

Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського»
НАВЧАЛЬНО - НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ
ІНСТИТУТ

Кафедра технології машинобудування

«На правах рукопису»

УДК 621.9

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Олександр ОХРИМЕНКО

(підпис)

(власне ім'я, прізвище)

“___” січня 2024 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Технології машинобудування»

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Забезпечення технологічності конструкції реставраційного варіанту
електронної гармати магнетрона

Виконав: студент 6 курсу, групи МТ-21мп

Руденко Євгеній Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник к.т.н, доц, Фролов В.К.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент к.т.н., доцент Адаменко Юрій Іванович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально – науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра технології машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр Охріменко

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Руденку Євгенію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Забезпечення технологічності конструкції реставраційного варіанту електронної гармати магнетрона

науковий керівник Фролов Володимир Костянтинович, к.т.н, доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 2023 р. №

2. Термін подання студентом дисертації «28» грудня 2023 р.

3. Об'єкт дослідження Конструкція реставраційного варіанту електронної гармати магнетрона

4. Вихідні дані наукові статті, фахова література, наукові дослідження, присвячені НВЧ приладам, їхнім вузлам, конструктивним рішенням, технологіям виготовлення

5. Перелік завдань, які потрібно розробити _____
- 1) Ознайомитися з будовою та принципом роботи магнетронів, розташуванням і функцією приладу МІ-241. _____
- 2) Дослідити конструкцію електронної гармати магнетрона МІ-241, розробити її реставраційний варіант _____
- 3) Провести моделювання фінішної складальної операції _____
6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу 60 ілюстрацій; 20-25 слайдів
- _____
7. Орієнтовний перелік публікацій 2 патенти України на корисну модель
- _____
- _____
8. Дата видачі завдання «15» січня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вибір та затвердження теми роботи	01.02.2023	Виконано
2	Огляд і аналіз літератури за обраною темою	01.03.2023	Виконано
3	Аналіз існуючих технологій виготовлення електронних гармат магнетронів	01.04.2023	Виконано
4	Розроблення реставраційного варіанту електронної гармати	01.09.2023	Виконано
5	Розроблення моделі зварювальної операції, моделювання процесу, оброблення отриманих результатів	01.11.2023	Виконано
6	Розроблення стартап-проекту	01.12.2023	Виконано

Студент

Євгеній РУДЕНКО

Науковий керівник

Володимир ФРОЛОВ

РЕФЕРАТ

Структура та об'єм роботи. Магістерська дисертація має 4 розділи, висновки, список використаної літератури, додатки. Робота складається з 92 аркушів, 32 таблиць, 60 рисунків, 22 літературних джерел.

Актуальність теми. В умовах повномасштабних воєнних дій є дуже актуальним розроблення проєктів ремонту військової техніки та її комплектуючих. Через постійне бойове чергування і, відповідно, швидке зношування приладів, що входять до складу зенітних ракетних комплексів, гостро постає питання як виробництва нових приладів, так і реставрації наявних на зберіганні. Розроблений реставраційний варіант електронної гармати магнетрона представлено у даній магістерській дисертації.

Мета та завдання. Забезпечити технологічність конструкції реставраційного варіанту електронної гармати магнетрона.

Об'єкт дослідження. Реставраційний варіант електронної гармати магнетрона.

Предмет дослідження. Забезпечення технологічності та адаптація до виробничих можливостей підприємства.

Методи дослідження. Аналіз, синтез, симуляція дослідів і випробувань у спеціалізованому програмному середовищі.

Ключові слова. МАГНЕТРОНИ, ЕЛЕКТРОННА ГАРМАТА, НВЧ ПРИЛАДИ, ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВЕ ЗВАРЮВАННЯ.

ABSTRACT

Structure. The master's dissertation has 4 chapters, conclusions, bibliography, appendices. The work consists of 92 sheets, 32 tables, 60 figures, and 22 references.

Relevance of the topic. In the context of full-scale military operations, the development of projects for the repair of military equipment and its components is very relevant. Due to the constant combat duty and, accordingly, the rapid wear and tear of the devices that are components in anti-aircraft missile systems, there is an issue of both: the production of new devices and the restoration of existing ones that are in storage. The developed restoration version of the magnetron electron gun is presented in this master's dissertation.

Purpose and objectives. To ensure the design manufacturability of the restoration version of the electron gun.

Object of research. Restoration version of the electron gun of the magnetron.

The subject of research. To ensure the manufacturability of the appliance and its adaptation to the production capabilities of the factory

Research methods. Analysis, synthesis and simulation of experiments and tests were conducted in a specialized software environment.

Keywords. MAGNETRONS, ELECTRON GUN, MICROWAVE DEVICES, ELECTRON BEAM WELDING.

ABSTRAKT

Struktur. Die Masterarbeit umfasst 4 Kapitel, Schlussfolgerungen, Bibliografie und Anhänge. Die Arbeit besteht aus 92 Seiten, 32 Tabellen, 60 Abbildungen und 22 Quellenangaben.

Relevanz des Themas. Im Rahmen umfassender Militäreinsätze ist die Entwicklung von Projekten zur Reparatur militärischer Ausrüstung und deren Komponenten sehr relevant. Im Zusammenhang mit dem ständigen Kampfeinsatz und dem damit verbundenen schnellen Verschleiß von Geräten, die Teil von Flugabwehrraketensystemen sind, stellt sich sowohl die Frage nach der Produktion neuer Geräte als auch nach der Wiederherstellung bestehender, auf Lager befindlicher Geräte. Die entwickelte Version zur Restaurierung der Magnetron-Elektronenkanone wird in dieser Masterarbeit präsentiert.

Zweck und Ziele. Das Ziel besteht darin, die Fertigungsfähigkeit der restaurierten Version der Elektronenkanone sicherzustellen.

Forschungsobjekt. Restaurierungsversion der Magnetron-Elektronenkanone.

Forschungsgegenstand. Gewährleistung der Herstellbarkeit des Geräts und seine Anpassung an die Produktionskapazitäten der Fabrik.

