розмірів застосовуваних стрічок. Переустаткування його полягає у заміні мундштука і роликів для подачі електродного дроту на ролики для подачі стрічки. Звичайно зварювальні автомати для зварювання і наплавлення під флюсом переобладнують таким чином, щоб у досить короткий час можна було перелагодити його на зварювання або наплавлення електродним дротом.

При використанні голівки зварювального апарата АБС найбільшого

поширення одержала приставка конструкції ІЕЗ ім. Є. О. Патона.

Дуже часто доводиться наплавляти циліндричні деталі малих діаметрів, де якісний процес формування можливий тільки при використанні стрічок товщиною 0,1-0,5 мм. Для цієї мети можна використовувати приставку конструкції (рис. 1.4), що одночасно з подачею стрічки у зону дуги забезпечує її профілювання для додання тонкій стрічці належної жорсткості.

Приставка складається з двох роликів, що подають і профілюють стрічку *1* і *10*, планок, що направляють *2*, струмопідводу *7* з контактуючими мідними губками *5* і направляючих *13* для центрування електродної стрічки *12*.

Ролики, що подають стрічку, насаджуються на подовжені вали роликів для подачі електродного дроту. Ролик *1* закріплений на поворотному подвійному кронштейні *14*. Притиснення ролика *1* до ролика *10* здійснюється регулюванням ступеня стиску пружини *9* гвинтом *11*. Направляюча планка *2* кріпиться до корпуса голівки автомата болтом *3*, друга половина планки *2* може переміщатися горизонтально болтом *8*, змінюючи зазор для вільного проходу стрічки різної товщини.

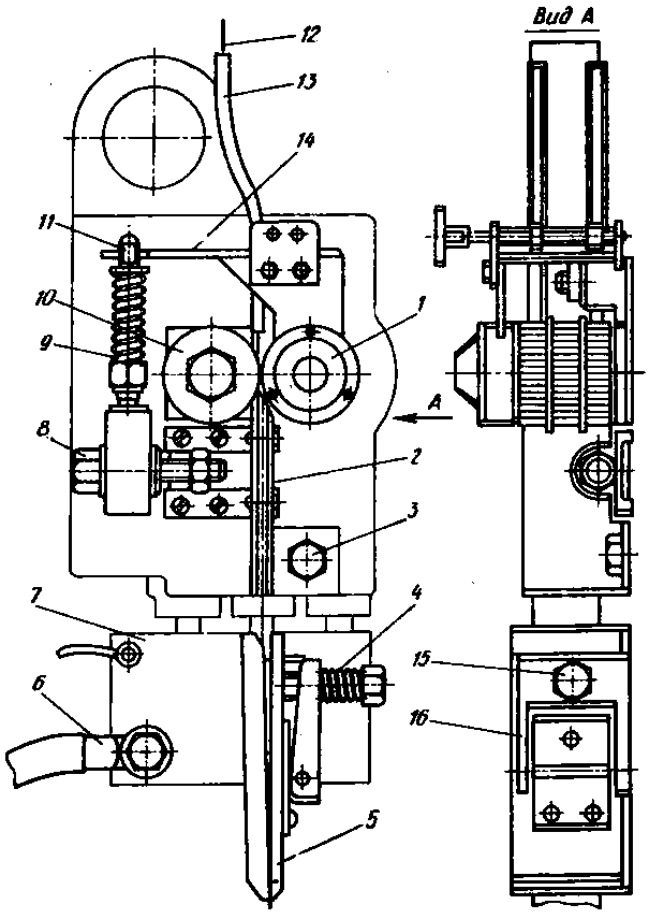


Рисунок 1.4 - Конструкція приставки із профілюючими роликами для наплавлення тонкою електродною стрічкою [14]

Щільність контакту електродної стрічки з струмопідводом регулюється стиском пружини *4* болтом *15* за допомогою поворотної планки *16*. До мідних трубок струмопідводу *7* приєднується клема *6* кабелю, що проводить струм. Виліт електродної стрічки встановлюється маховиком, що регулює виліт електродного дроту.

Швидкість подачі електродної стрічки може бути як залежною, так і незалежною від напруги дуги. При наплавленні широкою стрічкою з використанням джерела з жорсткою характеристикою більш якісне формування металу досягається при незалежній від напруги дуги подачі

Стабільна і рівномірна подача стрічки у зону горіння дуги є однією з основних умов якісного формування наплавленого металу.

електродної стрічки. Це пов'язано з тим, що перенос електродного металу в зварювальну ванну викликає значні зміни зварювального струму в ланцюзі.

При жорсткій характеристиці джерела і постійної швидкості подачі стрічки процес саморегулювання поліпшується, і дуга горить більш стабільно.

При наплавленні вузькими стрічками (шириною менш 50 мм) з використанням джерел із крутоспадною характеристикою процес переносу електродного металу в зварювальну ванну не викликає значної зміни зварювального струму. Тому для наплавлення вузькими стрічками можуть бути рекомендовані зварювальні апарати з залежною від напруги дуги подачею електродної стрічки.

Значною мірою рівномірна подача стрічки залежить від конструкції роликів, що подають.

На практиці найбільше використовують ролики зображені на рис. 1.5, конструкції яких змінюються від звичайних циліндрічних з насічкою (рис.2.9,а) до профільованих з різними формами поверхонь (рис. 1.5, б – е).

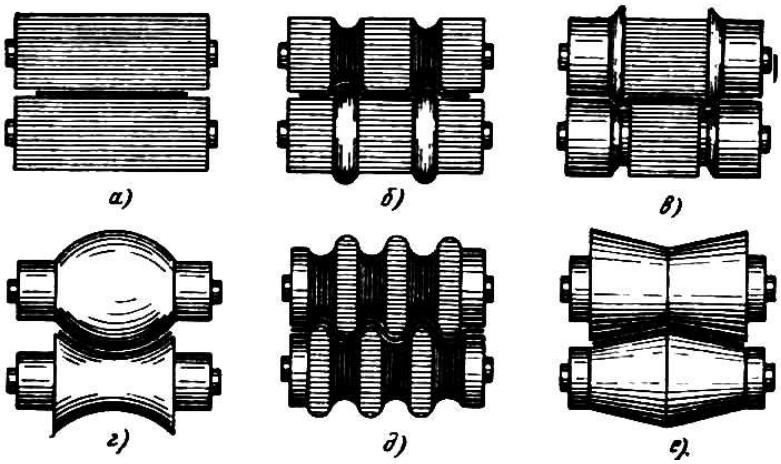


Рисунок 1.5 –Конструктивні форми роликів для подачі стрічки [14]

1.2 **Плазмове наплавлення.**

Плазмове наплавлення — механізований процес, при якому джерелом теплоти є плазмова дуга, а присадними чи електродними матеріалами — суцільні чи порошкові дроти, нерухома присадка у вигляді литих чи спечених кілець, гранульовані порошки.

Стисла електрична дуга (плазма) створюється плазматронами. Плазмоутворювальний газ і спеціальна конструкція анодного вузла забезпечують стиснення електричної дугиі перехід її у плазмову.

Завдяки можливості регулювання в широкому діапазоні співвідношення між тепловою потужністю дуги і подачею присадного (електродного) матеріалу більшість способів плазмового наплавлення забезпечують досить високу продуктивність (до 10 кг наплавленого металу на годину) при мінімальному проплавленні основного металу.

Наплавлений виріб може бути нейтральним (наплавлення плазмовим струменем) або ввімкненим в електричне коло джерела живлення дуги (наплавлення плазмовою дугою).

Плазмове наплавлення забезпечує високу працездатність деталей за рахунок відмінної якості наплавленого металу, його однорідності, а також сприятливої структури, обумовленої специфічними умовами кристалізації металу зварювальної ванни. У більшості випадків плазмове наплавлення виконують на постійному струмі, як правило, прямої, значно рідше - зворотної полярності..

Розроблено кілька способів плазмового наплавлення з присадним (електродним) дротом. Для наплавлення застосовують один чи два дроти, їх можна включати в зварювальний електричний ланцюг чи залишати нейтральними.

Для прикладу на рис. 1.6,а,б наведені схеми плазмового наплавлення з використанням одного дроту.

Обидва методи забезпечують мінімальне проплавлення основного металу (частка основного металу в першому шарі наплавлення 0,5 - 2,5 %). Продуктивність першого методу становить 4 - 8 кг/год, другого - трохи нижче: 2 - 5 кг/год.

При наявності двох джерел живлення від плазмового струменю йде плавлення присадного дроту (рис. 2.21), в чи двох дротів (рис.1.6,г) одночасно з дією на поверхню деталі плазмової дуги. Можливо також включення в електричний ланцюг окремо двох присадних дротів (рис.1.6, д). При застосуванні плавкого електрода в електричний ланцюг включається як дріт так і анодний вузол плазматрону.

Найбільшого поширення отримало плазмово-порошкове наплавлення (рис.2.22,ж,з), оскільки порошки можна виготовляти практично з кожного придатного для наплавлення сплаву. Завдяки характерному для плазмового наплавлення малому проплавленню основного металу необхідна твердість і заданий хімічний склад наплавленого металу забезпечується вже на відстані 0,3—0,5 мм від поверхні наплавлення, що дає можливість обмежитися одношаровим наплавленням там, де електродуговим способом необхідно наплавити 3-4 шари.

Плазмове наплавлення використовується для наплавлення клапанів та сідел ДВЗ, деталей нафтохімічної, енергетичної та загальнопромислової запірної арматури, різального інструмента різноманітного призначення.

Важливою особливістю плазмового наплавлення є відмінне формування наплавлених валиків, стабільність і гарна відтворюваність їхніх розмірів: статистично встановлено, що в 95 % наплавлених деталей відхилення товщини наплавленого шару від номінального розміру не перевищує 0,5 мм. Це дозволяє істотно скоротити витрату наплавних матеріалів, час наплавлення, а також (завдяки малим припускам) витрати на механічну обробку наплавлених деталей.

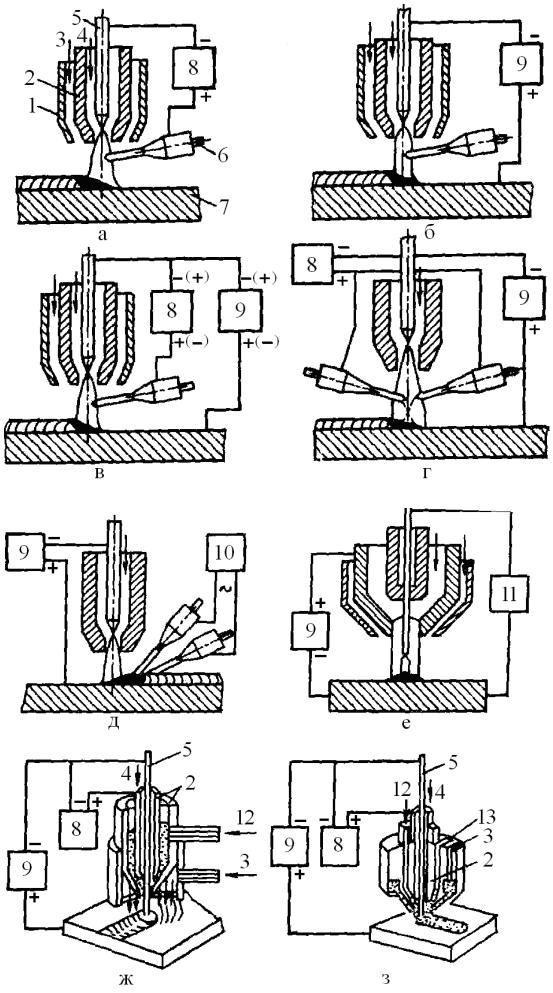


Рисунок 1.6 - Принципові схеми процесу плазмового наплавлення[14];

а - плазмовим струменем із струмоведучим присадним дротом;

б - плазмовою дугою з нейтральним присадним дротом;

в - комбінований (подвійний) дугою одним дротом;

г - те ж, із двома дротами;

д - гарячими дротами;

е - електродом, що плавиться;

ж - із внутрішньою подачею порошку в дугу;

з - із зовнішньою подачею порошку в дугу;

1 - захисне сопло;

2 - сопло плазмотрона;

3 - захисний газ;

4 - плазмоутворюючий газ;

5 -електрод;

6 - присадковий дріт;

7 - виріб;

8 - джерело живлення непрямої дуги;

9 - джерело живлення дуги прямої дії;

10 - трансформатор;

11 - джерело живлення дуги електрода, що плавиться;

12 - порошок;

13- порошок твердого сплаву

Переваги способу:
- висока якість наплавленого металу
- мала глибина проплавлення основного металу при високій міцності зчеплення
- можливість наплавлення відносно тонких шарів

Недоліки способу:
- невелика продуктивність
- необхідність у складному обладнанні

1.3 **Індукційне наплавлення.**

Суть індукційного наплавлення полягає в тому, що деталь поміщають в індуктор, який живлять змінним струмом високої частоти (СВЧ). У масі металу деталі чи компактної присадки індукуються вторинні змінні струми тієї ж частоти, що розподіляються в поверхневому шарі металу, і нагрівають цей шар. Чим вища частота струму, тим тонший шар металу, що нагрівається.

Після того як метал нагріється вище за точку Кюрі, глибина проникнення індукованих струмів збільшиться в 10—20 разів (залежно від частоти), завдяки цьому розподіл температури в металі, що нагрівається, стане рівномірнішим. Деталі чи компактні присадки нагрівають до температури плавлення металу і з'єднують. Для запобігання окисненню і поліпшенню сплавлення основного і наплавленого металів застосовують флюси.

Найчастіше присадним матеріалом є шихта, що складається з металевих порошків і флюсових домішок. Металеві гранули ізольовані одна від одної частинками флюсу, внаслідок чого електропровідність порошкового шару і виділення в ньому енергії не значні. З цієї причини нагрівання і розплавлення порошкової шихти відбувається переважно внаслідок теплопередачі від основного металу.

Індукційне нагрівання СВЧ зараз застосовують у таких способах наплавлення.

Розплавлення порошкової шихти, нанесеної на поверхню деталі, що наплавляють.

