

УДК 621.791.72.629.78

№ держреєстрації

Інв. №

Національна академія наук України
Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона
(ІЕЗ ім. Є.О.Патона)
03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11;
тел. (044) 205-23-70

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ІЕЗ ім. Є.О.Патона
академік _____ Б.Є. Патон
2018.12.01

**ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**

**РОЗРОБКА СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ АПАРАТУРИ ДЛЯ РУЧНОГО
ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ЗВАРЮВАННЯ ПРИ ПРОВЕДЕННІ
МОНТАЖНИХ І РЕМОНТНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ З
УРАХУВАННЯМ ФІЗИЧНИХ УМОВ НА ПОВЕРХНІ МІСЯЦЯ
(проміжний)**

**«Цільова комплексна програма НАН України з наукових космічних
досліджень на 2018-2022 рр.»**

Науковий керівник роботи
академік

Б.Є.Патон

Відповідальний виконавець
д-р техн. наук

Ю.А.Асніс

2018 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР
директор інституту
академік

Б.Є.Патон

Зав. відділу
д-р техн. наук

Ю.А.Асніс
(реферат, глава 1, висновки)

Виконавці:

Ст. наук. співроб.,
к. т. н.

Ю. В. Зубченко
(глави 1, 2, 3, 5)

Наук. співроб.

І.І. Статкевич
(глави 2, 3,5)

Зав. групи

Б.І. Перепеченко
(глава 5)

Інж.-конструктор 1 кат.

Т.М. Харківська
(глава 5)

Мол. наук. співроб.,

С.О. Глушак
(глави 3)

Мол. наук. співроб.

Т.О. Лікаренко
(глави 3)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 25с, 5 рис, 1табл.

В рамках Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2018-2022 рр. розроблені технічне завдання та ескізний і робочий проекти спеціалізованої електронно-променевої гармати для проведення монтажних і ремонтно-відновлювальних робіт на поверхні Місяця.

Розроблена електронно-променева гармата відрізняється від раніше розроблених підвищеною потужністю електронного пучка (до 2,5 кВт), з'єднанням з джерелом живлення із допомогою гнучкого високовольтного кабелю, застосуванням автономного швидкозмінного катодного вузлу із терміном його заміни не більше 3,5 хв.

На відміну від раніше використовуваних гармат з діодними емісійними системами та прямонакальними катодами нова гармата оснащена тріодною емісійною системою з катодом типу таблетки (із гексабориду лантану або танталу), який підігрівається електронним бомбардуванням, а безінерційне керування струмом пучка відбувається зміною керуючої напруги на фокусуєчому електроді.

Завдяки високій якості формування пучка в синтезованій емісійній системі та, як результат, підвищеній щільності струму пучка в місці зварювання (до 9 кВт/мм²) гармата буде спроможна виконувати зварювання та різання алюмінієвих сплавів товщиною до 6 мм, титанових сплавів та нержавіючих сталей товщиною до 5 мм.

В гарматі застосований також пристрій для компенсації просторового заряду пучка в просторі його дрейфу на поверхні Місяця, де навколишній вакуум досягає 10^{-13} торр.

ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВЕ ЗВАРЮВАННЯ, МАЛОГАБАРИТНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВА ГАРМАТА, ТРІОДНА ЕМІСІЙНА СИСТЕМА ШВИДКОЗМІННИЙ КАТОДНИЙ ВУЗОЛ, ВАКУУМ, НАТІКАННЯ.

Умови отримання звіту:

за договором: 03171, м. Київ-171, вул. Антоновича, 180, УкрІНТЕІ.

ЗМІСТ

СПИСОК АВТОРІВ	2
РЕФЕРАТ	3
ЗМІСТ	4
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	5
ВСТУП	6
1. МЕТА І ЗАВДАННЯ РОБОТИ	8
2 РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ І ТЕХНІЧНИХ ПРОПОЗИЦІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ГАРМАТИ, ЯКА БУДЕ ВИКОРИСТАНА ПРИ ПРОВЕДЕННІ МОНТАЖНИХ І РЕМОНТНО-ВІДНОВЛЮВАНИХ РОБІТ З УРАХУВАННЯМ ФІЗИЧНИХ УМОВ НА ПОВЕРХНІ МІСЯЦЯ	9
2.1 Специфічні фізичні умови на поверхні Місяця	9
2.2 Розробка технічного завдання на створення гармати для ручного електронно-променевого інструменту при умовах на поверхні Місяця	9
3 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВАКУУМУ НА ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ПУЧКА	12
3.1 Умови проходження електронного пучка в гарматі	12
3.2 Пошуки факторів, сприяючих погіршенню вакууму в просторі дрейфу	14
4 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ГАРМАТИ	18
4.1 Аналіз шляхів підвищення щільності струму в фокальній площині пучка	18
5 РОЗРОБКА ЕСКІЗНОГО ТА РОБОЧОГО ПРОЕКТІВ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ГАРМАТИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЗВАРЮВАННЯ НА ПОВЕРХНІ МІСЯЦЯ	21
5.1 Розробка ескізного проекту електронно-променевої гармати	21
ВИСНОВКИ	24
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	25

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

$U_{прск}$ – прискорена напруга, **B**;

I_n – струм електронного пучка, **mA**;

LaB_6 – лантан-боридний катод;

Kp – кросовер;

Φ_n – фокальна площа;

$La-кр.$ – відстань анод – кросовер **мм**;

T_k – абсолютна температура катоду, **K**;