Forschungsmethoden. Durchführung von Analyse, Synthese und Simulation von Experimenten und Tests in einer speziellen Softwareumgebung.

Schlüsselwörter. MAGNETRONEN, ELEKTRONENKANONE, MIKROWELLENGERÄTE, ELEKTRONENSTRAHLSCHWEISSEN.

ЗМІСТ

Скорочені позначення, що використовуватимуться у дисертації	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1	11
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ГАРМАТ МАГНЕТРОНІВ	11
1.1. Опис магнетрона МИ-241 та його роботи у вузлі	11
1.2. Загальний опис магнетронів	20
1.3. Опис електронної гармати	25
1.4. Застосування зварних з'єднань у складанні електронних гармат	26
1.5. Зварювання кільцевого шва при виготовленні електронної гармати	29
РОЗДІЛ 2	32
РОЗРОБЛЕННЯ РЕСТАВРАЦІЙНОГО ВАРІАНТУ ЕЛЕКТРОННОЇ ГАРМАТИ.....	32
2.1. Підготовка до дослідно-конструкторських робіт.....	32
2.2. Демонтаж електронної гармати, розрізання приладу	40
2.3. Вимірювання габаритних розмірів, розрізання електронної гармати, вимірювання внутрішніх розмірів.....	43
2.4. Аналіз матеріалів деталей електронної гармати	46
2.5. Моделювання деталей і складальних одиниць у CAD-системах. Оформлення конструкторської документації	49
РОЗДІЛ 3	55
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕПЗ ЕЛЕКТРОННОЇ ГАРМАТИ.....	55
3.1. Базування електронної гармати у камері установки ЕПЗ	55
3.2. Симуляція процесу ЕПЗ	59
РОЗДІЛ 4	75
РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ	75
4.1. Опис ідеї стартап-проєкту	76
4.2. Аналіз здійсненності проєкту.....	78
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту	79
4.4. Розроблення стратегії стартап-проєкту на ринку.....	84

4.5. Складання маркетингової програми стартап-проєкту	87
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	90
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	91
ДОДАТКИ.....	Ошибка! Закладка не определена.

Скорочені позначення, що використовуватимуться у дисертації

НВЧ – надвисокі частоти

СПК – станція передачі команд

АХС – антенно-хвильоводна система

ЛВП – лічильно-вирішальний прилад

АПЧМ – автоматичне підлаштування частоти магнетрона

АПП – антенно-пусковий пристрій

РПЧМ – ручне підлаштування частоти магнетрона

РФА – рентгенофлюоресцентний аналіз

ЕПЗ – електронно-променеве зварювання

ККД – коефіцієнт корисної дії

ПЗ – програмне забезпечення

ВСТУП

Метою роботи є розроблення реставраційного (ремонтного) варіанту імпульсного магнетрона МИ-241. Ідея полягає у проектуванні електронної гармати приладу з урахуванням виробничих можливостей підприємства. Сфера застосування імпульсного магнетрону МИ-241 – генерація імпульсів у системах передавання команд зенітних ракетних комплексів.

Імпульсний магнетрон МИ-241 успішно експлуатується в Збройних силах України та за кордоном. Проте в ході експлуатації подеколи необхідно виконувати ремонт приладів через механічні пошкодження або перегорання катодного вузла.

Метою магістерської роботи є отримання електронної гармати з поліпшеними технологічними характеристиками. Гармана має містити керамічні ізоляційні деталі, а при її складанні має застосовуватись електронно-променеве зварювання.

Для досягнення мети поставлено та вирішено задачі:

- провести аналіз конструкції електронної гармати;
- спроектувати реставраційний варіант електронної гармати;
- створити технічну документацію.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ГАРМАТ МАГНЕТРОНІВ

1.1. Опис магнетрона МИ-241 та його роботи у вузлі

МИ-241 – пакетований магнетрон імпульсної дії з можливістю підлаштування частоти (рис. 1.1), входить до складу передаючої системи станції передачі команд бойової машини зенітного ракетного комплексу "Оса-АКМ" (рис. 1.2).