Спосіб заснований на використанні СВЧ для нагрівання основного металу і розплавлення розташованої на ньому порошкової шихти.

Цей спосіб одержав найбільшого поширення в промисловості. У масовому виробництві освоєне індукційне наплавлення цим способом лемешів плугів, лап культиваторів, ножів-гичкорізів, рештаків вугільних конвеєрів і інших деталей.

Приклад індукційного наплавлення розплавленням порошкової шихти, нанесеної на поверхню лемешів плугів наведено на рис. 1.7.

Продуктивність наплавлення досягає 10 кг/год. Можливе одержання наплавлених шарів товщиною 0,4 мм і більш.

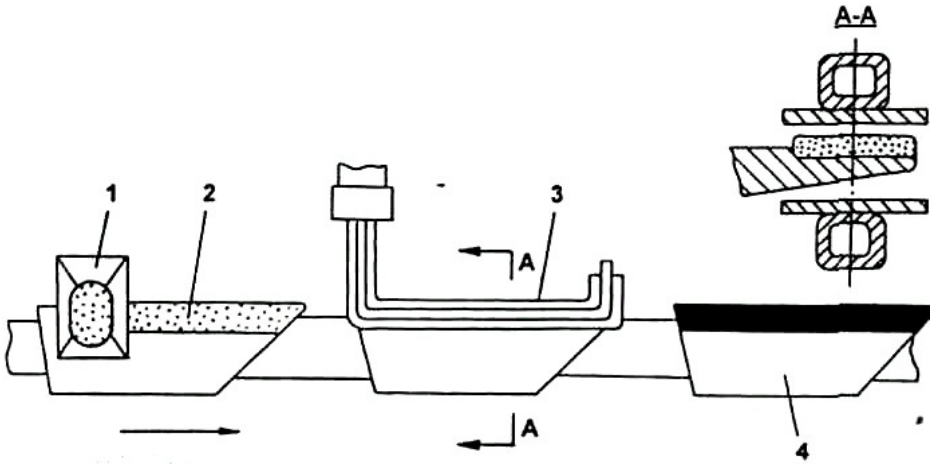


Рисунок 1.7 - Схема індукційного наплавлення лемеша [14]:
1 — дозатор шихти;
2 — порошкова шихта на лезі лемеша;
3 — індуктор;
4 — наплавлений леміш

Армування розплавленого поверхневого шару основного металу тугоплавкою і важкорозчинною присадкою.

При використанні цього способу як присадку застосовують зернистий реліт (карбід вольфраму) чи здрібнені металокерамічні сплави. Присадку разом із флюсом (борна кислота) наносять на поверхню деталі, що підлягає наплавленню. Потім деталь вводять в індуктор, в якому поверхневий шар розігрівається до температури плавлення й оплавляється. Зерна присадного

матеріалу при цьому не розплавляються і занурюються в оплавлений поверхневий шар. Закріплення зерен реліту в матриці відбувається внаслідок їх часткового розчинення і змочування розплавом.

Армований поверхневий шар являє собою литу сталеву матрицю з вплавленими в неї зернами тугоплавкого компонента.

Заливання рідкого присадного металу на підігрітий основний метал.

Після нагрівання деталі до потрібної температури знизу до індуктора підводять мідне кільце, що охолоджується водою. У своєрідну форму, що утворилася, з ковша заливають порції металу, розплавленого в індукційній печі чи в іншому плавильному агрегаті. Метод наплавлення рідким присадним матеріалом досить широко використовують для наплавлення деталей, що працюють в умовах абразивного зношування.

Розплавлення брикетованого або монолітного матеріалу на основному металі.

Метод можна проілюструвати на прикладі наплавлення клапанів двигунів внутрішнього згоряння (Рис.1.8).

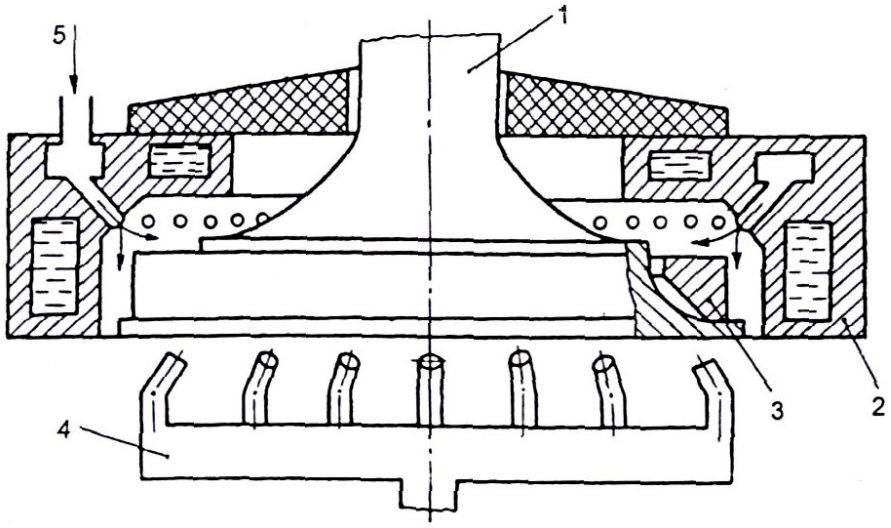


Рисунок1.8- Наплавлення клапанів [14]:
1 - клапан;
2-кільцевій індуктор;
3-кільце з жаростійкого сплаву;
4- спрейер;
5- захисний газ

Присадним матеріалом у цьому випадку є лите кільце *3* з жаростійкого сплаву, що укладають у виточення на опорній поверхні клапана *1*. Нагрівання і охоплює ділянку плавлення сплаву виконують у кільцевому індукторі *2*, що, де відбувається наплавлення. Через індуктор подається захисний газ *5*. Температура нагрівання на 50-100 °С перевищує температуру плавлення сплаву.

Істотною особливістю є те, що наприкінці процесу поверхня клапана, протилежна тієй що наплавляється, змочується водою зі спрейера *4*, що забезпечує спрямовану кристалізацію сплаву і його підвищені експлуатаційні властивості.

Для індукційного наплавлення клапанів застосовували литі кільця зі сплаву на основі нікелю ЭП-616 (мас. частка, %: С-1,2; Si-3,0; Мп-0,4; Сг-17,0; Ti-0,2; Al-0,6; Fe-3,0; В-1,5; Cu-0,25; Ni-інше).

Занурення підігрітої деталі у форму-тигель з розплавленим сплавом.

При цьому способі підігріту в індукторі деталь занурюють у керамічну форму з розплавленим металом. Керамічна форма повторює контури поверхні, що зміцнюється. Розплавлювання присадного матеріалу здійснюється індуктором. У цьому випадку не має значення співвідношення температур плавлення основного і присадного металів. Спосіб застосування обмежений, незважаючи на зовнішню простоту.

Відцентрове наплавлення деталей циліндричної форми.

Найбільшого поширення цей спосіб одержав при виготовленні різних біметалевих втулок (рис. 1.9). Відомі два варіанти реалізації цього способу наплавлення, що розрізняються між собою застосовуваним присадним матеріалом. Можна використовувати присадний матеріал у твердому стані у вигляді металевих порошків, стружки тощо.

У першому варіанті плавлення присадки відбувається завдяки теплопередачі від основного металу, що нагрівається, СВЧ. За другим варіантом присадний метал плавлять в окремій місткості і заливають у розплавленому стані всередину обертового циліндра, що наплавляють.

Особливим є формування наплавленого металу під дією відцентрових сил, що, з одного боку, сприяють більш рівномірному розподілу розплаву на основному металі і видаленню шкідливих домішок, а з іншого, — збільшують ліквацийні явища.

Тому при наплавленні необхідно застосовувати спеціальні технологічні прийоми: регламентувати кількість металу, що заливається, температуру і тривалість нагрівання, число обертів відцентрової машини, швидкість охолодження металу й ін. Прикладами реалізації цього способу є відцентрове наплавлення гільз автомобільних двигунів, гільз гідроциліндрів і черв'ячних машин.

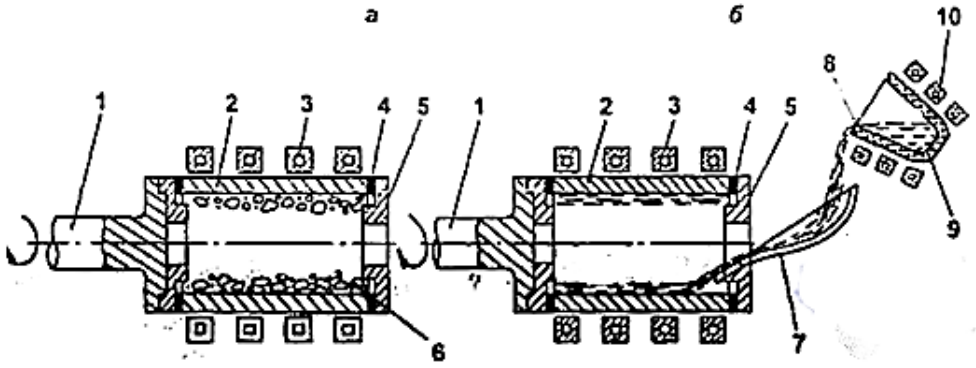


Рисунок 1.9 - Принципові схеми індукційного наплавлення відцентровим заливанням з використанням твердого (а) і розплавленого (б) присадного матеріалу[14]: 1- шпіндель відцентрової машини; 2- деталь, що наплавляють; 3- індуктор; 4- прокладка; 5- кришка; 6- шихта; 7- керамічний жолоб

Переваги способу:
- мала глибина проплавлення основного металу
- висока ефективність в умовах серійного виробництва

Недоліки способу:
- низький ККД процесу
- перегрівання основного металу
- необхідність використання для наплавлення тільки тих матеріалів, які мають температуру плавлення нижчу за температуру плавлення основного металу

*1.*4 Лазерне (світлове) наплавлення.

Одержання лазерного променя полягає в тому, що внаслідок надання зовнішньої енергії атоми активної речовини випромінювача переходять у збуджений стан.

При певному рівні збудження відбувається лавиноподібний перехід збуджених атомів активної речовини випромінювача у стабільніший стан. Це створює когерентне, тобто пов'язане зі збудженням, світлове монохроматичне випромінювання, яке посилюється у випромінювачі багаторазовим відбиттям від його стінок і випускається у вигляді вузького спрямованого пучка.

За типом активної речовини випромінювача лазери поділяють на тверді, газові, рідинні та напівпровідникові; за принципом генерації лазерного променя — на імпульсні та безперервні.

Найбільш поширеними є твердотілі та газові лазери. У сучасних твердотілих лазерах як активний елемент використовується оптичне скло з домішкою неодиму та інших рідкісноземельних елементів. Це дає змогу підвищити вихідну потужність випромінювання.

Загальна схема твердотілої лазерної установки наведена на рис. 1.10.

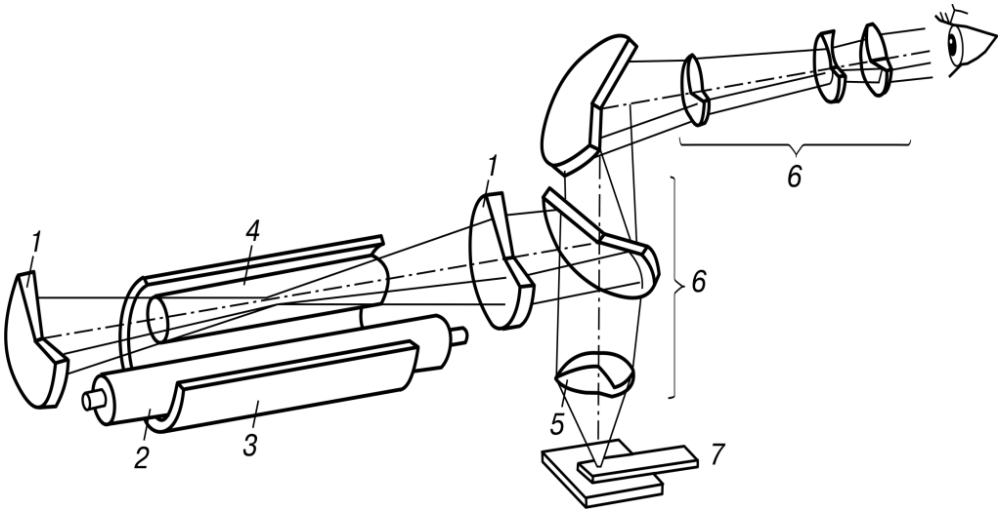


Рисунок 1.10- Схема лазерної установки[14]: *1* — дзеркало резонатора; *2* — лампа надання зовнішньої енергії; *3* — дзеркальна порожнина освітлювача; *4* — робоче тіло; *5* — лінза; *6* — мікроскоп; *7* — виріб

Установка складається з робочого тіла *4*, лампи накачування *2*, яка забезпечує генерацію світлової енергії для збудження атомів активної речовини випромінювача. Отримане випромінювання фокусується і спрямовується за допомогою оптичної системи *5* на поверхню виробу *7*.

На рис. 1.11 зображено електромагнітний спектр і діапазон довжини хвиль випромінювання найбільш поширених нині лазерів. Після зони радіохвиль (довгохвильовий діапазон), у міру зростання частоти, розміщена мікрохвильова зона (надвисоких частот), потім інфрачервона, видима, ультрафіолетова, рентгенівська і область гамма-випромінювання.