$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ – заряд електрона, **Кл**;

k – стала Больцмана;

j_k – щільність струму емісії, **A/мм²**;

γ_1 – кут збіжності пучка в кросовері, **Рад**;

C – нахил фазової характеристики, **Град.**;

$l/c = l_c$ – відстань від фазової площини, **мм.**;

$\mathcal{E}(r)$ – відхилення фазової характеристики від лінійної, **Град.**;

$\gamma_1 \dots \gamma_{10}$ – кути нахилу траєкторій до осі z (для параксіального пучка, **Град**);

r – радіус кросовера, **мм**;

\mathcal{E} – діелектрична проникливість, **B**;

$U_{пр.}$ – пробивна напруга, **B**;

Q_m – заряд конденсатора із пластинкою з діелектрика, **B**;

Q_b – заряд конденсатора в вакуумі, **B**;

P_v – питомий об'ємний опір, **Ом**;

ВСТУП

В останні роки в космічній тематиці все більший акцент робиться на питаннях колонізації Місяця. В цих питаннях не останню увагу приділяють вирішенню проблем, пов'язаних із забезпеченням достатніх життєвих умов для астронавтів, із побудуванням та збиранням на місці великої кількості технічних приладів та споруд. Перспективи створення та відновлення різних конструкцій в умовах космосу зумовлюють потребу в розробці ефективного та компактного зварювального інструменту, найбільш прийнятною для якого може стати апробована в умовах вакууму навколоземного простору технологія електронно-променевого зварювання.

Електронно-променево зварювання має ряд незаперечних переваг для використання в умовах космічного простору, серед яких найважливішими є його пристосованість до роботи в вакуумі, практично еталонна якість з'єднань найважливіших аерокосмічних матеріалів - сплавів титану, алюмінію і нержавіючої сталі, в тому числі різнорідних та важко зварюваних, а також матеріалів з високою теплопровідністю і навіть природних металевих та нематалевих матеріалів космічного походження. Даний метод дозволяє досягати максимальної глибини проплавлення незалежно від типу матеріалу і стану його поверхні, має прекрасну енергетичну ефективність і може бути використаний також в процесах наплавлення, пайки, різання, нанесення покриттів і адитивних технологіях. Нарешті, електронно-променево зварювання було неодноразово успішно апробовано в реальних умовах космосу, а аспекти його безпечного використання детально досліджені в ході наземних випробувань.

Жорсткі фізичні умови на поверхні Місяця накладають відповідні обмеження на використовувані конструктивні матеріали розроблюваної апаратури та її експлуатаційні можливості. Головними з цих умов є надвисокий вакуум (до 10^{-13} торр), коливання температури вдень і вночі

(відповідно $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$), відсутність магнітного поля та зменшення порівняно із земним сили тяжіння у 6 разів.

На даному проміжному етапі робіт були проведені попередні розрахунки та дослідження формування електронного пучка у гарматі з урахуванням надвисокого вакууму та коливання температур у навколишньому середовищі на поверхні Місяця. Були розроблені ескізний та робочий проекти гармати, яка пристосована для роботи у складі ручного інструменту для електронно-променевого зварювання та споріднених технологій на поверхні Місяця.

1. МЕТА І ЗАВДАННЯ РОБОТИ

Метою проекту є розробка спеціалізованого обладнання для електронно-променевого зварювання при виконанні монтажних і ремонтно-відновлювальних робіт на поверхні Місяця при будівництві та експлуатації довготривалих місячних баз (ДМБ) і інших об'єктів.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати наступні роботи, розрахунки та дослідження:

- розробити технічне завдання на створення нового покоління гармати для ручного електронно-променевого інструменту при проведенні технологічних робіт на поверхні Місяця;
- експериментальними та розрахунковими методами розробити способи компенсації просторового заряду пучка в області його дрейфу в умовах надвисокого вакууму в навколишньому середовищі на поверхні Місяця;
- розрахувати та розробити тріодну емісійну систему гармати для ручного електронно-променевого інструменту;
- розробити ескізний проект гармати з тріодною емісійною системою;
- розробити конструкторську документацію на виготовлення гармати з тріодною емісійною системою для ручного електронно-променевого інструменту при проведенні технологічних робіт на поверхні Місяця.

2 РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ І ТЕХНІЧНИХ ПРОПОЗИЦІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ГАРМАТИ, ЯКА БУДЕ ВИКОРИСТАНА ПРИ ПРОВЕДЕННІ МОНТАЖНИХ І РЕМОНТНО-ВІДНОВЛЮВАНИХ РОБІТ З УРАХУВАННЯМ ФІЗИЧНИХ УМОВ НА ПОВЕРХНІ МІСЯЦЯ

2.1 Специфічні фізичні умови на поверхні Місяця

Жорсткі фізичні умови на поверхні Місяця суттєво впливають на специфіку виконання монтажних та ремонтно-відновлюваних робіт, таких як зварювання, різання, паяння та нанесення покриттів. Це в свою чергу вимагає забезпечення специфічних характеристик обладнання, призначеного для реалізації різних технологічних процесів в умовах Місяця.

Запропонована концепція: створити новий ручний електронно-променеви́й інструмент, який містить електронно-променеву гармату, яка з'єднується з джерелом живлення за допомогою високовольтного гнучкого кабелю з роз'ємом і матиме можливість формувати гострофокусний пучок діаметром не більше 1 мм в фокальній площині на відстані до 80 мм без застосування фокуруючої електромагнітної лінзи, що дасть змогу оператору виконувати технологічні процеси без надмірних зусиль і забезпечить зручне спостереження за ними при достатній відстані від місця об'єкту.