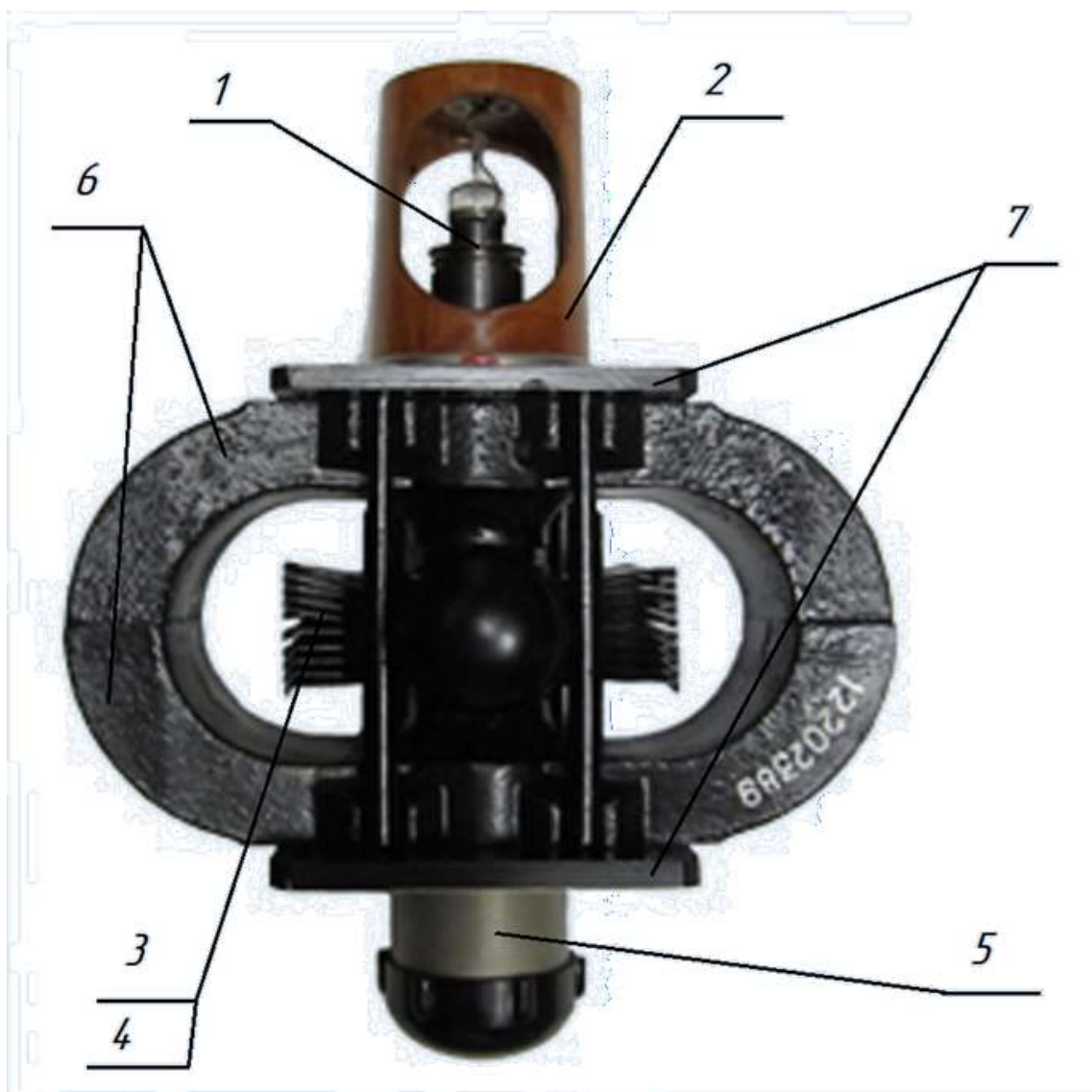


Рисунок 1.1 – Магнетрон МИ-241. На схемі: 1 – катодний вузол (електронна гармата); 2 – цоколь з виводами розжарення; 3 – резонаторний блок з виводом енергії; 4 – радіатор; 5 – механізм налаштування; 6 – магніти; 7 – фланці, якими додатково стягнуто магніти



Рисунок 1.2 – Зенітний ракетний комплекс 9K33M3 "Оса-АКМ"

Станція передачі команд (СПК) призначена для перетворення, кодування та передачі на борт ракети неперервних і разових команд керування ракетою та імпульсів запиту бортового відповідача [1]. Всього одна бойова машина має дві станції (СПК-I і СПК-II).

Станцією передаються наступні команди та сигнали:

- K1, K2 – неперервні команди керування рулями ракети;
- K3 – разова команда на ввімкнення передавача радіопідбивника;
- K4 – резервна разова команда, на сьогоднішній день не використовується;
- імпульсні сигнали запиту відповідача ракети;
- опорні сигнали такту, необхідні для визначення рівня команд у блоці радіокерування ракетою.

СПК є двоканальною, що дає можливість одночасно керувати двома ракетами.

Таблиця 1.1 Основні тактико-технічні характеристики СПК

Параметр	Значення
Імпульсна потужність передавача, кВт	100
Тривалість імпульсу передавача, мкс	0,75
Число літерних частот	8

У військовій радіоапаратурі літерні частоти – це набір фіксованих частот, кожна з яких позначена певним літерним кодом, на які періодично перелаштовують приймач або передавач з метою уникнення перешкод з боку ворога.

До складу СПК входять наступні системи та блоки:

1. Шифратор ОК82-2М.
2. Передавальна система ОК23-01М (І канал) і ОК-23-02М (ІІ канал).
3. Система автоматичного підлаштування частот магнетрона.
4. Блоки електроживлення.

Апаратура СПК розміщується в антенно-пусковому пристрої ОО04-20М1 (АХС, передавальна система та система АПЧМ) і в операторському відсікові (шифратор з блоком живлення – у стійці СП-1М1; розподільний пристрій ОО91-17М – у стійці СП-2М1).

Структурну схему СПК показано на рис. 1.3.

СПК є наземною частиною радіолінії керування ракетою. В силу ідентичності каналів СПК-І та СПК-ІІ на рис. 1.3 подано схему першого каналу.

На шифратор з частотою запитових імпульсів подаються імпульси запуску і кратним діленням (у каналі ділення) виробляються опорні імпульси, які подаються для запуску перетворювачів команд К1 і К2. Команди керування ракетою, що виробляються в лічильно-вирішальному приладі у вигляді напруг постійного струму, що повільно змінюються, подаються на вхід шифратора. У шифраторі значення цих напруг порівнюються з миттєвим значенням допоміжної напруги, що виробляється перетворювачами команд. Порівняння відбувається в схемах перетворення К1 і К2 синхронно з частотою слідування опорних імпульсів. У момент

рівності цих напруг схеми перетворення K1 і K2 формують імпульси запуску для формування стробів команд K1 і K2, які подаються на схему кодування. Відповідно, для кожної команди формується своя кодова група.