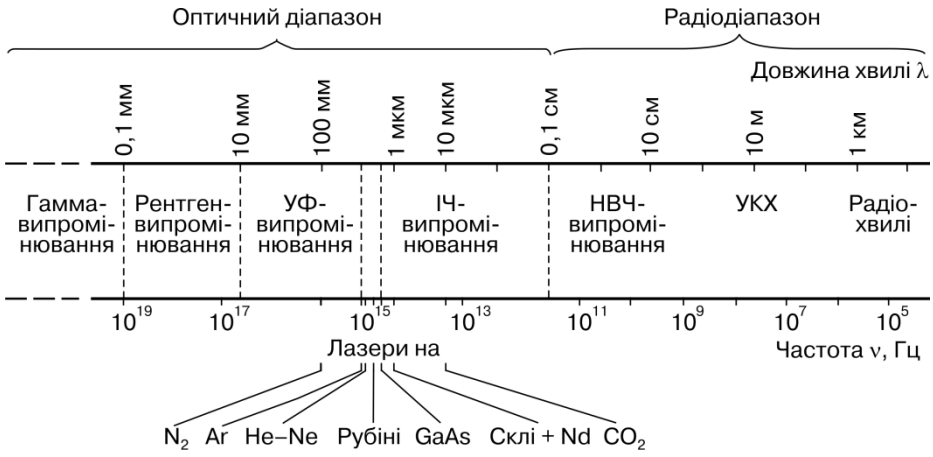


Рисунок1.11 - Електромагнітний спектр і діапазон довжини хвиль лазерного випромінювання: УКХ — ультракороткі хвилі[14]

Перевагами лазерного променя є можливість передавання енергії на великі відстані безконтактним способом, обробка на повітрі, у захисній атмосфері, вакуумі.

Розроблено три способи лазерного наплавлення: з подачею порошку в зону плавлення, оплавлення попередньо нанесених порошкових паст (шлікерних покрить); оплавлення напилених шарів.

Лазерне наплавлення з транспортуванням до зони лазерної плями порошку за допомогою газу називається ***газопорошковим лазерним наплавленням*** (ГПЛН).

Подача порошку може здійснюватися за рухом зразка і назустріч руху (рис.1.12).

Формування валика при цьому відбувається нарощуванням від основи до поверхні валика. Процес характеризується мінімальним тепловим впливом на матеріал основи.

Для транспортування порошку в зону обробки застосовуються повітря, азот, гелій, аргон, вуглекислий газ. При наплавленні самофлюсівних порошків тип газу практично не впливає на процес формування покриттів. При

використанні несамофлюсівних порошків необхідно застосовувати інертні гази, оскільки на повітрі відбувається окиснення порошків і як наслідок — пороутворення і несплавлення частинок у валиках. При цьому найкращі технологічні властивості мають гранульовані порошки з розміром частинок 40—160 мкм.

На формування валиків істотно впливають деякі технологічні фактори газопорошкового наплавлення: напрямок подачі порошку щодо переміщення зразка, транспортуючий газ, а також хімічний склад, розмір і форма часток і т.і.

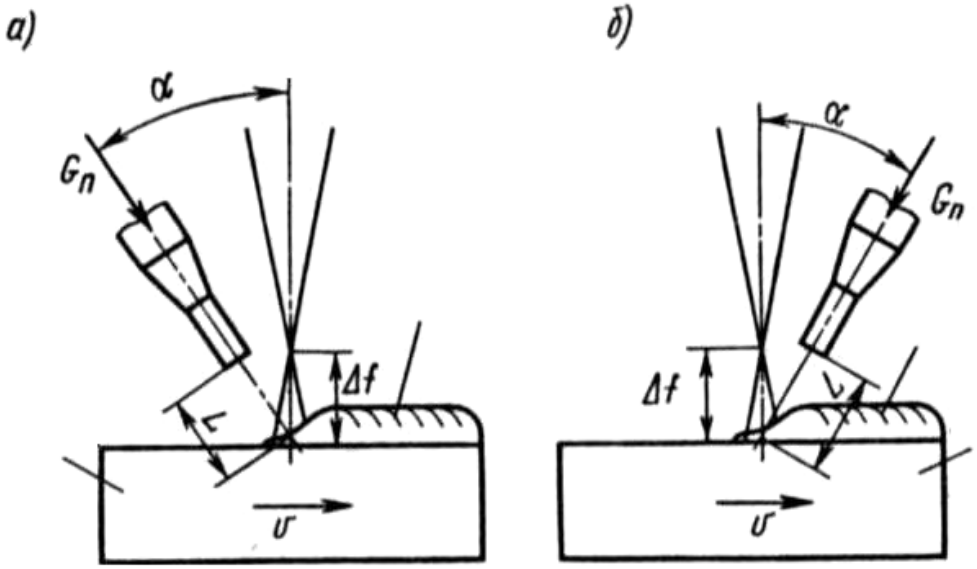


Рисунок1.12- Схема газопорошкового лазерного наплавлення з подачею порошку[14]

а - вслід руху, б - назустріч руху зразка

Найбільший вплив на геометричні розміри наплавлених валиків робить зміна потужності випромінювання і швидкості обробки. При збільшенні потужності від 1,5 до 3,5 КВт ширина і висота валиків збільшуються, тому що збільшується прогрів матеріалу основи і зростає коефіцієнт використання порошку. від 2 до 78 %.(дорівнює відношенню маси порошку, витрачуваного на формування валика, до маси усього витраченого порошку).

При збільшенні швидкості обробки від 8.3 до 50,0 мм/с розміри валиків зменшуються: ширина — у 2 рази, а висота — у 4 рази, оскільки зі збільшенням швидкості переміщення зразка зменшується час опромінення одиниці поверхні, знижується кількість порошку, подаваного в зону обробки, і зменшуються розміри оплавленої зони. Це призводить до різкого зниження коефіцієнта використання порошку

При подачі порошку назустріч руху змінюються умови формування валика; газопорошковий струмінь деформує рідку ванну убік, протилежний валику, що кристалізується. У результаті рідкий метал розтікається по поверхні, що є причиною значного збільшення (у 1,5 рази) коефіцієнта використання порошку при такому способі подачі. Геометричні розміри - висота і ширина - також збільшуються в 1,5...2 рази, але залежність параметрів формування валиків від режимів якісно залишається такою ж, як і при наплавленні вслід руху

При використанні сканаторів можна збільшити геометричні розміри валиків, зокрема, ширину — до 10 мм і більше. Сканування випромінювання при наплавленні здійснюється за двома схемами: коливанням дзеркала з частотою 200—300 Гц і круговим переміщенням лазерної плями з частотою 10—50 Гц. В останньому випадку є можливість істотного збільшення не тільки ширини, а й висоти валика.

Потрібний склад і властивості наплавленого металу можна отримати вже в першому шарі невеликої товщини. У дослідно-промисловому виробництві лазерно-порошковим методом наплавляють колінчасті та розподільні вали ДВЗ, клапани і деякі інші деталі.

При лазерному наплавленні з оплавленням шлікерних покриттів чи, інакше, шлікерного лазерного наплавлення найбільш важливим є вибір зв’язувальної речовини для готування пасти. Відоме застосування як зв’язуючого таких речовин: епоксидна смола, самотвердні пластмаси, розчин бури в ацетоні, спиртовий розчин каніфолі, ізопропіловий спирт, рідке скло,

силікатний клей, вуглеводні, жири, клей БФ-2, цапонлак, оксіетилцелюлоза, клейстер, клей “Суперцемент” та ін.

При лазерному шлікерному наплавленні, якщо необхідне накладання поряд наступного валика, то у більшості випадках потрібно відновити шар пасти. Тому процес лазерного наплавлення з оплавленням шлікерних покриттів перспективний при нанесенні одиничних валиків.

Одержання товстих поверхневих шарів із перекриттям смуг легко здійснюється при іншому методі лазерного наплавлення — *лазерному переплавленні напилених покриттів.* Перевагами цього методу над лазерним шлікерним наплавленням є: відсутність вигоряння шару по боках від оплавленого об’єму, повніше використання порошку, відсутність кіптяви і сажі. Одночасно в цьому випадку вдається поліпшити властивості напилених покриттів, особливо їх міцність зчеплення з основою, що після напилення не перевищує 70 МПа.

Найбільшу перспективу мають при лазерному наплавленні безупинні CO2 - лазери потужністю 1 КВт і більш..

Переваги способу:
- мале і контрольоване проплавлення при високій міцності зчеплення
- можливість отримання тонких (не менше, ніж 0,3 мм) шарів
- невеликі деформації наплавлених деталей
- можливість наплавлення важкодоступних поверхонь
- можливість підведення лазерного випромінювання до кількох робочих місць, що скорочує час на переналагодження обладнання

Недоліки способу:
- низький ККД процесу
- низька продуктивність
- складне обладнання, яке дорого коштує

1.5 **Електронно-променеве наплавлення**

Використовується даний метод для наплавлення електронний промінь і дає можливість регулювати нагрівання і плавлення основного і присадного матеріалів, а також зводити до мінімуму їх перемішування.

Електронний промінь — потік електронів, що випромінюються одним джерелом і рухаються по близьких траєкторіях у певному напрямку.

Електронний промінь створюється спеціальним приладом — електронною гарматою (рис. 1.13), за допомогою якої отримують вузькі електронні пучки з великою густиною енергії.

Гармата має катод *3*, який може нагріватися до високих температур. Катод розміщений всередині додаткового електрода *4*. На деякій відстані від катода знаходиться прискорювальний електрод (анод) *5* з отвором. Електрони, які виходять із катода, фокусуються за допомогою електричного поля між додатковим і прискорювальним електродами в пучок, діаметр якого дорівнює діаметру отвору в аноді *5*.

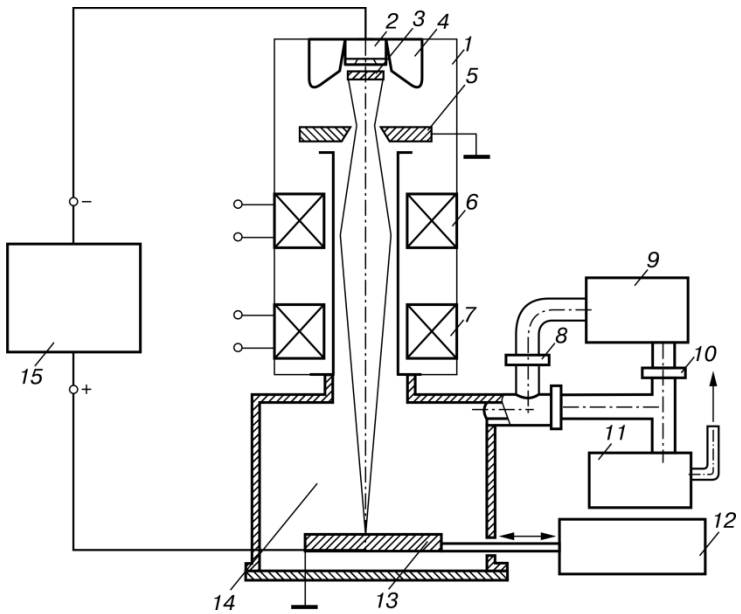


Рисунок 1.13 – Схема електронно-променевої установки[14]:

1 — електронна гармата;
2 — нагрівник;
3 — катод;
4 — додатковий електрод;
5 — анод;
6 — магнітна лінза;
7 — система відхилення;
8, 10 — затвори;
9 — дифузійний насос;
11 — форвакуумний насос;
12 — привід маніпулятора;
13 — виріб;
14 — вакуумний об’єм;
15 — високовольтне джерело постійного струму

Позитивний потенціал прискорювального електрода може досягати кількох десятків тисяч вольт, тому електрони, які випромінюються катодом, на шляху до анода набувають значної швидкості та енергії.

Живлення гармати електричною енергією здійснюється від високовольтного джерела постійного струму *15*. Для збільшення густини енергії в промені після виходу електронів із першого анода, вони фокусуються магнітним полем у спеціальній магнітній лінзі *6*. Сфокусовані в густий пучок електрони, що рухаються, вдаряються з великою швидкістю об поверхню виробу *13*.

Для переміщення променя по поверхні виробу на шляху електронів розміщують магнітну систему відхилення *7*. Для забезпечення вільного руху електронів від катода до анода і далі до виробу, а також для того, щоб запобігти утворенню дугового розряду між електродами, в установці створюється глибокий вакуум (порядку $1 \cdot 10^{-2}$ Па).

Наплавлення виконується з присадкою суцільним або порошковим дротом. Оскільки наплавлення виконується у вакуумі, то шихта порошкового дроту може складатися з одних легуючих компонентів.

Для наплавлення використовують установки з поворотними столами, які доцільно застосовувати коли або можлива обробка нерухомої деталі за допомогою відхилення пучка, або потрібно виконати валик по осьосиметричному контурі пучком, спрямованим паралельно осі симетрії.

Для деталей, що не піддаються наплавленню на поворотних столах, час допоміжних операцій теж можна скоротити до часу подачі деталі під наплавлення, передбачивши на вхідній і вихідній сторонах камери завантажувальні вакуумні камери, відділені затворами. У той час, коли відбувається наплавлення, можна завантажити вхідну, розвантажити вихідну камеру і відкачати обидві до зварювального вакууму. Відразу ж після закінчення наплавлення розділові затвори відкривають і роблять заміну деталей. Такі ж рішення використовують для подавання у зону наплавлення наплавних матеріалів.

Інший варіант високопродуктивного наплавлення дрібних деталей чи довгих тонких заготовок полягає в тому, що в зварювальну камеру вбудовують магазин з подаваними під наплавлення заготовками. Таким

шляхом у межах одного циклу відкачки можна обробити велику кількість деталей.

Якщо наплавлення потрібно проводити в середньому чи високому вакуумі, а матеріал має форму стрічки, то її можна безупинно переміщати по зварювальній камері через два вакуумних шлюзи, установлених на вхідній і вихідній сторонах камери.

Переваги способу:
- мале та контрольоване проплавлення основного металу
- можливість наплавлення шарів малої товщини

Недоліки способу:
- складність обладнання, яке дорого коштує
- необхідність біологічного захисту персоналу

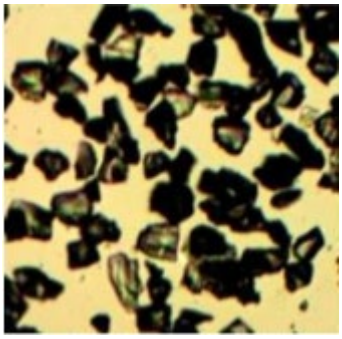
2. **АНАЛІЗУВАННЯ БАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ СФЕРОІДИЗАЦІЇ ПОРОШКІВ**

Давньою проблемою, яка зупиняла технологічний розвиток, це великі обмеження під час створення деталей зі складною геометрією, і занадто значний вплив людського фактору на створенні механізмів, так як всі елементи робились силами людей, а не устаткування із числовим програмним керуванням, проте все змінилось після виходу в світ дешевих мікроконтроллерів, які можна запрограмувати на певний алгоритм роботи, і які зараз люди активно використовують під час точкового зварювання, різання металу за допомогою лазерного/плазмового струменя, фрезерування, токарних робіт, тощо.