2.2 Розробка технічного завдання на створення гармати для ручного електронно-променевого інструменту при умовах на поверхні Місяця

Технічне завдання на створення електронно-променевого інструменту нового покоління розроблено згідно календарного плану теми №35/69 і являється основним документом вихідних даних для розробки технічної документації (ескізного і робочого проєктів).

В якості прототипів для створення нового інструменту взяті діючі технологічні макети електронно-променевих гармат У-729 та ПЛ-101, які пройшли випробування в наземних умовах, в термобарокамері і на літаючій

лабораторії ТУ-104А. На відміну від діодних прямонакальних гармат, які використовувались в інструментах «УРІ» та «Універсал» у складі моноблоку з джерелом живлення, а також від діодної гармати з непрямым підігрівом лантанборидного катода У-729, нова гармата повинна мати тріодну емісійну систему, підключену до високовольтного джерела живлення гнучким високовольтним кабелем з роз'ємом. Космонавт-оператор у такому випадку буде працювати в ручному режимі тільки з малогабаритною гарматою невеликої ваги, яка повинна бути оснащена швидкозмінним катодним вузлом, що спрощує заміну витратних комплектуючих без додаткового юстирування їх. Така гармата дозволить також споживати менший струм (5...10 А) в накальній мережі для підігріву лантанборидного катода порівняно з діодними прямонакальними гарматами, які неможливо підключити до джерела живлення гнучким кабелем з малим перетином з причини великого струму (18...20 А) для безпосереднього нагрівання катода.

Вихідні дані для створення нової ручної гармати для використання в умовах Місяця мають наступні значення:

1. Прискорювальна напруга до 10 кВ;
2. Струм пучка 0...250 мА;
3. Тип емісійної системи тріодна;
4. Напруга запирання 0... 2,0 кВ;
5. Конструкція катодного вузла швидкозмінний;
6. Спосіб підігріву катода електронне бомбардування;
7. Напруга електронного бомбардування 800...1200 В;
8. Струм електронного бомбардування 0...100 мА;
9. Напруга розжарення підігрівача 2...5 В;
10. Струм розжарення підігрівача..... до 10 А;
11. Матеріал катода LaB₆, Та, W;
12. Фокусування електростатичне, довгофокусне;
13. Діаметр фокуса до 1, 0 мм;
14. Робоча відстань до 85 мм;

15. Матеріал ізоляторів Al_2O_3 ;
16. Габарити гармати довжина: не більше – 250 мм;
діаметр: не більше – 80 мм;
17. Маса 2, 5 кг.
18. Ресурс роботи катоду до 40 годин;
19. Час заміни швидкозмінного катодного вузла до 3,5 хвилин.;
20. Час безперервної роботи гармати
(при включеному накалі катоду) до 10 хвилин;
21. Час охолодження гармати між
включеннями накалу катоду до 15 хвилин.

Ручна електронно-променева гармата повинна комплектуватися пристроєм – «гардою» для захисту руки оператора від м'якого рентгенівського опромінювання.

Також ручна гармата повинна комплектуватися захисною решіткою, яка монтується на анодному блоці гармати і захищатиме оператора від торкання розпечених поверхонь цього блоку.

3 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВАКУУМУ НА ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

3.1 Умови проходження електронного пучка в гарматі

Формування електронного пучка в емісійній системі гармати відбувається під дією електричного поля в прискорювальному проміжку цієї системи, а саме між катодом, фокусуєчим електродом та анодом з урахуванням відштовхуючої дії на електронні траєкторії просторового заряду пучка. При цьому у прискорювальному проміжку емісійної системи гармати, як і на всьому шляху електронів від катоду до зварювального виробу, відбувається іонізація залишкового газу електронами пучка, яка характеризується часом іонізації τ_i [1]:

$$\tau_i = \frac{0.169}{P \cdot \varepsilon_i(U_{np.}) \sqrt{U_{np.}}} \quad (1)$$

де: P - тиск у просторі прольоту електронного пучка; $\varepsilon_i(U_{np.})$ - відносна іонізація; $U_{np.}$ - прискорювальна напруга.

При звичайному робочому тиску у прискорювальному проміжку порядку $5 \cdot 10^{-3}$ Па утворені тут позитивні іони швидко покидають його, тобто під дією прискорювальної напруги летять на катод, не встигаючи вплинути на негативний просторовий заряд пучка. Як результат – компенсації цього заряду іонами тут не відбувається.

Після виходу з анодного каналу електронний пучок далі проходить у напрямку до зварюваного виробу у так званому просторі дрейфу, у якому немає будь-якого зовнішнього електричного поля. У цьому проміжку електрони летять за інерцією із швидкістю V_e , яку придбали у прискорювальному полі емісійної системи гармати. При малих швидкостях (тобто далеких від швидкості світла) маємо [2]:

$$V_e = 5,95 \cdot 10^7 \cdot \sqrt{U_{np.}} \quad (2)$$

де: V_e – швидкість електронів, см/сек; U_{np} – прискорювальна напруга, В.