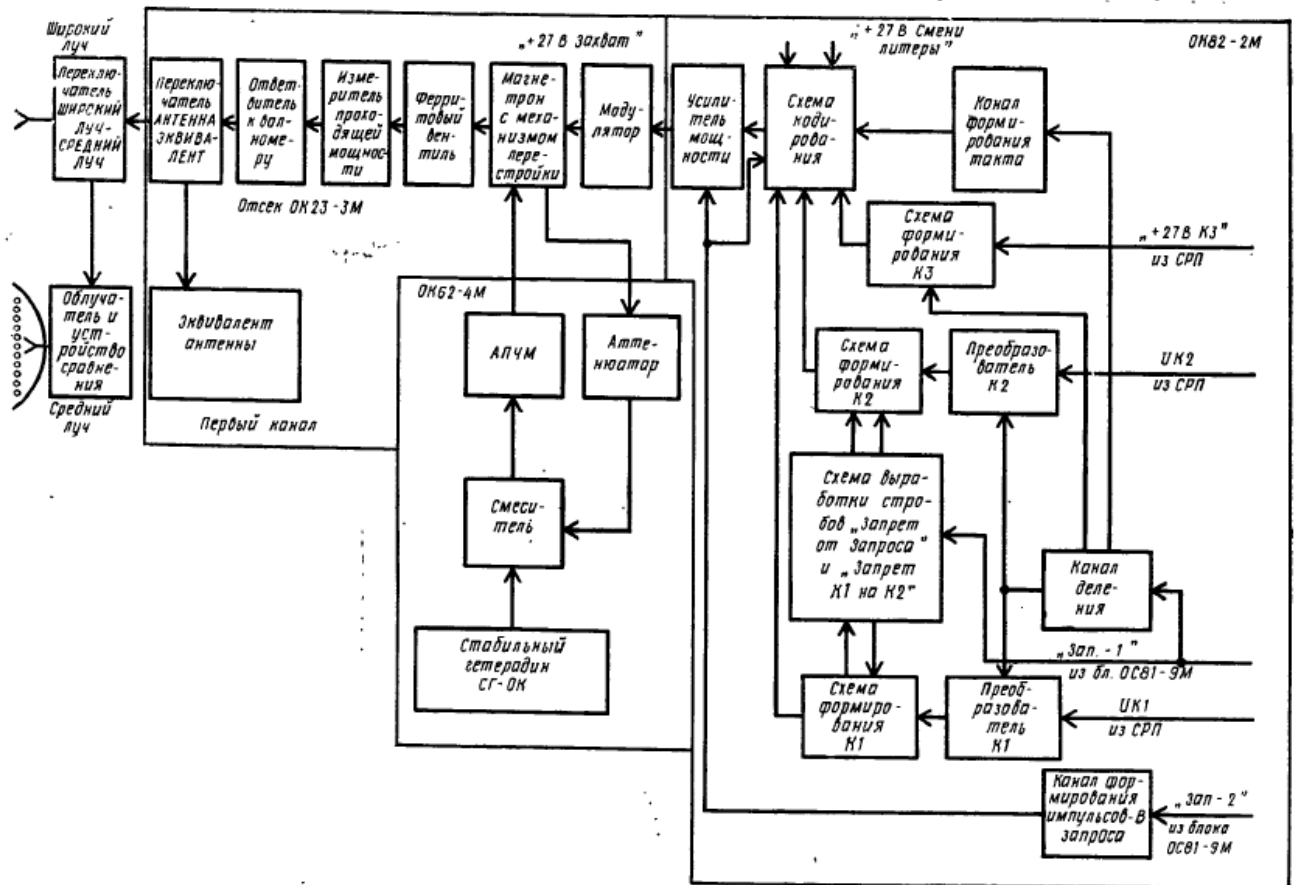


Рисунок 1.3 – Структурна схема СПК [4, с.139]

Команда K3 з ЛВП подається на вхід шифратора у вигляді релейної команди "+27 В K3". У схемі формування K3 формуються тривалість пачки команд K3 та частота слідування імпульсів у пачці, після чого імпульси K3 подаються на схеми кодування.

У шифраторі виробляються також тактові імпульси та імпульси запиту. Імпульси запиту не кодуються, тактові — кодуються аналогічно командам K1, K2 та K3.

З виходу шифратора кодові групи імпульсів такту, команд, а також імпульси запиту подаються на вхід модулятора передавальної системи СПК. Модулятор формує імпульси за тривалістю та посилює їх до рівня,

необхідного для керування магнетронним генератором. Магнетронний генератор передавача налаштований на літерну частоту, яка відповідає літерній частоті приймальної системи ракети даного каналу. Висока напруга передавача СПК вмикається автоматично по команді "+27 В Внимание" з ЛВП або при натисканні кнопки БОРТ СПК ВКЛ. на передній панелі блоку ОО04-11М1. З виходу магнетронного генератора потужні радіоімпульси через феритовий вентиль, вимірювач потужності, що проходить, направлений відгалужувач до хвилеміра та перемикач АНТЕННА-ЭКВИВАЛЕНТ потрапляють на навантаження еквіваленту антенни.

Частина високочастотної енергії магнетрона відгалужується на систему АПЧМ. Система АПЧМ здійснює захоплення сигналу з частотою магнетрона та переходить в режим АПЧМ, про що сигналізує загорання лампочки на пульті командира (блок ОО01-11М1) ЗАХВ. АПЧ-І. В подальшому автоматично утримується літерне значення частоти магнетрона.

По команді "+27 В Пуск" відбувається перемикання передавача з еквівалента на антенну. Радіоімпульси запиту, такту та команд керування через перемикач АНТЕННА-ЭКВИВАЛЕНТ, перемикач ШИРОКИЙ ЛУЧ-СРЕДНИЙ ЛУЧ подаються в антенну широкого або середнього променю.

Щоби виключити проходження команд керування на автопілот ракети на початковій ділянці польоту, група імпульсів такту випромінюється хибним кодом. На цій ділянці здійснюється тільки запис відповідача ракети. Через 0.8 с після сходу ракети за командою "+27 В Сход задерж." знімається хибний код. До цього часу ракета потрапляє у діаграму направленості антенни широкого променю. Починається керування ракетою по кутових координатах.

Після взяття сигналу відповіді ракети на автосупровід за дальністю по команді "+27 В Автозахват" здійснюється перемикання на антенну середнього променю. При цьому загорається відповідне табло на пульті командира.

СПК-I та СПК-II можуть працювати спільно, при цьому у випадку несправності одного з ракетних каналів є можливість здійснювати керування тільки з СПК-I або СПК-II. Вибір справного каналу виконується перемикачем на пульті командира. При роботі одним каналом висока напруга другого каналу не вмикається. Також передбачена можливість керування одним каналом ракетами іншого каналу.

Передавальна система СПК призначена для нормування за тривалістю та генерації потужних високочастотних імпульсів команд у відповідності з програмою їхнього слідування, яка визначається імпульсами шифратора.