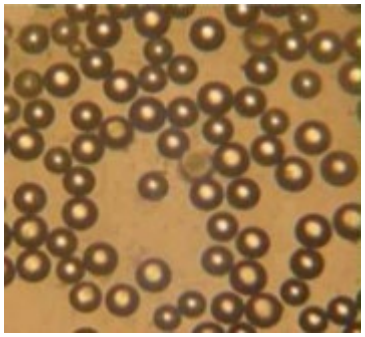
Но всі вище зазначені способи мають недоліки, які дозволяли виготовляти деталі з деякими умовами, наприклад плазмовий/лазерний різак може створювати лише плоскі деталі з листового металу, токарний верстат може виготовляти деталі лише циліндричної форми, фрезерувальний верстат не може виготовити деталі складної, багатополігональної геометрії, через саму особливість цього процесу, так як фреза елементарно не може дістатись важкодоступних місць, і ця проблема досить довгий час турбувала різні компанії, які не могли впровадити різні концептуальні, або навіть революційні механізми, по одній лише причині того, що вони не мають змогу добитись необхідної форми деталей.

Рефолюцією в цьому напрямку стало створення 3д друку. Спочатку це був друк дрібних деталей, який був зроблений на основі багатошарового наплавленню пластику, і чим ці шари були тонкіші, то тим більш точна виходила деталь, проте пізніше виникла термінова необхідність в створенні процесу 3д друку металу, наприклад сплавів титану, так як він одночасно легкий та міцний. Оптимальним варіантом став процес 3д друку металевого порошку за допомогою сплавлення, тобто порошок шар за шаром за допомогою лазерного променя нагрівається до необхідної температури, та рівномірно створює шар.

Проте виникла інша проблема. Звичаний металевий порошок який тоді був доступний, мав не сферичну форму, а більш схожу на кристал, з великою кількістю кутів рис.1.1. наслідком цього було те, що порошок нерівномірно розприділявся по поверхні, і через це виникала велика кількість так званих повітряних карманів, які заважали процесу 3д друку, через що виникав брак, і власне вирішенням цієї проблеми стала необхідність попередньої обробки порошку, для того, аби надати йому сферичну форму.



а)



б)

Рисунок 2.1

а - звичайний металевий порошок; б – сфероідизований порошок;

2.1 **Проблеми, перспективи та теперишній стан адитивних технологій**

Технологія сфероідизації порошків є досить новим процесом, який зараз є головним напрямком дослідження багатьох дослідницьких центрів, та інститутів.

Суть досліджень полягає в тому, щоб цей процес здешевити, спростити його з конструктивної точки зору та добитись стабільно сталої якості порошку.

В даний момент активно ведуть розробку такі зарубіжні представники:

1) АО «ГИРЕДМЕТ». Вони розробляють білясферичної форми титатнових порошків з розміром гранул до 50 мкм , зі збереженням 40% масси вихідної сировини. В якості обробки, використовується полум'я плазми. В даний момент розробка на стадії дослідження.

2) ООО «НОРМИН» - виробництво порошків з титанових сплавів, за допомогою плазмової атомізації, для отримання порошку з розміром гранули 50-70 мкм, зі збереженням 35% від масси вихідної сировини. В даний момент розробка на стадії дослідження, вже є дослідне устаткування.

3) АО «ВНИХТ» - розробка отримання порошків з нержавіючої сталі з розміром гранули 70-100 мкм. В даний момент розробка на стадії лабораторного устаткування.

4) ПНИПУ – розробка устаткування для отримання сфероідизованих гранул за допомогою процесу розпилення титанового дроту. Розробка на стадії дослідження.

5) УрФУ – отримання сфероідизованих гранул срібла, міді та титану за допомогою розпплавлення дроту. Розробка на стадії дослідження.

6) ИТПМ СО РАН – отримання сфероідизованих гранул за допомогою розпилення металевого дроту.

Як видно з досліджень, в даний момент активно досліджуються 2 напрямки сфероідизації, це:

- сфероідизація необробленого порошка;

- отрмання сфероідизованих гранул за допомогою розплавлення металевого дроту;

Обидва напрямки мають безліч як позитивних так і негативних особливостей.

2.2 Огляд способу отримання сфероідизованих гранул методом обробки готових порошків

Суть даного методу проілюстрований на рис.2.2.

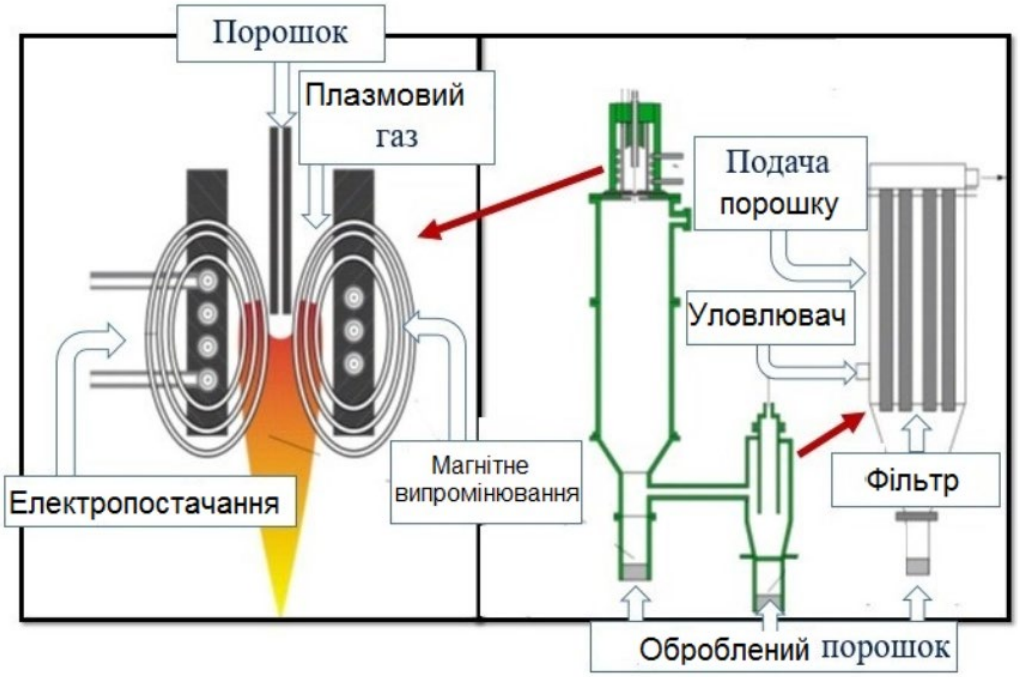


Рисунок 2.2. Схема процесу сфероідизації [10]

Як можна зрозуміти із назви способу, для того аби з чорнового порошку зробити оброблений, необхідно піддати його термообробці, зазвичай є 3 можливі варіанти, перший це обробка стуменем плазми, це більш простий з точки зору реалізації та підбору параметрів режим, проте більш дорогий по обладнанню, так як для того аби плазмотрон працював необхідно доставити цілу купу різного обладнання, наприклад необхідно досить потужне джерело живлення, балон з плазмоутворюючии газом, зазвичай це можуть бути 2 гази, плазмоутворюючий та захисний, також необхідно надати плазмотрону систему водяного охолодження, аби воно постійно циркулювало та попереджувало плвлення основних вузлів, і власне кажучи сам плазмоутворюючий прилад є досить дороговартісний.

Для сфероідизації порошку плазмою, використовують силу поверхневого натягу. Як це реалізовано. Порошок за допомогою якогось дозатора, рівномірними порціями подається в зону струменя плазми, зазвичай дану зону роблять вакуумною, це потрібно для того, аби матеріал не вступав в реакцію, і обов'язковою умовою є те, аби порошок подавався суворо вертикально. Далі, коли порошок летить, він на деякий період попадає в зону плазми (температура і інші параметри є дуже індивідуальні, і

залежать від матеріалу, розміру частинок та кількості порошку). Під час температурної обробки порошок набуває практично рідкого стану, але не достатнього аби в повній мірі перетворитись на рідину, і під час падіння за рахунок сили поверхневого натягу, та в деякій мірі через силу тяжіння, поверхнева плівка обтягує гранулу та набуває сферичну, або біля сферичну форму. Проте зазвичай сам реактор роблять досить високим, аби порошок перед потраплянням в приймальник встиг застигнути, аби не спіктися з іншими частинками. Зазвичай для того, аби процес формування зробити довшим, і більш якісним, то використовують центрифугу.

Суть полягає в тому, що після виходу зі струменю плазми, порошок не одразу потрапляє в уловлювач, а потрапляє в центрифугу, де за рахунок безперервного руху гранули швидше вистигають, не злипаються та більш якісно формують саме сферичну форму. Проте хоч результат виходиить кращий, но через значне здорожчення і ускладнення устаткування, центрифугу використовують рідко.

Кажучи про беззаперечні плюси, це однозначно є продуктивність процесу та відносна простота необхідного устаткування. З недоліків це є дороговизна того самого обладнання, великі втрати масси металу, близько 40-50% від початкової масси.

2.3 **Огляд способу отримання сфероідизованих гранул методом індукційної обробки**

Проте є другий спосіб плавлення, це індукційне. Даний режим є більш складний з точки зору параметорів, досить важкий для правильного компонування цілісної установки, проте більш дешевий по компонентах, так як для утворення процесу не потрібен газ, водяне охолодження (або прийнамні в тому вигляді в якому воно реалізовано у плазмотронів).

Суть індукційного плавлення полягає в тому що порошок дуже дрібними дозами подається у простір мідної котушки, яку живлять струмом. За рахунок того що силові магнітні хвилі проходять чітко через порошок, він практично миттєво плавиться, а також магнітні хвилі ніби обтікають

поверхневу плівку яка утворюється внаслідок плавлення порошку, та згладжують її, надаючи

сферичну форму.

Даний спосіб дуже незручний в плані оптимізації процесу, через більшу кількість можливих чинників збурень в порівнянні з «плазмовим» методом. І якщо в першому випадку все регулювання зводиться до виставлення необхідної температури стовпа плазми, то тут може повпливати все, починаючи від геометричних розмірів котушки, марки міді, до навіть незначного забруднення котушки, так як це призведе до додаткового нагрівання міді, що в свою чергу вже змінить опір, він змінить значення струму, який в свою чергу змінить значення магнітної індукції.

Даний спосіб самостійно використовується лише в експерементальних цілях, і існує лише в якості концепції, проте це не означає що його не використовують в якості допоміжної обробки.

І власне третій спосіб, комбінований. Тут застосовується і промінь плазми, і індукція. Даний метод використовують частіше всього у промисловисті, оскільки він дає більш якісну форму, і навідміну від попередніх двох дає сталу якість, і якщо говорити коротко, то плазма виступає в якості чорнової обробки, а індукція вже в якості чистової, і власне на виході отримуємо гранулу найбільш наближеної до ідеально сферичної.

Єдиний недолік даного способу заключається лише в значному ускладненні конструкції, яка через це сильно прибавляє в ціні, но на виході отрмуємо велику продуктивність та чудову якість.

3. **МЕТА І ЗАВДАННЯ РОБОТИ**

Метою даної роботи є розробка установки для сфероідизації порошків, для подальшого створення прототипу. Суть розробки полягає у аналізі певних проблем, з подальшим їх вирішенням і інтегруванням в конструкцію.

Завданням даної роботи є вирішення таких проблем як:

- Створення контрольованої плазмової області
- Розробка компоновки основних вузлів установки

4. **РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ СФЕРОІДИЗАЦІЇ ПОРОШКІВ**

4.1 **Аналіз необхідного функціоналу та властивостей устаткування**

Перед створенням устаткування було проведено аналіз вже готових рішень різних виробників, проте через те, що дана ніша є дуже перспективна та одночасно з тим досить пуста, інформації у відкритому доступі практично немає, єдине що є, це лише загальний опис процесу, який був описаний вище. Проте навіть цієї інформації є досить для того, аби розробити власний прототип.

Перше на шо потрібно звернути увагу, це матеріал який повинен оброблюватись. Так як найбільшої популярності на ринку сировини для 3Д друку набув титан, тому логічно буде брати вектор дослідження саме на цей метал.

Головною особливістю титану, та його сплавів є його висока активність в нагрітому на понад 300◦С стані. Його активність проявляється у вибуханні дрібних частинок при реакції з киснем. Власне кажучи це вже дає розуміння того, що середовище повинне бути вакуумне, або заповнене інертним газом. З точки зору якості набагато краще буде заповнити простір аргоном Ag, це пов’язано з тим, що аргон є важчий за повітря, що приведе до витіснення залишкового наявного об’єму кисню.

Також це стосується і плазмоутворюючого газу. Для проведення процесу підійде лише «інертна» плазма, коли в якості плазмоутворюючого газу використовують інертний газ, найчастіше це також аргон Ag.

В якості корпусу було прийнято рішення зробити установку на базі вже готової установки для іонного напилення «Булат» рис.4.1

Рисунок 4.1 Установка «Булат»

Дане рішення дозволить значно спростити процес розробки, так як установка вже базово оснащена багатьма необхідними вузлами, наприклад вакуумно відкачувальною установкою, яка власне і потрібна для створення вакууму всередині камери. Також вона оснащена механізмом закачки газу, для створення необхідного середовища.