При проходженні пучка електронів в середовищі залишкових газів та пари матеріалу зварюваного виробу мають місце як парні, так і колективні взаємодії. В цих умовах визначаючим фактором стає знак потенціалу на осі пучка, який залежить від співвідношення $\tau_{i.dp}/\tau_i$ ($\tau_{i.dp}$ – час присутності створених іонів на вісі пучка у просторі дрейфу). При $\tau_{i.dp}/\tau_i > 1$, коли іони швидко видаляються та повільно створюються, просторовий заряд пучка має залишатися не скомпенсованим. При $\tau_{i.dp}/\tau_i < 1$, іони швидше народжуються, ніж видаляються і пучок стає повністю скомпенсованим, тобто його власний негативний просторовий заряд повністю нейтралізований. Той чи інший механізм компенсації цього заряду при рівних інших умовах в першу чергу залежить від ступеня вакууму у просторі дрейфу.

Так, наприклад у звичайних наземних промислових електронно-променевих зварювальних установках ступінь вакууму у робочих вакуумних камерах не перевищує $6 \dots 8 \cdot 10^{-5}$ торр. В цих умовах у просторі дрейфу пучка настає повна компенсація його просторового заряду і пов'язана з цим можливість досягнення значної питомої потужності півка в місці зварювання, що обумовлене тим, що просторовий заряд при цьому не обмежує мінімальний перетин пучка в фокальній площині.

Однак, як показали численні дослідження, при тиску у просторі дрейфу гармати нижче $(2 \dots 5) \cdot 10^{-5}$ торр (що можливо практично в умовах на поверхні Місяця) просторовий заряд електронного пучка може бути значно недокомпенсованим. В результаті цього матиме місце значне розширення пучка в просторі дрейфу та відповідне зменшення питомої потужності пучка його проплавлення здатності в місці зварювання. Так, наприклад, $5,6 \cdot 10^{-5}$ торр до $2,7 \cdot 10^{-6}$ торр викликає збільшення ефективного радіусу пучка більше ніж у тричі (рис.3.1)

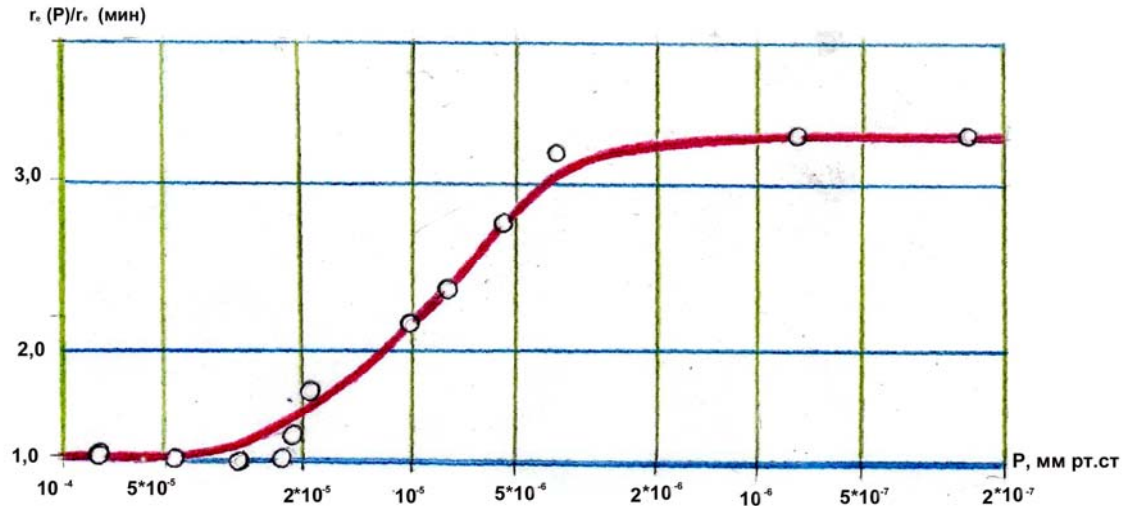


Рисунок 3.1 - Залежність перетину пучка від вакууму:
 $U_{np.} = 15$ кВ; $I_n = 80$ мА; r_e (мін) – ефективний радіус пучка на вході в простір із тиском “ P ”; $r_e(P)$ - ефективний радіус пучка після проходження ним відстані 200 мм у просторі з тиском “ P ”

Таким чином, в умовах Місяця надвисокий вакуум в ($10^{-9} \dots 10^{-11}$ Па) в просторі дрейфу пучка стає визначальним і є основною перепорою для досягнення високої проплавляючої здатності гармати.

3.2 Пошуки факторів, сприяючих погіршенню вакууму в просторі дрейфу

Був поставлений експеримент по оцінці погіршення вакууму в цій зоні за рахунок зустрічного парогазового потоку з розплавленої ванни під час операції зварювання. Експеримент проводився в наземних умовах у вакуумній камері.

Суть експерименту полягає в наступному (рис. 3.2). У вакуумній камері на маніпуляторі була вертикально закріплена електронно-променева гармата ПЛ 101. На робочій відстані гармати $L_{роб} = 100$ мм на робочому столі встановили водоохолоджувальну мідну мішень, у центральне заглиблення якої був вкладений штифт з алюмінієвого сплаву АМг6.