До складу передавальної системи входять наступні основні блоки:

- модулятор з підмодулятором (блок ОК23-2М для СПК-I та блок ОК23-5М для СПК-II);
- високовольтний блок живлення ОК91-13М;
- блок живлення ОК91-14М;
- магнетрон МИ-241;
- розподільний засіб, спільний для обох СПК – блок ОО91-17М;
- елементи ланцюгів керування, контролю та сигналізації, що розміщені у блоках передавальних систем, у блоках ОО04-11М1, ОО96-9М1, ОО62-6М1.

При ввімкненні апаратури бойової машини схема керування здійснює прогрів катоду магнетрона протягом 3 хв. Потім напруга розжарення магнетрона знижується. Здійснюється режим розжарення, при якому температура катоду підтримується постійною. Імпульси запуску з шифратора подаються на підмодулятор, де вони підсилюються до 1 кВ і нормуються за тривалістю (від 0.55 до 0.82 мкс). Модулятор формує від'ємні імпульси амплітудою близько 18 кВ і тривалістю, заданою підмодулятором. Ці імпульси подаються на катод магнетрона. Магнетрон, у свою чергу, виробляє потужні імпульси енергії надвисокої частоти, які подаються до антенно-хвильової системи. Блок живлення видає напруги для живлення

підмодулятора. Високовольтний блок живлення слугує для живлення анодних ланцюгів модулятора з напругою 18 кВ.

Передавальна система СПК-I розміщена у відсіку ОК23-3М азимутального блоку АПП (праворуч), передавальна система СПК-II – у відсіку ОК23-5М азимутального блоку АПП (ліворуч).

Охолодження магнетрона примусове, повітряне. Тип резонатора – секторний.

Основні технічні характеристики магнетрона МИ-241 наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Основні технічні характеристики магнетрона МИ-241

Параметри пристрою	Експлуатаційні значення
Діапазон частот, ГГц	12.7...13.3
Вихідна потужність, кВт	понад 55
Анодна напруга, кВ	12...14.5
Тривалість імпульсу, мкс	0.5...0.82
Напруга розжарення, В	12.6..13.2
Термін служби, год	1000
Збережувальність, років	понад 12
Габаритні розміри Д/Ш/В, мм	212 / 124 / 264
Маса, кг	8

Система автоматичного підлаштування частоти магнетронів СПК призначена для автоматичного утримування частот магнетронів СПК-I та СПК-II у допустимих відносно літерних частот межах, а також взаємного перелаштування частот передавачів СПК-I та СПК-II при зміні літери. Для забезпечення надійного захоплення частот при ввімкненні та перелаштуванні у системі передбачено режим пошуку частоті.

До складу двоканальної системи АПЧМ входять (рис. 1.9):

- стабільний гетеродин СГ-ОК (у блоці ОК62-4М);
- змішувач (у блоці ОК62-4М);
- лінійка АПЧМ зі схемою захоплення (у блоці ОК62-4М);
- сервопідсилювач;
- механізм перелаштування М;

- двоканальна панель керування АПЧ-АМ;
- органи керування та сигналізації на пульті командира (блок 0004-11М1).

Режими роботи: автоматичне підлаштування частоти (АПЧМ), ручне підлаштування частоти (РПЧМ), пошук, зміна літери.

В системі АПЧМ використовується стабільний гетеродин, спільний для обох каналів, який забезпечує стабільність частот передавачів СПК-I та СПК-II. Ці передавачі налаштовані на частоти, дзеркальні відносно стабільного гетеродина.