Проте все одно необхідно внести певну модернізацію. Перш за все необхідно 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. Схематично це зображено на рис. 4.2

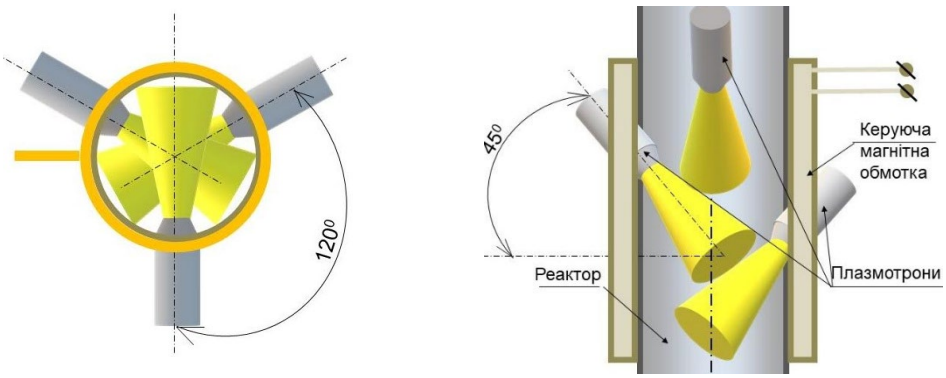


Рисунок 4.2 Розміщення плазмотронів

Проте це не все, купол «Булата» має висоту 500мм, на мою думку цього недостатньо для того, аби порошок встиг кристалізуватись після обробки, 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. 4.3

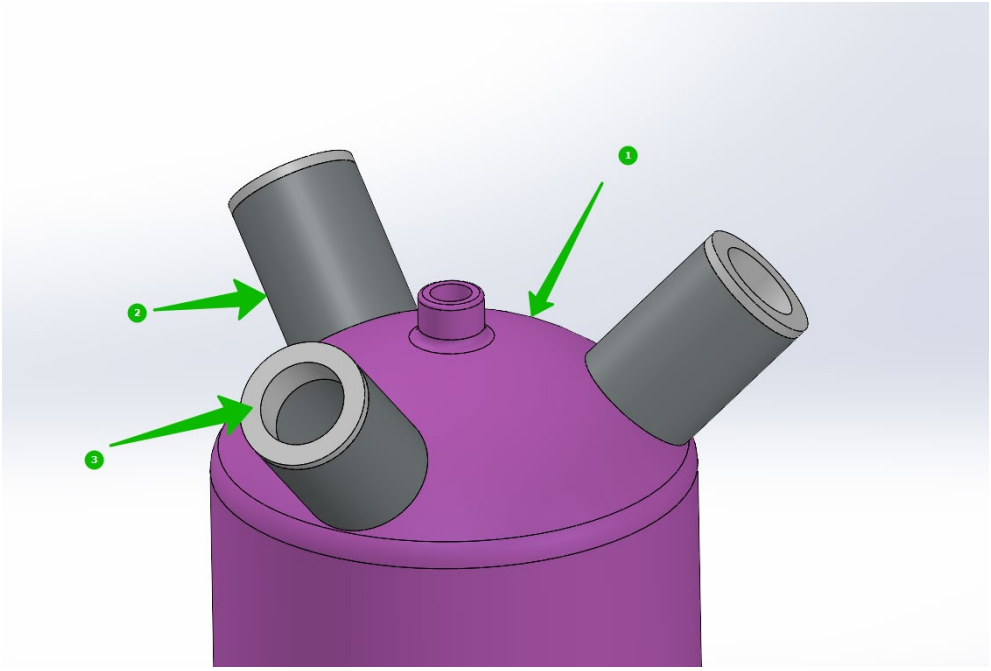


Рисунок 4.3 Місця кріплення плазмотронів

Сама констркція є досить простою, цифрою 1 позначено газовий балон, цифрою 2 позначено горловину під плазмотрон, яка виконана зі

стальної труби Ø60, цифрою 3 позначено металевий виточений фланець до якого різьбою буде прикручуватись плазмотрон. Попередньо було обрано розмір плазмотрона Ø45мм, тому внутрішня різьба буде очевидно М45.

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.

Слід зауважити що цей розділ є лише вступним аналізом самого устаткування, більш конкретно про усі вузли буде розписано в наступному розділі.

5. **РОЗРОБКА ПЛАЗМОТРОНА**

На мою думку спершу потрібно виділити основні конструктивні одиниці плазмотрону, а саме:

- плазмотрон;
- механізм подачі порошку;
- реактор;
- система відкачки повітря із зони реактора;
- система живлення електроенергією;
- система водяного охолодження плазмотрона;
- система підйому реактора;

5.1 **Аналіз конструкції плазмотрона**

Плазмотрона який буде використовуватись в установці, зображений на рис 5.1.

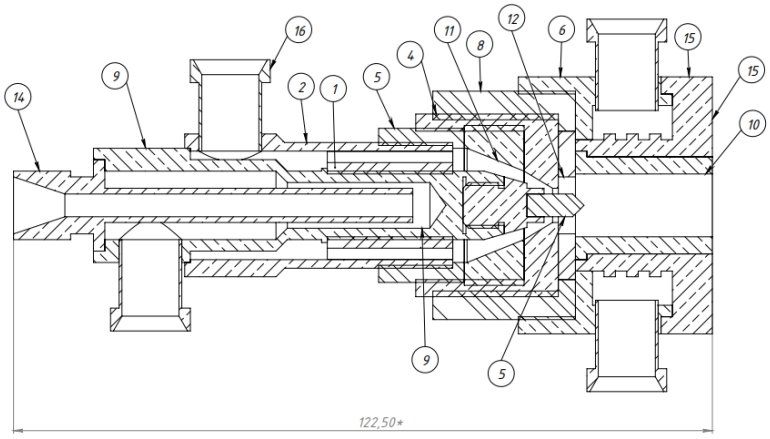


Рисунок 5.1 Схема плазмотрона

Даний плазмотрон коструктивно 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.* Для фіксації в плазмотроні, 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 відмежовуєьться ізоляторами *7* та *8.* Анод розміщається 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.

В кришці сопла наявні 2 отвора під штуцери, один з них призначений для заповнення зони тепловідводу водою, а другий призначений для виведення води, це необхідно для створення нормальної циркуляції води.

В катодній області також є тепловідведення, для цього там розміщується спеціальний штуцер *14,* в якому створено довгий канал подачі води всередину, це необхідно для того, аби вода подавалась як можна ближче до електрода, і впринципі 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, 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 *11* в якій розташовано дрібні поздовжні отвори, які формують рівнонапрямлений потік газу.

5.1.1 **Електродний вузол**

Модель даного компонента зображена на рис. 5.2.

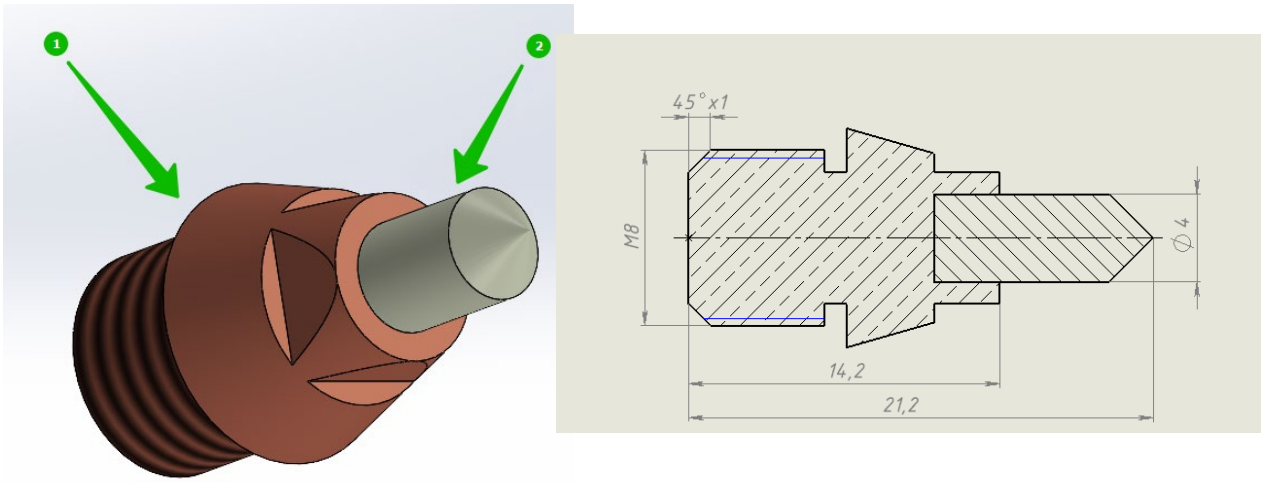


Рисунок 5.2 Електродний вузол

Як видно із зображення вище, даний вузол складається із 2х компонентів. Це так званого електродотримача 1, та самого електрода 2.

Електродний вузол відповідає за запалення робочої дуги, тому очевидно що він повинен для цього мати певні властивості, а саме:

- гарну електропровідність;

- жароміцність;

Другий пункт необхідний через те, що робоча температури дуги може набувати температуру понад 5000◦С. Проте як вже описувалось вище, для додаткового охолодження використовується водяне охолодження, проте про це згодом.

Конструктивно даний вузол є цільним, тобто електрод припаюється до свого трмача, 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 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.

Відносно матеріалів виготовлення, в якості неплавкого електроду необхідно обрати лантановий вольфрамовий електрод Ø4мм. Даний електрод виділяється підвищеною стійкістю дуги, можливістю роботи при високих значеннях струму, а також більшою тугоплавкістю, яка дозволяє використовувати електрод довшу кількість часу в порівнянні з електродами з чистого технічого вольфраму.

Тримач слід виготовити з міді марки М2, так як сплави міді хоч і є значно дешевші, но не можуть надати такої електропровідності.

Виготовити даний вузол потрібно методом токарної обробки.

5.1.2 **Катодотримач**

Конструкція даного компонента зображена на рис.5.3.

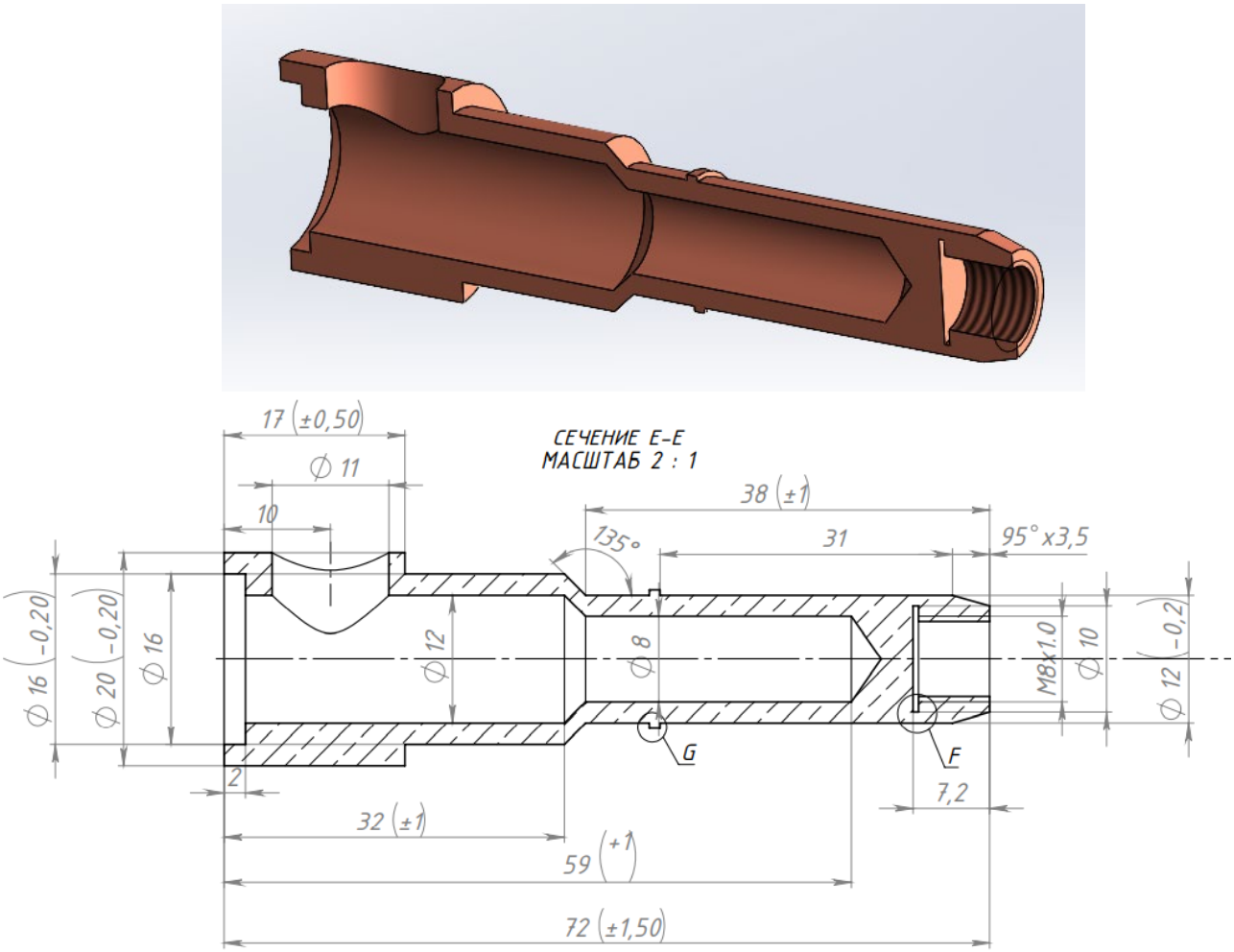


Рисунок 5.3 Катодотримач

Даний елемент є дуже важливим в конструкції плазмотрона. Він відповідає за проведення струму до електрода, формування каналу проведення газу, та відіграє роль системи охолодження електрода.

При конструюванні даного вузла точкою від якої відштовхувались, був

діаметр електродного вузла, тому спереді місце під електрод має внутрішню різьбу М8 під власне кажучи сам електрод.

Далі можна побачити виточену канавку, яка має розмір Ø12мм та Ø8мм, це власне кажу і є зона охолодження. З тильної сторони проточений вхідний канал з пазом під спеціальний штуцер, який буде описано далі, але особливістю його є те, що його канал подачі води простягається практично вздовж всього катодотримача, аби 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 можна побачити спеціальний паз, який слугує для фіксації спеціальної потокоформуючої втулки, 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 буде раціонально використати латунь в якості матеріалу.