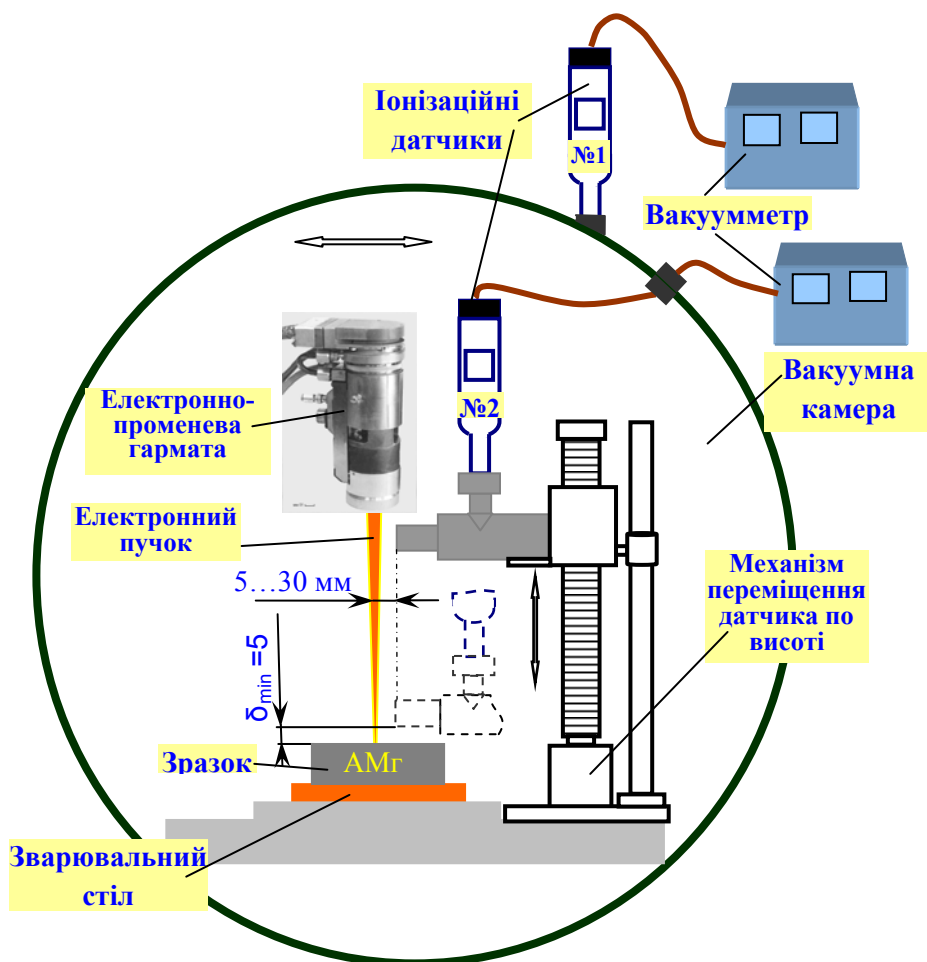


Рисунок 3.2 - Схема експерименту з оцінювання погіршення вакууму в просторі дрейфу пучка

На спеціальному механізмі вертикального переміщення був закріплений горизонтально вакуумний іонізаційний датчик №1 (ПМИ-2), зорієнтований своїм вхідним отвором до спільної вертикальної осі гармата – штифт. Такий же датчик №2 (ПМИ-2) був встановлений для замірювання загального вакууму всередині камери.

Експеримент починався з того, що в процесі відкачування камери досягали однакових показань ступеню вакууму в обох датчиках (№1 та №2). Після цього включали електронний пучок з малим струмом, переміщали гармату до поєднання пучка з центром штифта. Датчик №1 вертикальним його переміщенням підводили максимально впритул до поверхні штифта. Включали струм пучка 80 мА, фокусували його на штифті і починали переміщення датчика №1 знизу до верху, фіксуючи показання цього датчика в залежності від вертикальної координати його розміщення. При цьому наближали вхідний

отвір датчика №1 максимально близько до периферії пучка. Заміри показань датчика №1 робили вздовж усього його вертикального переміщення від мішені до нижнього торця гармати. При цьому слідкували за тим, щоб датчик №2 не змінював своїх показань в сторону підвищення загального тиску в камері.

Експеримент повторювали декілька разів в діапазоні струмів пучка від 40 мА до 120 мА.

В процесі експерименту було одержано, що просторовий розподіл щільності парогазового потоку з місця взаємодії пучка з матеріалом штифта наближається до функції косинуса вищого порядку $\Phi(\alpha) = \Phi_0 \cdot \cos^n(\alpha)$, (де $n=2,5 \dots 3,0$) оскільки під реактивним тиском парогазового потоку з поверхні розплавленої ванни ця поверхня прогинається і перестає бути плоскою, що призводить до зменшення кута розкриття парогазового факелу.

Головний результат проведеного експерименту полягає в тому, що вздовж осі електронного пучка в напрямку від місця зварювання до нижнього торця гармати (тобто на протязі робочої відстані гармати) вакуум погіршується не більше, ніж на порядок порівняно з вакуумом у навколишньому середовищі вакуумної камери (в умовах проведеного експерименту з $4 \cdot 10^{-5}$ до $4 \cdot 10^{-4}$ торр). Якщо застосувати ці результати до умов Місяця, то стає зрозумілим, що таке погіршення вакууму є неефективним, щоб запобігти розширенню пучка у просторі дрейфу. Звідси виникає висновок, що треба застосовувати додатковий, набагато ефективніший спосіб погіршення вакууму у просторі дрейфу гармати.