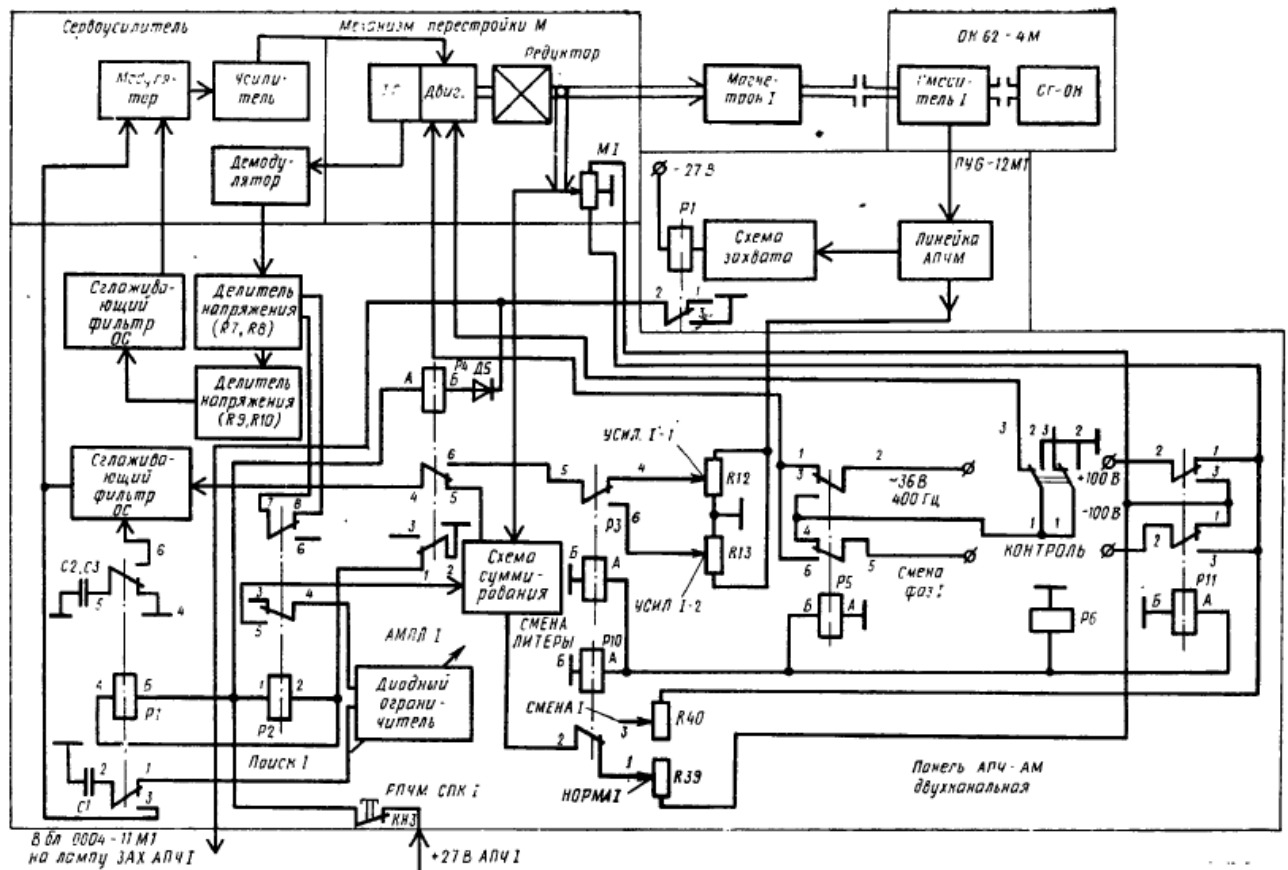


Рисунок 1.4. – Функціональна схема АПЧМ СПК [4, с.146]

На змішувач АПЧМ подається частина потужності передавача та сигнал з частотою гетеродина. Сигнал різницевої частоти подається на лінійку АПЧМ. Лінійка АПЧМ (вузол ПУ6-12М1) призначена для підсилення напруги проміжної частоти та перетворення частотних змін даної напруги у сигнал помилки у вигляді напруги постійного струму.

Дискримінатор лінійки АПЧМ налаштований на частоту 73 МГц. З виходу лінійки АПЧМ знімається напруга сигналу помилки, пропорційна відхиленню різницевої частоти від 73 МГц (тобто відхиленню частоти магнетрона від літерного значення).

У нормальному режимі роботи перемикач СМЕНА ЛИТ. на блоці ОО04-11М1 знаходиться у положенні НОРМ. Режим АПЧМ здійснюється при ввімкненні високої напруги передавача СПК-I, при цьому напруга "+27 В АПЧ-I" подається на реле Р4 панелі АПЧ-АМ, яке після спрацювання реле Р1 схеми захоплення в лінійці ПУ6-12М1 (за наявності сигналу помилки на виході лінійки АПЧМ) вмикається. Одночасно на блоці ОО04-11М1 загорається лампа ЗАХ. АПЧ-I. Напруга сигналу помилки з виходу лінійки АПЧМ подається на панель АПЧ-АМ, де відбувається нормування за величиною та згладжування напруги сигналу помилки. Ця напруга підсилюється у сервопідсилювачі, перетворюється у напругу змінного струму та в якості керуючого подається на виконавчий двигун механізму М. Механізм переміщує шток у механізмі налаштування магнетрона так, щоб частота його коливань змінюється та стає рівною літерній частоті в допустимих межах. При цьому різницева частота наближається до проміжної частоти лінійки АПЧМ і сигнал помилки на виході лінійки зменшується до допустимої величини. Для забезпечення стійкості системи вона охоплена від'ємним зворотнім зв'язком. Фільтр зворотнього зв'язку розміщений у панелі керування АПЧ-АМ.

Якщо висока напруга СПК вимкнена або занижена, система АПЧМ працює в ручному режимі (РПЧМ). Крім того, в режим РПЧМ систему можна перевести і при ввімкненій високій напрузі натисканням на кнопку РПЧМ СПК-I (II) на панелі АПЧ-АМ. У першому випадку режим РПЧМ використовується для виводу магнетрона в область захоплення автоматичного підлаштування частоти, а у другому – як технологічний при налаштуванні системи. В режимі РПЧМ ланцюг живлення реле Р4 панелі АПЧ-АМ знеструмлений і сервопідсилювач підключається до схеми

сумування. В цьому випадку утворюється потенціометрична система, що складається із потенціометрів НОРМА та М, що пов'язаний зі штоком механізму налаштування магнетрона. При налаштуванні магнетрона на літерну частоту по хвилеміру потенціометр НОРМА встановлюється в таке положення, щоб частота магнетрона відповідала літерній частоті каналу.

1.2. Загальний опис магнетронів

Магнетрон – це електронний прилад для генерації електромагнітних коливань надвисокої частоти, що базується на взаємодії електронів, що рухаються у магнітному полі по криволінійним траєкторіям. Найбільш розповсюджений вид магнетронів – багаторезонаторний.

Багаторезонаторний магнетрон (рис. 1.1) складається з анодного блоку 1 з резонансною порожниною 2, катода 3 з виводами розжарення 4 та виводу енергії 5.

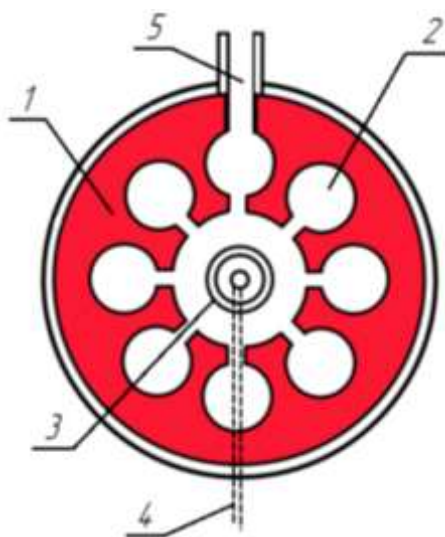


Рисунок 1.5 – Схематична конструкція магнетрона. На схемі: 1 – анодний блок; 2 – резонансна порожнина; 3 – катод; 4 – виводи розжарення; 5 – вивід енергії [2]

Розповсюджені типи магнетронних резонаторів (рис. 1.3):

- 1) лопаткові (секторні) резонатори – vane type;
- 2) резонатори типу "паз-отвір" – slot-and-hole type;

- 3) краплевидні резонатори – drop-like type;
- 4) комбіновані резонатори.