Виготовлятись даний компонент повинен методом токарної обробки.

5.1.3 **Вузол газоформування**

Загальний вигляд деталі зображений на рис. 5.4.

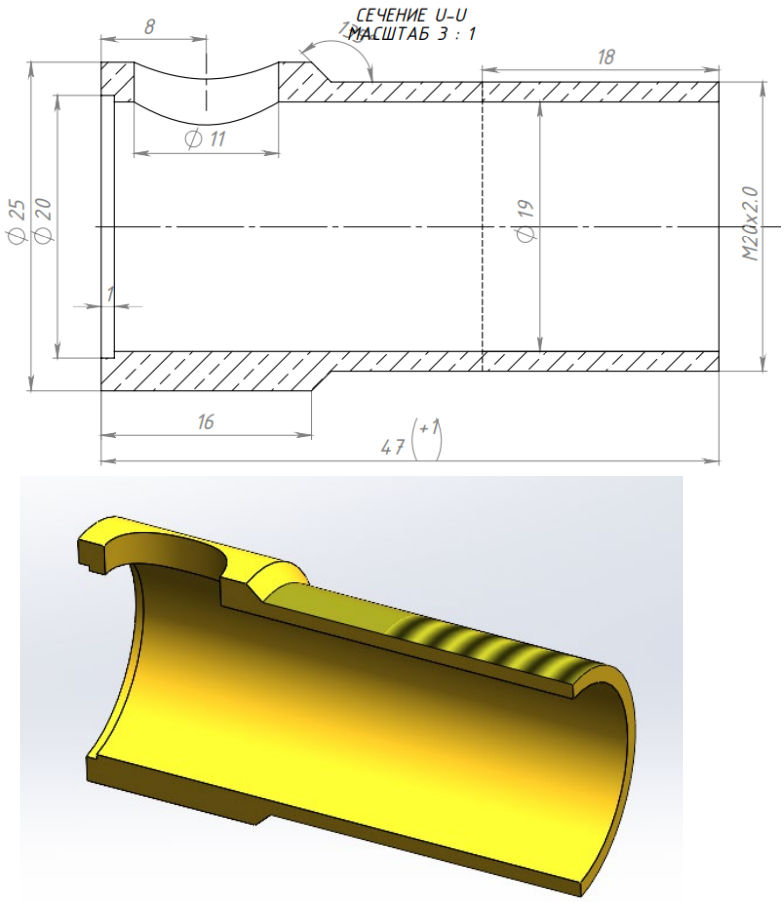


Рисунок 5.4 Вузол газоформування

Як можна зрозуміти із назви, даний компонент слугує для формування каналу газового потоку.

Як вже згадувалось вище, даний компонент розміщається поверх катодотримача, і для його фіксації передбачене спеціальне посадкове місце з тильної сторони.

Для подачі газу, передбачений отвір для розміщення штуцера. Після потрапляння газу в камеру, він рухається вздовж каналу, створеного даним елементом, та проходить через потокоформуючу втулку про яку згадували вище.

Також на кресленні можна побачити різьбу М20, вона необхідна для з’єднання з ізолятором, та аби забезпечити цілісність конструкції впринципі.

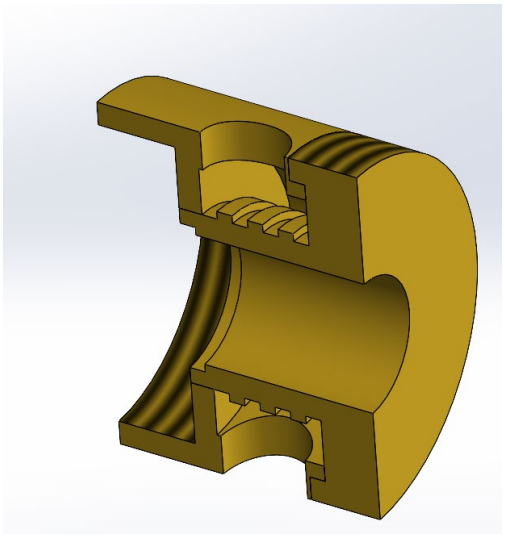
Для виготовлення даного компонента буде раціональним, використати в якості матеріалу латунь. Це пов’язано з тим, що даний вузол не буде

безпосередньо піддаватись температурному впливу, та не повинен проводити струм.

Виготовляти даиний вузол необхідно методом токарної обробки.

5.1.4 **Сопло**

Загальний вигляд сопла зображений на рис. 5.5.



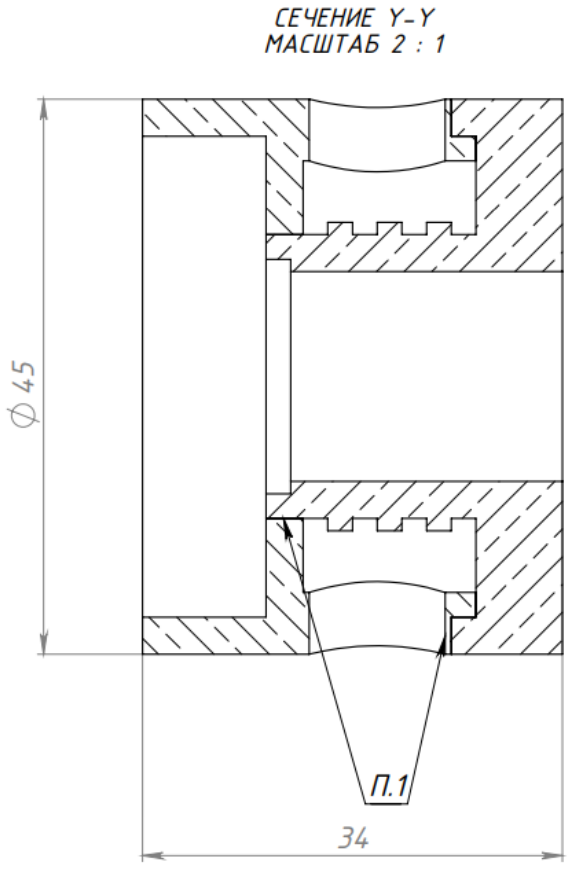


Рисунок 5.5 Сопло

Як можна побачити на зображеннях вище, сопло являє собою складену з 2х компонентів конструкцію, це пов’язано в першу чергу з ти, що це дозволиить спростити виготовлення, так як з цілісної заготовки буде неможливо зробити канал під охолодження анодної області.

Даний елемент з’єднується методом зварювання. Місця де необхідно накласти зварні шви позначені на рис.5.5 п.1.

Даний елемент виконує наступні функції: охолодження анодної області, фіксація анода в межах плазмотрона, та фіксація плазмотрона до установки.

Охолодження передбачене водяне, для подачі та виведення води, на зовнішньому кожусі передбачені отвори під штуцери. Для циркуляції води, зовнішній та внутрішній контури, разом формують канал, в якому для підвищення площі охолодження, передбачені ребра.

Фіксація з іншими компонентами плазмотрону відбувається внутрішньою різьбою М40, а до фланцю в установці він кріпиться різьбою М45.

Для розташування аноду, всередині передбачений спеціальний паз, де його потрібно зафіксувати.

Для виготовлення елементів сопла необхідно використати латунь, так як в даному випадку мідь буде економічно нераціонально використовувати, так як цей вузол необхідний в цілому в якості тепловідовуду, і являється корпусною деталлю.

Виготовити даний вузол необхідно методом токарної обробки.

5.1.5 **Анод**

Зовнішній вигляд аноду зображений на рис. 5.6.

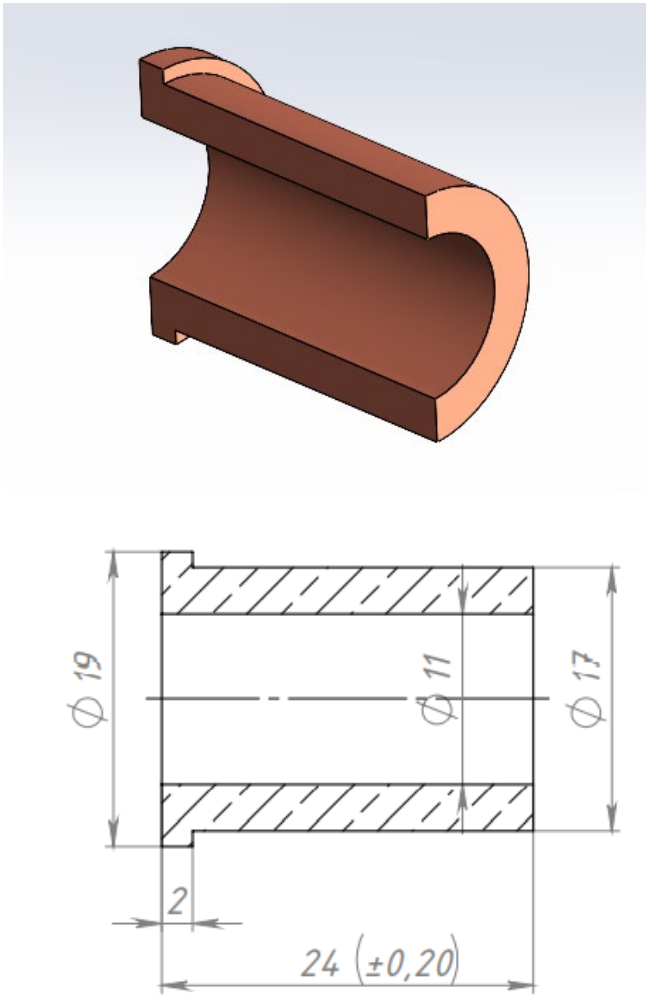


Рисунок 5.6 Анод

В межах плазмотрона, анод виконує ключову функцію, він підтримує горіння робочої дуги.

Можна задатись питанням, а чого лише підтримує, невже дуга запалюється попередньо з іншим елементом? Так, існує 2 дуги, це попередня і робоча. І перша власне необхідна саме для того, аби безпроблемно підпалити другу.

Як можна зрозуміти із завдання, безпосередньо через даний компонент буде проходити промінь плазми, тому для того аби він під його дією не деформувався, то необхідно використати матеріал з гарною теплопровідністю, тобто так, це мідь марки М1.

Як вже описувалось вище, тепло від аноду відводять водяним охолоджнням яке розміщене в соплі, а для його розміщенння в цьому соплі передбачений виступ, який заводиться в паз, і надійно фіксується.

Для економії матеріалу, даний компонент буде розумно виготовити з мідної труби даного діаметру. Це буде значно ефективніше, чим точити її з цільної мідної заготовки.

5.1.6 **Потокоформуюча втулка**

Даний елемент зображений на рис.5.7.

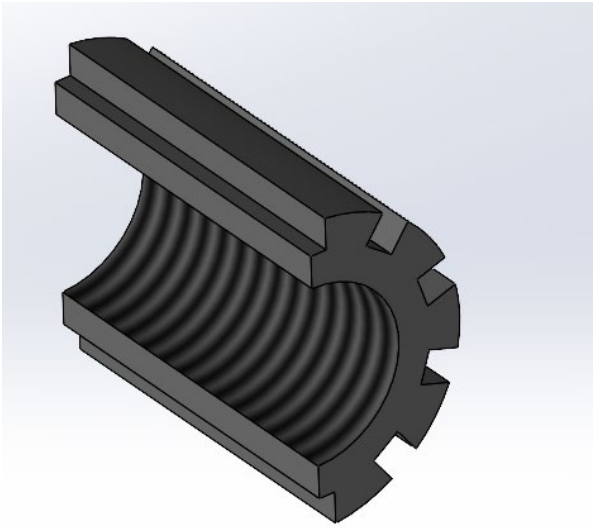


Рисунок 5.7 Втулка потокоформуюча

Як можна зрозуміти із назви, дана втулка існую для формування правильного колінеарного потоку газу.

Це забезпечить сталу подачу газу, і з рештою забезпечить стабільний плазмовий промінь.

Для фіксації в межах установки, наявна різьба М12, якою втулка накручується на катодотримач.

Для виготовлення даної втулки, необхідно використати матеріал який буде діелектриком, наприклад капролон.

Даний компонент виконується методом токарної, та фрезерної обробки.

5.1.7 **Штуцер подачі води**

Елемент зображений на рис 5.8.