З цією метою було запропоновано, з нашого погляду, набагато ефективніший і одночасно простіший спосіб погіршення вакууму в просторі дрейфу, а саме, регульована подача газу безпосередньо в простір дрейфу, при тому, що сам простір дрейфу має бути обмежений на всій його довжині стінками променепроводу. Подача газу може відбуватися від невеликого балону, який може бути розташований на корпусі гармати або на робочому місці оператора-зварника в затемненій зоні і приєднаний до променепроводу гармати за допомогою тонкого і легкого шлангу паралельно з низьковольтними кабелями. Управління подачею газу з балона може здійснюватися за допомогою інжектора (наприклад, типу автомобільного) самим оператором-зварником,

використовуючи додаткову кнопку на рукоятці зварювального інструменту або кнопкою на виносному пульті управління інструментом, закріпленому поблизу зони проведення робіт.

Запропоноване обладнання може стати також корисним у ролі ефективного охолоджувача зварювальної гармати у часи, коли після завершення зварювальної операції, або її частини треба скоріше охолодити гармату перед наступним етапом зварювальних робіт. Для цього між зварювальними сеансами закривають вихідний отвір променепроводу та вихідний канал диференційного відкачування і вмикають подачу газу у променепровід. При цьому охолоджений газ через отвір у аноді вдувається у внутрішню порожнину гармати і безпосередньо і швидко охолоджує найбільш теплонавантажені деталі та вузли гармати, а саме анод, катод, підігрівач, деталі високовольного ізолятора і швидкозмінного катодного вузлу. У такій функції газ, який подається у гармату для проміжного охолодження, може забезпечити охолодження гармати за 10-15 хвилин після попередньої безперервної роботи протягом 5-10 хвилин.

Одним із способів охолодження гармати як під час її роботи, так і під час перерви між робочими етапами може бути використання в її конструкції так званих теплових труб. З допомогою останніх можливо відтягування зайвого тепла від теплонавантажених вузлів гармати до елементів її власної конструкції або допоміжних пристроїв, які в цей час знаходяться в тіні, або завдяки спеціальним покриттям та механічній обробці мають високі випромінюючі або віддзеркалюючі властивості.

Треба зауважити, що одержання газу для закачування його компресором у згадані балони можна буде одержувати безпосередньо в умовах Місяця при розкладі гірських порід з допомогою електронного пучка, використовуючи розроблену гармату.

4 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ГАРМАТИ

4.1 Аналіз шляхів підвищення щільності струму в фокальній площині пучка

З метою максимального підвищення ефективності апаратури при одночасному забезпеченні її мінімально можливих масо-габаритних характеристик одним з етапів розробки апаратури було розроблення нової електронно-оптичної системи гармати.

Як зазначалось вище у технічному завданні, електронно-оптична система ручної гармати повинна мати тільки одну складову – тріодну емісійну систему, яка складається з катоду, фокусуєчого електроду та аноду.

При розробці нової емісійної системи нами була використана добре апробована методика, яка базується на одночасному рішенні задач аналізу і синтезу [5].

Згідно з методикою, емісійна система будується з початковим використанням її необхідних геометричних та електричних параметрів, таких як прискорююча напруга, кут α збігання променя перед кросовером, діаметр катоду типу «таблетка» з плоскою емісуючою поверхнею, наявність реальних конструктивних елементів фіксації катоду в його утримувачі, конфігурація кільцевого проміжку між катодом та фокусуєчим електродом та приблизна проста форма аноду.

Одержані в результаті розрахунків контури фокусуєчого електроду та розташування аноду в апроксимуємо комплексом простих для виготовлення поверхонь (конічних, циліндричних) (рис. 4.1). В завершення виконуємо траєкторний аналіз апроксимованої емісійної системи і одержуємо шуканий струм пучка $I_w = 250$ мА при напрузі запирання $U_m = -70$ В на фокусуєчому електроді.

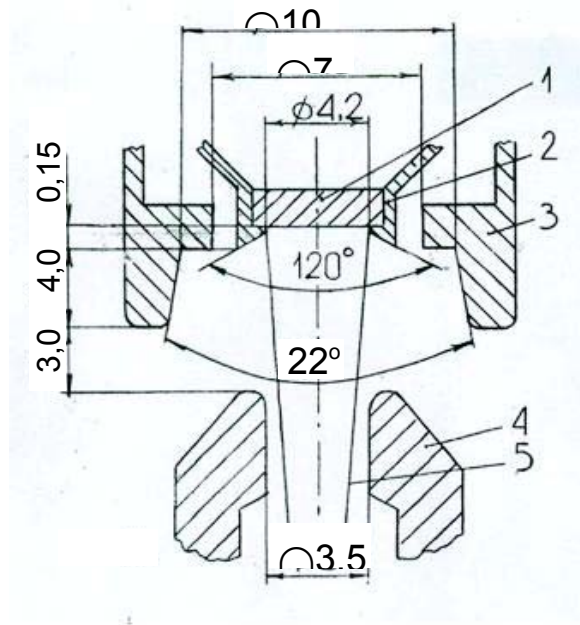


Рисунок 4.1 – Нова довгофокусна тріодна емісійна система електронно-променевої гармати, $U_{np.} = 10$ кВ, $I_w = 250$ мА:

1 – катод; 2 – тримач катоду; 3 – фокусуючий електрод; 4 – анод;
5 – контур електронного променя

Інформацію про розміри і розташування кросовера одержуємо шляхом розбудови фазового паралелограма по результатах розрахунків згідно з методикою (рисунок 4.2).