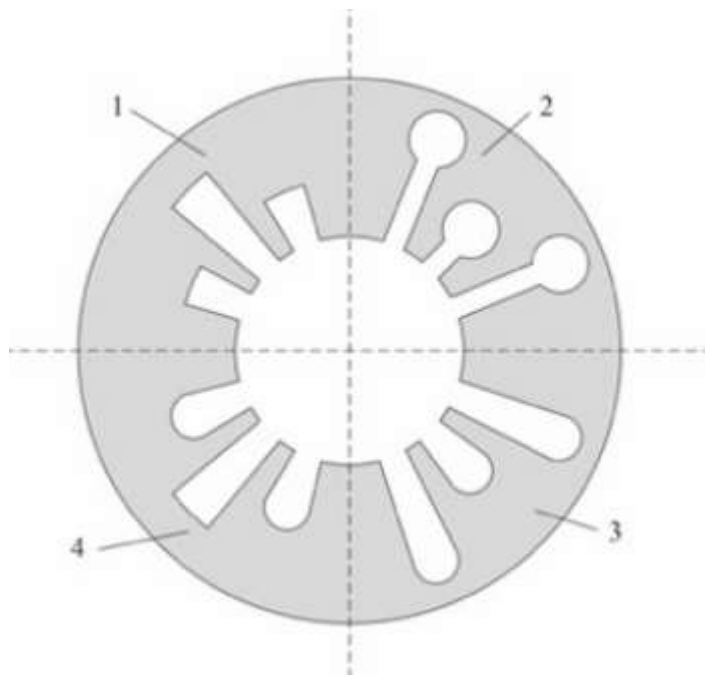


Рисунок 1.6 – Типи магнетронних резонаторів [3, с.2]

Застосовуються також анодні блоки більш складних форм, зокрема у новітніх приладах, що працюють у короткохвильовій частині сантиметрового діапазону, дедалі частіше зустрічаються резонатори типу, що отримали назву "сонце, яке сходить" – rising-sun anode blocks (рис. 1.7).

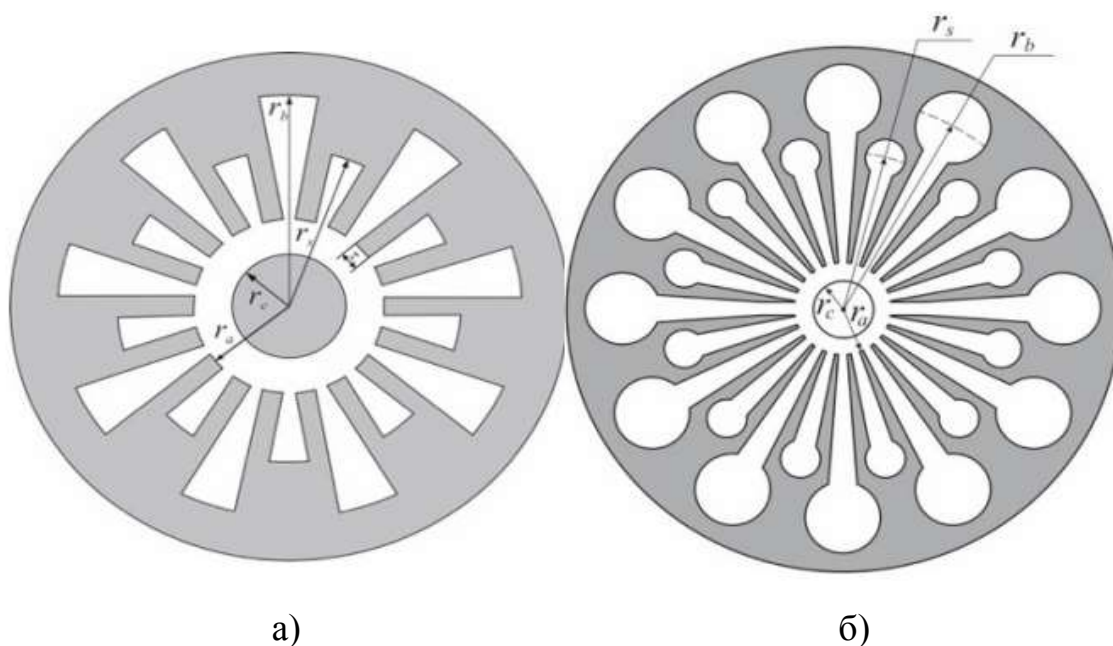


Рисунок 1.7 – Схематичне зображення поперечних перерізів резонаторів типу "сонце, яке сходить". На схемі: а) – лопатковий резонатор; б) – резонатор типу "паз-отвір" [3, с.3]

Діапазонні магнетрони також мають механізм налаштування. Простір між катодом і анодним блоком називається простором взаємодії [4].

У просторі взаємодії електрони взаємодіють з НВЧ полем резонаторної системи. Керування електронами в магнетроні здійснюється шляхом впливу на електронний потік постійних електричного та магнітного полів. Ці поля діють у взаємоперпендикулярних площинах (схрещені поля). Електричне поле напрямлене радіально від анодного блоку до катода. Магнітне поле, рівномірне у просторі взаємодії, напрямлене вздовж катода.

Якби не було поля електромагнітної хвилі, електрони б рухалися в схрещених електричному та магнітному полях по епіциклоїді (крива, яку описує точка на колі, що котиться по зовнішній поверхні кола більшого діаметра (рис. 1.8), у даному випадку – по зовнішній поверхні катода). При досить сильному магнітному полі електрон, що рухається цією кривою, не може досягти анода (внаслідок дії на нього з боку цього магнітного поля сили Лоренца) і повертається на катод. Таке явище називається "магнітним замиканням". У режимі магнітного замикання деяка частина електронів рухається епіциклоїдами в просторі анод-катод. Під дією власного поля електронів, у цій електронній хмарі виникають нестійкості, що призводять до генерації електромагнітних коливань у резонаторних порожнинах анода, ці коливання посилюються в резонаторах. Електричне поле електромагнітної хвилі може уповільнювати або прискорювати електрони. Якщо електрон прискорюється полем хвилі, то радіус його циклотронного руху збільшується і він відхиляється в напрямку катода. При цьому енергія передається від хвилі до електрона. Якщо ж електрон гальмується полем хвилі, його енергія передається до хвилі, циклотронний радіус електрона зменшується, центр кола обертання зміщується ближче до анода, і електрон може досягти анода.