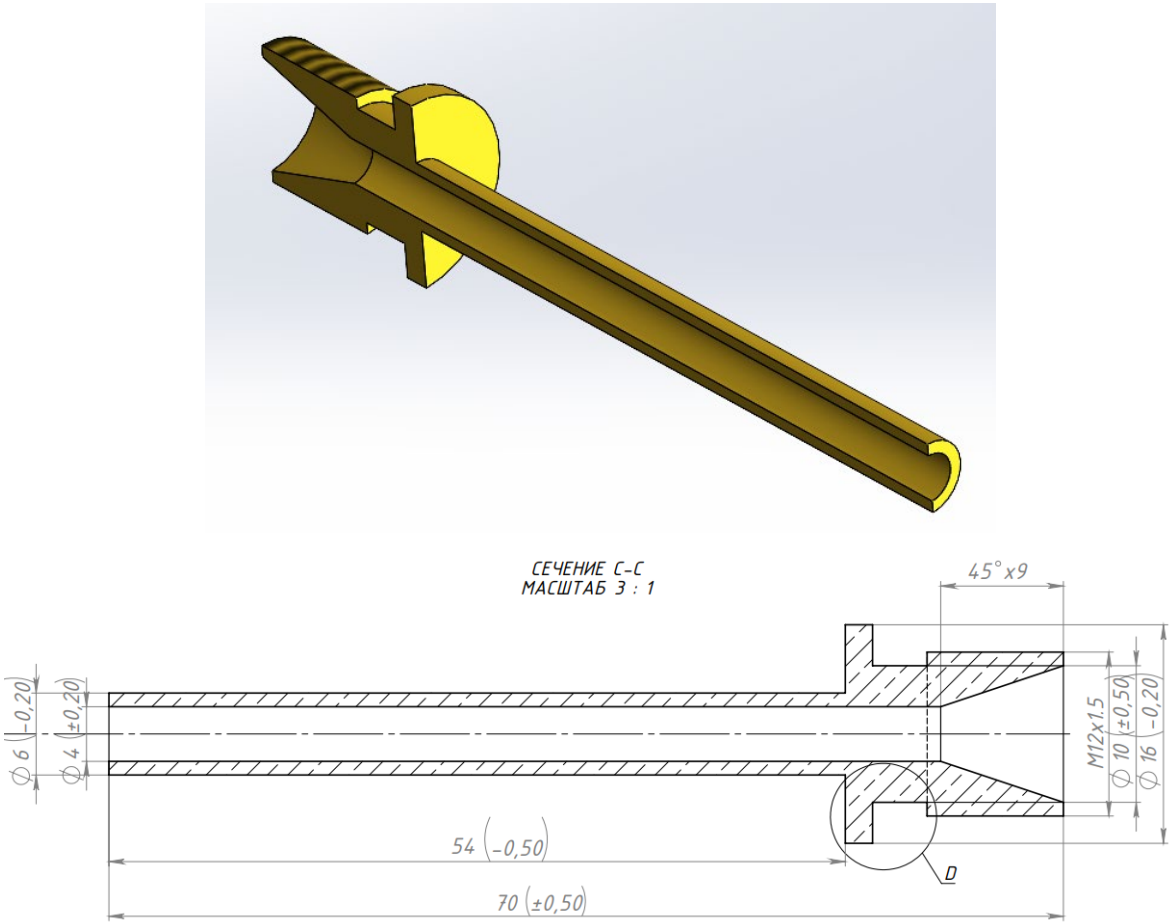


Рисунок 5.8 Штуцер

В плазмотроні сумарно наявно 5 штуцерів, 4 з них це стандартизовані, а ось цей специфічний. Як вже говорилось вище, він необхіднпй для подачі води чим ближче до електроду, тим самим збільшивши ефективність охолодження.

Виготовити даний компонент необхідно з латуні, а виготовити методом токарної обробки.

6. **РОЗРОБКА МЕХАНІЗМУ ПОДАЧІ ПОРОШКУ**

Зовнішній вигляд механізму подачі порошку зображений на рис.6.1

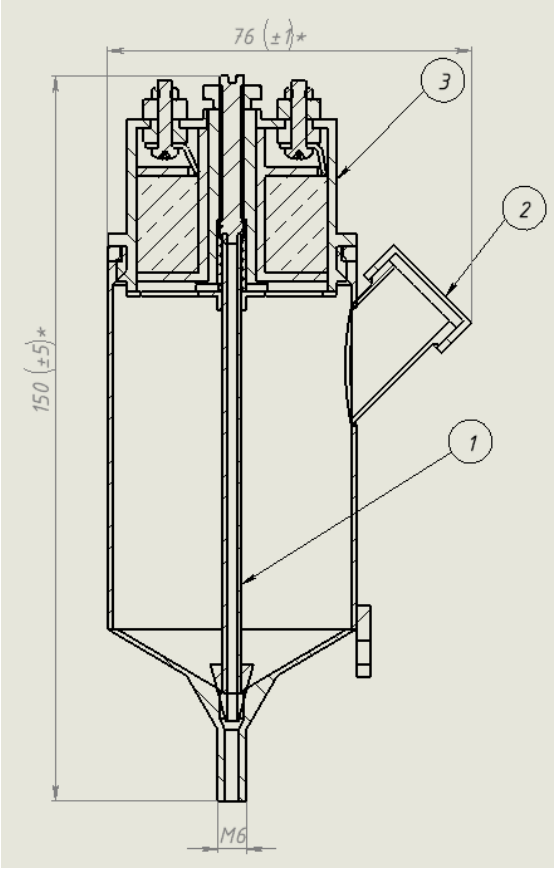


Рисунок 6.1 Механізм подачі порошку

Як можна побачити на ілюстрації, даний механізм має 3 компоненти, це: корпус 2, вібратор 3 та котушку 1.

Суть роботи полягає у наступному, до котушки підводять струм, в ній виникає електромагнітна індукція, вібратор з пружиною виступає в ролі осердя, і під дією електро рушнійної сили пружина починає коливатись, тим самим з певною частотою привідкриваючи клапан.

Засипатии порошок в ємність необхідно через наявну горловину в корпусі.

6.1 **Корпус живильника**

Загальний вигляд корпусу зображений на рис.6.2.

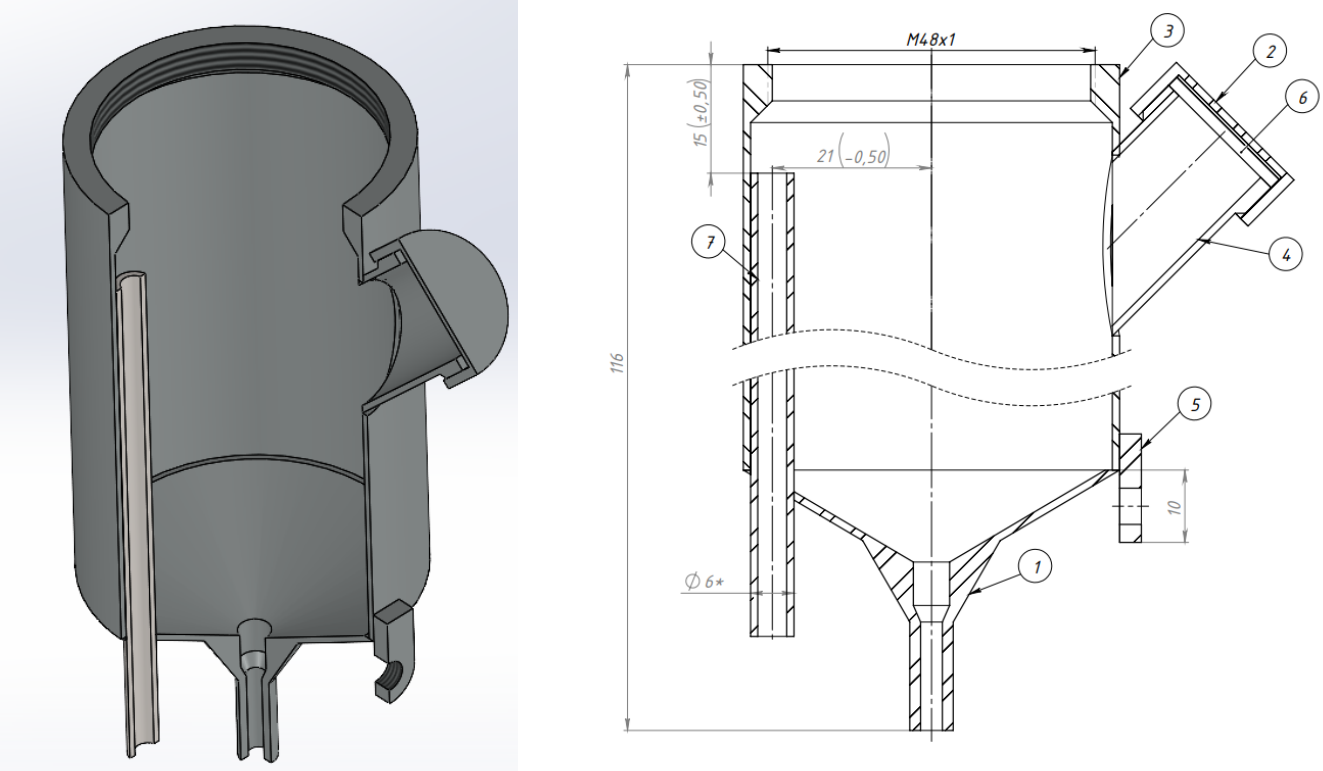


Рисунок 6.2 Корпус механізму подачі

Як видно із ілюстрації, корпус складається із декількох деталей, а саме: обечайки 3, горловини 4, кришки горловини 6, днища 1 та трубки, яка слугує для підтримання нормального тиску всередині корпусу.

На верхній частині корпусу присутня різьба М48, вона необхідна для фіксації котушки на корпусі.

Так як даний корпус не піддається дії агресивного середовища, то його необхідно виконати зі сталі марки Сталь 3, або 09Г2С, даний вибір викликаний сугубо економічною складовою.

6.2 **Вібратор**

Загальний вигляд вібратора зображений на рис. 6.3.

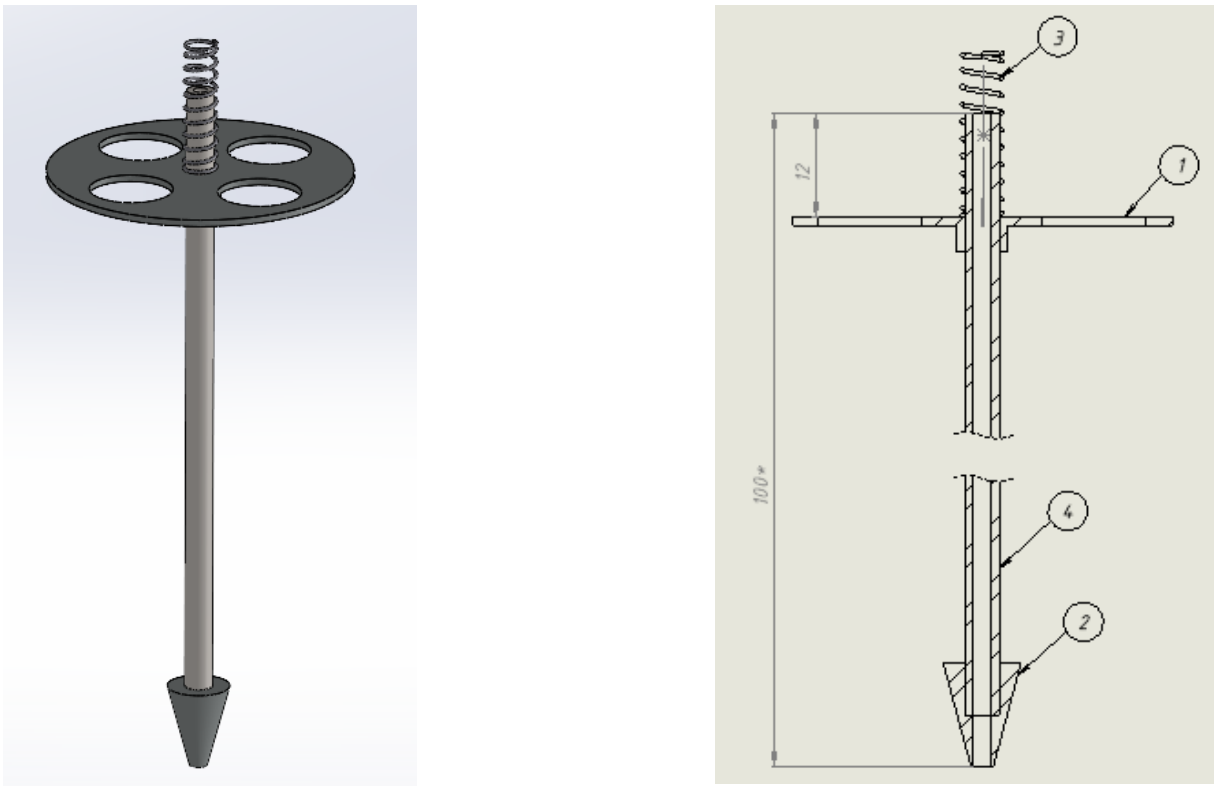


Рисунок 6.3

В межах механізму подачі, вібратор виступає в ролі пропускного клапану. В ньому присутні 4 елементи, це диск 1, який виступає в ролі своєрідного обмежувача, він не дає всій конструкції підійматись вище певного рівня, аби подача порошка була рівномірна.

Наступним компонентом є пружина 3. Як вже говорилось вище, вона відповідає за відкриття і закриття клапану.

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

6.3 **Котушка**

Загальний вигляд котушки зображений на рис.6.4.

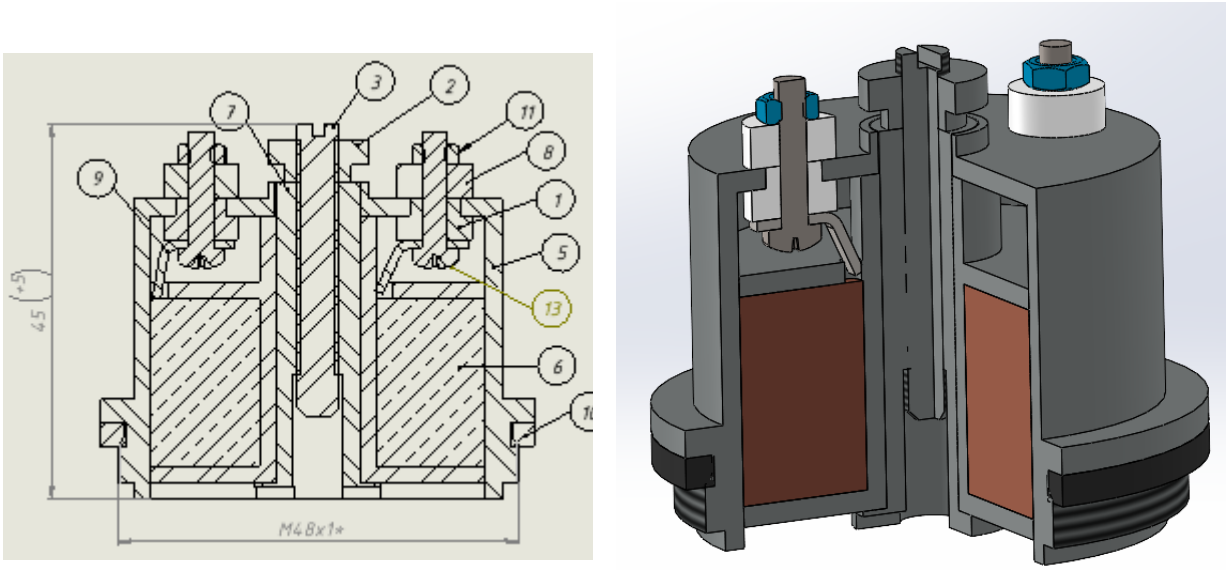


Рисунок 6.4 Котушка

Котушка, як вже говорилось вище, 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 2х болтів М3, які ізольовані від корпусу шайбами з діелектрика 8 та 1. Для підведення струму безпосередньо від клем до «міді» використовуються спеціальні провушини 9. Для того, аби вони безпроблемно могли мати контакт, в скелеті 5 передбачено 2 отвори. Власне кажучи про скелет. Він необхідний для запаковування мідної котушки, і виконує функкцію своєрідної струбцини. Також в ньому посередині наявний канал в якому вкручується спеціальний палець 3, який виконує функцію осердя та утворює місце для розташування пружини з вібратора.