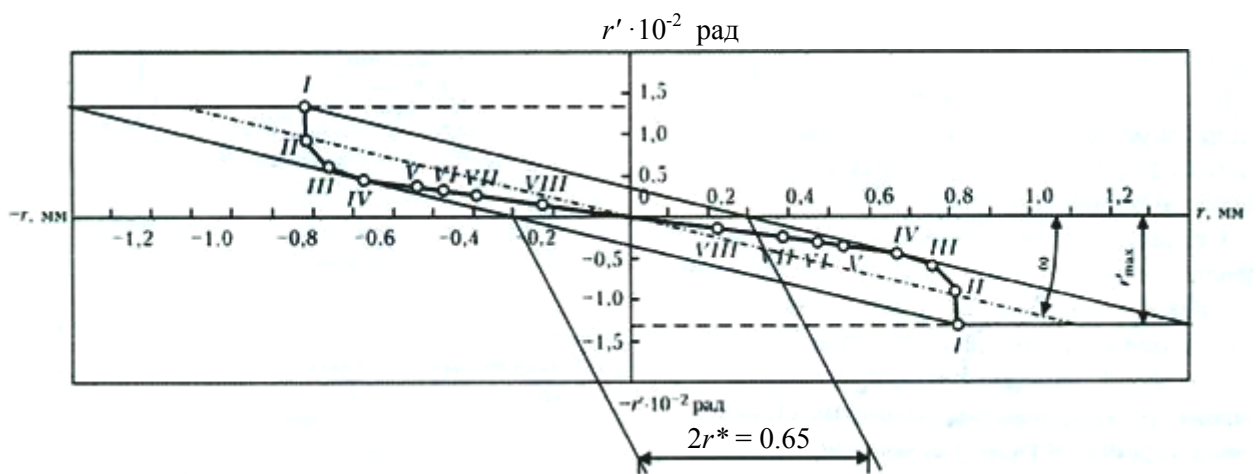


Рисунок 4.2 - Фазовий паралелограм, побудований за результатами траекторного аналізу апроксимованої емісійної системи

З аналізу фазового паралелограму одержуємо робочу відстань гармати $l_{роб} = 90$ мм (від виходу пучка з аноду до кросовера, тобто до місця зварювання).

При цьому в завданні нами були прийняті такі обмеження:

- плоский катод типу таблетки із гексобориду лантану діаметром емітуючої поверхні 4,2 мм;
- кільцевий опорний бурт в утримувачі катоду висотою 0,15 мм
- кільцевий проміжок між у тримачем катоду та фокусуючим електродом шириною 0,65 мм;
- плоский анод з центральним отвором діаметром 3,5 мм.

Задані та одержані результати за параметрами емісійної системи викладені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Результати за параметрами емісійної системи

Параметр	Задане значення	Одержане значення
Первеанс, $A/V^{3/2}$	$\leq 0,2 \cdot 10^{-6}$	$0,2 \cdot 10^{-6}$
Потужність пучка, кВт	$\geq 2,0$	2,5
Щільність потужності в кросовері, kW/mm^2	$\geq 6,0$	6,5
Половинний кут збігання пучка в кросовері, рад	$\leq 2 \cdot 10^{-2}$	$1,25 \cdot 10^{-2}$

5 РОЗРОБКА ЕСКІЗНОГО ТА РОБОЧОГО ПРОЕКТІВ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ГАРМАТИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЗВАРЮВАННЯ НА ПОВЕРХНІ МІСЯЦЯ

5.1 Розробка ескізного проекту електронно-променевої гармати

З використанням одержаних експериментальних та розрахункових результатів був розроблений спочатку ескізний, а за ним і робочий проект електронно-променевої гармати, призначеної для зварювання та споріднених технологій в умовах Місяця.

При цьому гармата не повинна мати рідинної охолоджувальної системи, як це робиться у звичайних промислових зварювальних гарматах, при тому, що як і в згаданих звичайних гарматах, катод і підігрівач в робочих умовах розжарені до тієї ж температури 1800°C (катод з гексобориду лантану) і 2000°C (вольфрамова спіраль накаливання).

У зв'язку з високими робочими температурами згаданих вище теплонавантажених деталей та вузлів на стадії ескізного проектування було запропоновано високовольтний ізолятор та ізолятор швидкозмінного катодного вузлу зробити з суцільних заготовок з корунду, які після відливання їх в прес-формах і доробки шліфуванням головних посадкових місць були б конструктивно готові для сполучення з відповідними деталями гармати (корпусом, деталями швидкозмінного катодного вузлу). При цьому в конструкції ізолюючих вузлів не застосовувались будь-які температурно-нестійкі матеріали, а тільки корунд і метал (переважно ковар та нержавіюча сталь або титан).

На етапі розробки робочого проекту було запропоновано збирати головні ізолюючі вузли гармати з найпростіших по формі корундових деталей, таких як кільця та труби.

Гармата в цілому скомпонована з окремих функціональних блоків (рисунок 5.1).