7. ОХОРОНА ПРАЦІ

Адитивні технології на мою думку в сучасних реаліях це найбільш перспективна та необхідна технологія, сьогодні за допомогою адитивних технологій люди виготовляють від дрібних іграшок, до людських органів та кісток.

Пошарове виготовлення різних об’єктів є дуже необхідним сучасному прогресивному виробництву, за допомогою такого методу виготовлення, можна створювати вироби будь якої геометрії та будь якого рівня відповідальності, без страху за те, що деталь може мати дефект пов’язаний з людським фактором, проте адитивні технології в Україні розвиваються досить повільно, і це пов’язано перш за все з дороговизною спеціальних сфероідизованих порошків, і власне кажучи відсутність виробництва таких порошків на території України.

Проте як і будь яке виробництво продуктів металургії, сфероідизція несе за собою певні викиди шкідливих речовин.

7.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

В якості матеріала який буде піддаватись сфероідизації 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 експерементальним, то режими проведення процесу будуть обиратись дослідним шляхом.

Так як згідно ТУ, в аргоні все одно передбачений певний відсоток кисню, то в ЗА буде виділятись незначний відсоток діоксиду титана TiO_2, і буде сягати близько 3% від всього ЗА, все решту складе чистий титан.

Також окрім ЗА будуть виділятись шкідливі газоподібні сполуки, в нашому випадку це озон, який виділяється під дією високих температур, і сам аргон також виділяє УФ випромінювання, яке є дуже шкідливим особливо для сітківки ока, і може викликати її подразнення, та інші захворювання очей.

7.2. Нормативні вимоги безпеки та гігієни праці

7.2.1 Вимоги до персоналу

До виконання робіт можуть бути допущені особи, не молодші 18 років, в яких є завірена довідка про проходження попереднього медичного огляду, які пройшли інструктаж, та пройшли перевірку знань з вимог безпеки згідно з ДСТУ 2456-94.

7.2.2 Вимоги до технологічних процесів

Сфероідизація порошків струменем плазми

Місцевими повітроприймачами потрібно перепрацьовувати повітря не менше чим 55 $м^3$/год.

Експлуатація газових балонів, редукторів, рамп та іншого необхідного обладнання повинна здійснюватись згідно до норм «Правила устройства и безопасной зксплуатации сосудов, работающих под давленим».

Балони зі стисненим газом необхідно ставити на відстані не менше 5м від зони плазмового променя і 1м від можливих отеплювальних приладів. У разі наявності на отеплювальних приладах захисних екранів, відстань можна зменшити до 0,1м.

7.2.3 Вимоги до виробничих приміщень

Виробниче приміщення повинне відповідати вимогам поставленим згідно ДСП 379/1404.

Устаткуванню та інтер'єру в виробничому приміщенні необхідно надати кольорове оброблення згідно ДСТУ ISO 6309:2007.

Відстань між обладнанням, від обладнання до колон приміщення та стін, або інших споруд, ширина проїздів, ширина проходів повинна відповідати наявним будівельним нормам, та нормам технологічного проектування заготівельно – зварювальних цехів.

Розмір ширини проходів по периметру від робочого місця повинен бути не менше 1м.

Поверхня підлоги повинна бути рівною, без напливів, горбів та тріщин, бути не ковзкою та відповідати СНиП II-В.8-71.

Виробничі дільниці повинні бути укомплектовані загально-обмінною припливно-витяжною вентиляцією відповідно до ДБН В.2.5-67:2013.

Повітрообмін виробничого приміщення необхідно розраховувати на розведення шкідливо небезпечних речовин, не вловлених місцевими вентиляційними пристроями, до рівня ГДК. Паралельно з цим, кількість чистого повітря, шо подається системами повинна розраховуватись відповідно до ДСТУ 2456-94.

Повітря яке було забране з виробничих дільниць в атмосферу, повинне проходити очистку (фільтрацію) від небезпечних, та шкідливих речовин до концентрації, що входить в діапазон дозволених згідно ДБН В.2.5-67:2013 та ОНД – 86.

Подачу чистого повітря необхідно проводити в робочу зону або в її напрямку. Температура повітря, яке подається вентиляційними каналами, повинна бути не менше +20°С згідно з СН № 4088-86.

У випадку відсутності місцевої або загальноцехової циркуляції повітря до рівня ГДК, слід передбачити пряме попадання чистого повітря в маску індивідуального захисту працівника, в об'ємі від 6 до 8 $м^3$/год, підігрітого в холодну пору року до температури не нижче +18°С згідно з СН № 4088-86.

У випадку перевищення значення допусимої межі інтенсивності теплового опромінення згідно СН № 4088-86, слід впровадити спеціальні засоби захисту: спеціальні захисні екрани джерела, душування повітрям, ЗІЗ (засоби індивідуального захисту).

Освітлення виробничого приміщення повинно відповідати ДБН В.2.5-28-2006.

Для працівників в середині робочих приміщень повинні бути передбачені пристрої та приміщення санітарно – побутового призначення згідно з ДБН В.2.2-28-2010.

7.2.4 Вимоги до експлуатації зварювального обладнання

Обладнання, котре використовується під час утворення плазмового променя, в тмоу числі технологічне, допоміжне і механічне має відповідати ДСТУ 7234:2011.

Пристрої котрі будуть використовують під час процесу сфероідизації повинні відповідати вимогам системи стандартів електрозварювальної та плазмової обробки.

Монтаж та ввімкнення мережі живлення обладнанням, догляд за його справним станом та ремонтні роботи повинен проводити електротехнічний персонал, що має допуск до електрообладнання не нижче III. Джерела живлення мусять бути підключені до розподільних мереж зі значенням напруги не нижче 600 В.

Мобільні джерела живлення, під час пересування необхідно вимикати з мережі. Порял з роз'ємами для ввімкнення джерел, повинне бути попередження «Мережа!». На видному місці корпуса джерела мусить бути нагадування «Без заземлення не вмикати!».

З'єднування джерела живлення з плазмотроном повинно здійснюватись кабелями. Устаткування повинно бути обладнане вольтметром.

Металеві компоненти, які можуть бути під напругою, повинні бути заземлені. Кожен окремий елемент устаткування повинен бути оснащений власним проводом заземлення, який під'єднаний до магістрального заземлення. Виконання робіт по монтажу захисного заземлення, повинні бути регламентовані згідно ДНАОП 0.00-1.32-01. Граничні значення напруг та струму, мають відповідати ДСТУ ГОСТ 12.1.038:2008. До устаткування можуть допускатись лише особи, які попередньо ознайомились з технічною документацією і які отримали інструктаж з охорони праці та експлуатації обладнанання. Номінальне значення напруги холостого ходу джерела живлення, не повинне перевищувати дозволені значення. При відхилені значення напруги холостого ходу в сторону збільшення цього значення, то джерело необхідно обладнати спеціальним пристроєм, який понизить це значення назад в межі норми. Пристрій котрий зменшує значення напруги холостого ходу до значень, котрі допустимі робочими умовами зварювання, коли значення опору зовнішнього контуру кола перевищує показник в 200А – протягом 2 с для середовища , котре має підвищену небезпеку ураження електричним струмом, якщо початкове значення напруги холостого ходу вище необхідного значення, але нижче для середовища без підвищеного ризику ураження електричним струмом – протягом 0,3 с для середоаища котре немає підвищеного ризику пораження електричним струмом, якщо значення напруги холостого ходу більше за допустиме значення.

7.2.5 Вимоги до робочих місць

Вимоги до облаштування та організації робочих місць описані в ДСТУ ГОСТ 12.2.061-81.

Під час виконання робіт з плазмотронами в одному приміщенні з робітниками, які виконують інші роботи, необхідно провести заходит по виключенню можливосі завдати шкоду шкідливими виробничими факторами.

Розташування і укомплектування робочого місці, поверхні та органів управління та контролю має бути регламентоване згідно ДСТУ 8604:2015 та ДСТУ 7950:2015.

Робоче місце, де працівник проводить попередній нагрів металу, повинне обладнуватись захисним екраном, які потрібні для зменшення опромінення працівника відповідно до ДСН 3.3.6.042-99. Обладнання для плазмотронів, які працюють із захисними газами, необхідно оснащувати захисними екранами, які забезпечують захист працівника від УФ випромінювання.

7.2.6 Метод контролю виконання вимог безпеки

Контроль стану повітря в робочій зоні виконується згідно вимог загальних санітарно-гігієнічних вимог до повітря робочої зони. Перевірка за станом якості повітряного середовища в робочому приміщенні здійснюється шляхом перевірки концентрації вмісту шкідливих сполук у зоні дихання, а також в зоні робочих приміщень. Перевірку якості можна здійснювати згідно методик «Гигиеническая оценка сварочных материалов и способов сварки, наплавні и резки металлов» № 1924-78 та «Методические указаний на определение вреднних веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы)» № 4945-88.

Перевірка і контроль за температурою робочих поверхонь у виробничих дільницях, а також рівень інфрачервоної радіації потрібно перевіряти згідно до ДСН 3.3.6.042-99.

Перевірку систем вентиляції у виробничих цехах необхідно проводити за допомогою методу аеродинамічного випробування згідно ДСТУ Б А.3.2-12:2009.

Освітленість виробничних дільниць необхідно вимірювати згідно до СН 245-71. Проте паралельно з цим потрібно дотримуватись вимог ДБН В.2.5-28-2006. Контроль за тим, в якому стані знаходиться

електрообладнання, та перевірку за безпечною експлуатацією відбувається згідно до ДНАОП 0.00-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», ДНАОП 1.1.10-1 01-97, ДНАОП 0.00-1.21-98 та ДНАОП 1 1.10-1.07-01.

Проводити перевірку відповідності значення величини напруженості магнітного та електричного поля допустимим величинам, необхідно в тому випадку, коли відбувались зміни в конструкцію обладнання, схему підключення та засобів захисту і при облаштуванні нового робочого місця.

Контроль за пожежною безпекою та вибухонебезпечністю речовин та матеріалів необхідно проводити відповідно до ДСТУ 8828:2019. Слід проводити регулярний контроль концентрації горючих і легкозаймистих речовин, яка повинна бути меншою 50% нижньої межі вибуховості.

Засоби індивідуального захисту робітників необхідно регулярно піддавати регулярному огляду та перевірці з регулярністю встановленою згідно технічної документації до кожного окремого екземпляра.

7.3. Пожежна безпека

Процеси зварювання, та усі споріднені йому процеси повинні відбуватись лише згідно до вимог вимог таких нормативних документів: ДНАОП 0.00-1.32-01, та ДБНВ. 1.1 -7-2002. «Правила пожарной безопасности при проведений сварочных и других огневых работ на объектах народного хозяйства» та Типовими правилами пожежної безпеки для промислових підприємств.

Вимоги до систем противибухового та протипожежного захисту споруд та будівель регламентуються.

Категорію виробництва за пожежною, вибуховую та пожежовибуховою небезпекою, необхідно приймати згідно спеціальних відомчих переліків, які затверджені міністреставами.

Виробничі дільниці та приміщення, в яких виконуються роботи з киснево – ацетиленового різання або зварювання необхідно віднести до виробництв категорії Г.

Необхідна кількість вогнегасників та іншого первинного обладнання для пожежогасіння встановлюється та реглмаентується відповідно до вищесказаних норм та регламентів.

Місце призначене для проведення зварювальних, або суміжних робіт, повинні бути очищені від легкозаймистих матеріалів в радіусі більше 5м.

8. **ВИСНОВОК**

На мою думку в даній роботі були розкриті головні завдання, які були поставлені. А саме, була розроблена установка на базі вже готового обладнання, яка потребує незначної модернізації. Це дозволить зробити прототип з мінімальною кількістю затрат, при тому без компромісів з конструктивної точки зору, так як «Булат» оснащений відразу більшістю необхідних вузлів.

Також була запропонована компоновка плазмотронів, яка повинна забезпечити найбільш контрольовану зону термічною обробки. Проте слід зауважити, що це в даний момент лише концепція, а реальні результати будуть доступні лише після запуску готового прототипу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник.– К.: Основа, 2010. – 240 с

2. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

3. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

4. ДСТУ 7239:2011. Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

5. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

6. ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.

7. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.

8. ДНАОП 0.00-1.07-94. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давленим.

9. НАПБ Б.03.002-2007. Визначення категорії приміщень, будинків там зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

10. Boulos M. Plasma power can make better powders // Metal Powder Report. 2004. . - Vol. 59, iss. 5. – P. 16–21.

11. Дресвин С. В. Основы теории и расчета высокочастотных плазмотронов / С. В. Дресвин . – Л.: Энергоатомиздат. Ленигр.отд-ние, 1991. – 312 с.

12. Гугняк А. Б. Плазменные процессы получения сферических порошков тугоплавких материалов / А.Б. Гугняк, Е. Б. Королева, И. Д Кулагин и др. // Физика и химия обраб. материалов. – 1967. – №4. – С. 40 – 45.

13. Донской А.В. Электро-плазменные процессы и установки в машиностроении / А.В. Донской, В.С. Клубникин. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. – 221. с.
14. Кузнецов В.Д. Технологыя та устаткування наплавлення деталей / Кузнецов В.Д. Гедрович А.І. Жидков А.Б. Воронков К.В.// Вид-во Східноукр. Нац. Ун-ту ім.В.Даля. – 2005. – 253 с.