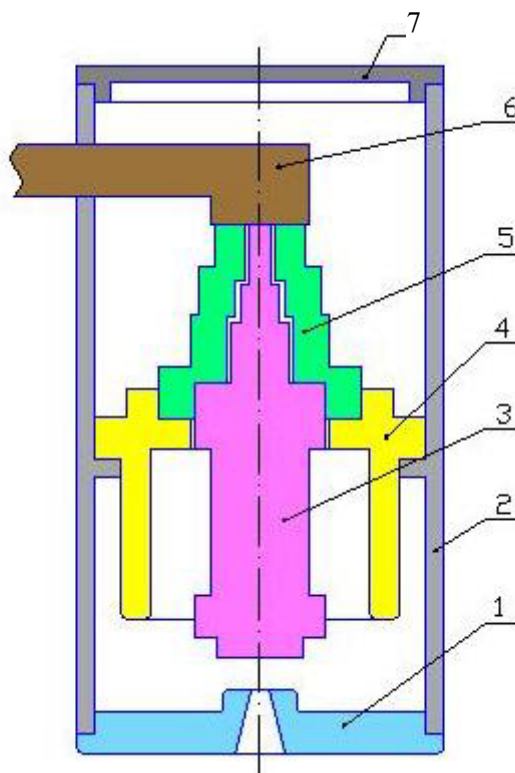


Рисунок 5.1 - Загальна компоновка нової електронно-променевої зварювальної гармати

1 – анодний блок; 2 – корпус; 3 – з'ємний катодний вузол;
 4 – високовольтний ізолятор; 5 – головний ізолятор катодного вузла;
 6 – високовольтний ввід; 7 – кришка.

Для роботи гармати в умовах надвисокого навколишнього вакууму (10^{-13} торр) на поверхні Місяця вона оснащена додатковим вузлом, який розташований на виході з аноду. Цей вузол складається з променепроводу, який екранує електронний пучок на всьому його протязі від аноду до місця зварювання, та пристрою, з допомогою якого в середину променепроводу подається газ від малогабаритного газового балону (рис. 5.2). Балон може бути закріплений безпосередньо на корпусі гармати, або на робочому місці оператора-зварника в затемненій зоні і приєднаний до променепроводу з допомогою тонкого і легкого шлангу. Подача газу з балона може здійснюватися з допомогою інжектора (наприклад, типу автомобільного) самим оператором-зварником за допомогою додаткової кнопки на рукоятці зварювального інструменту або кнопкою на виносному пульті управління інструментом, закріпленому поблизу зони проведення робіт.

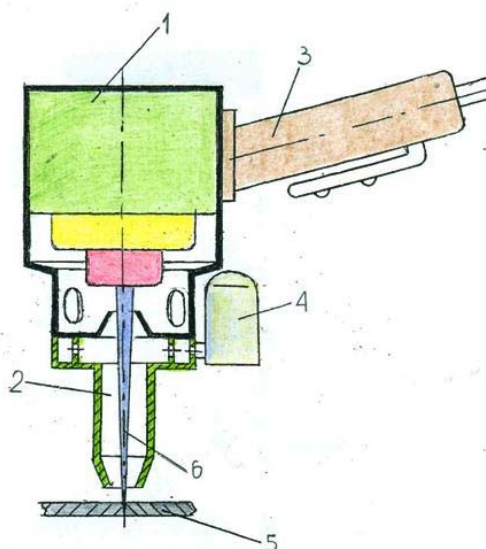


Рисунок 5.2 - Конструкція електронно-променевої гармати для зварювання на поверхні Місяця:

- 1- гармата; 2- променепровід-компенсатор просторового заряду пучка;
- 3-рукоятка; 4- система напуску газу в променепровід;
- 5 – виріб, що зварюється; 6- електронний пучок.

ВИСНОВКИ

1. Розроблена нова конструкція електронно-променевої гармати потужністю 2,5 кВт з прискорюючою напругою 10 кВ для зварювання в умовах на поверхні Місяця.
2. Розраховані та спроектовані тріодні емісійні системи, які формують електронний пучок високої якості, достатньої для здійснення електронно-променевого зварювання різних металів товщиною 4-6 мм.
3. Проведені експериментальні дослідження зміни вакууму у просторі дрейфу гармати, згідно з якими у межах зварювальних параметрів гармати (до 1,5 кВт) при прискорюючій напрузі (10 кВ) розподіл парогазового потоку із зварювальної ванни уздовж осі пучка при переплаві сплаву АМгб підкорюється закону косинуса вищого порядку, а погіршення вакууму на вісі пучка на робочій відстані 100 мм не перевищує одного порядку при загальному вакуумі у вакуумній камері $\sim 5 \cdot 10^{-5}$ торр. Це підтверджує необхідність застосування допоміжних засобів погіршення вакууму у просторі дрейфу пучка для обмеження його розширення в умовах навколишнього вакууму вище 10^{-5} торр.
4. Запропоновані та розроблені варіанти конструкцій гармати, в яких розширення електронного пучка при навколишньому вакуумі вище 10^{-5} торр обмежується завдяки локальному погіршенню вакууму на шляху пучка у просторі дрейфу гармати та на її робочій відстані.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шиллер З., Гайзиг У., Панцер З. Электронно-лучевая технология: Пер. с нем. – М. : Энергия, 1980. – 528с.
2. Электронно-лучевая сварка /Назаренко О.К., Ковбасенко С.Н. и др.; под ред. Б.Е. Патона. – Киев: Наук. Думка, 1987. – 256с.
3. Langmuir D.V. Theoretical limitations of cathode-ray tubes // Proc. IRE. – 1973/ – №25. – p. 977-991.
4. Пакет программы ЭРА для автоматизации электронно-оптических расчетов / Н.И. Горбенко, В.П. Ильин, Г.С. Попова, В.М. Свешников // Численные методы решения задач электронной оптики. – Новосибирск, 1979. – с. 31-60.
5. Акопянц К.С., Зубченко Ю.В. Методика расчета электронно-оптической системы сварочной пушки // Автомат. сварка. – 1979. – №11 – с.33-36.