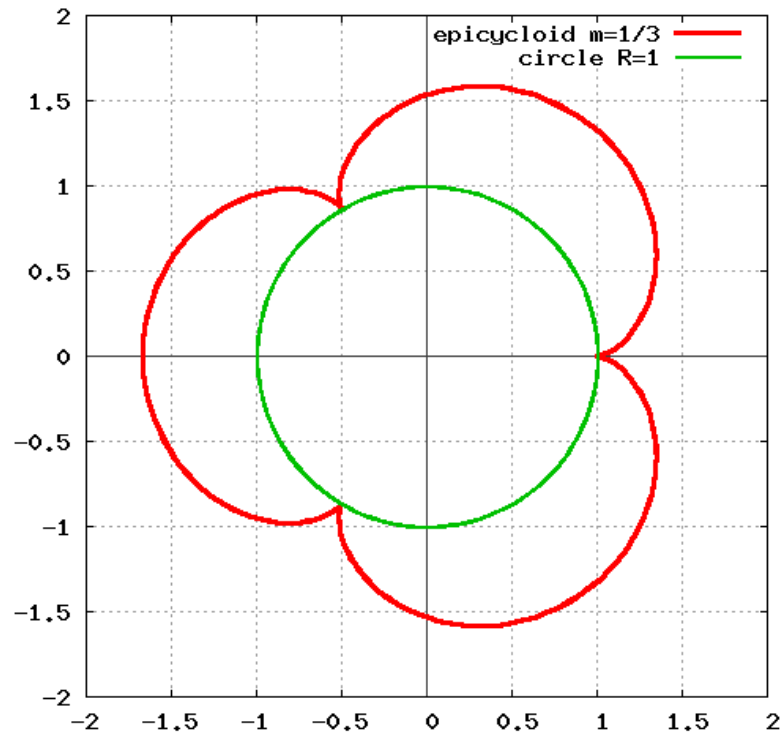


Рисунок 1.8 – Епіциклоїда, що описує рух точки на колі радіусом $r = \frac{1}{3}$, що котиться по зовнішній поверхні кола радіусом $R = 1$. Параметр циклоїди:

$$m = r/R \quad (1.1)$$

Оскільки електричне поле анод-катод здійснює позитивну роботу тільки якщо електрон досягає анода, енергія завжди передається в основному від електронів до електромагнітної хвилі. Однак, якщо швидкість обертання електронів навколо катода не співпадатиме з фазовою швидкістю електромагнітної хвилі вздовж резонаторів, один і той же електрон буде поперемінно прискорюватися і гальмуватися хвилею, в результаті ефективність передачі енергії електронів хвилі буде низькою. Якщо середня швидкість обертання електрона навколо катода збігається з фазовою швидкістю хвилі, електрон потрапляє в поле, що гальмує, поблизу всіх щілин резонаторів, при цьому передача енергії від електрона до хвилі найефективніша. Такі електрони групуються в згустки – так звані спиці (рис. 1.5) та виконують в межах спиць складні епіциклоїдальні рухи разом з полем навколо катода, відбувається автофазування спиць. Багаторазова, протягом

ряду періодів, взаємодія електронів з НВЧ-полем та автофазування в магнетроні забезпечують високий коефіцієнт корисної дії.

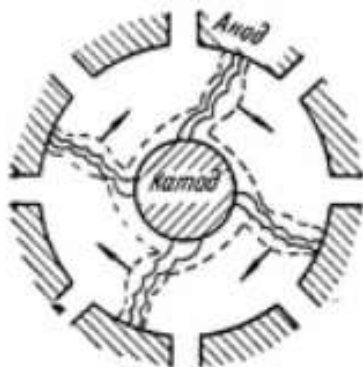


Рисунок 1.9 – Електронний потік, що обертається, у генеруючому магнетроні [4, с.283]

Електрони отримують кінетичну енергію від імпульсного модулятора, взаємодіють з високочастотним електричним полем резонаторів і поповнюють енергію поля.

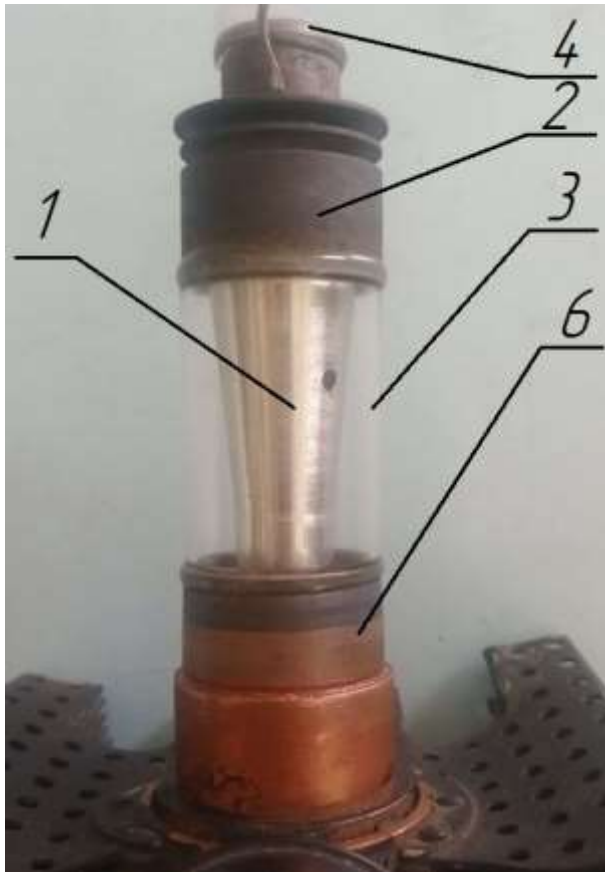
Ступінь взаємодії електронів з високочастотним полем, а значить, і енергія, яку вони йому віддають, залежить як від величини електричної напруги між анодом і катодом, так і від величини напруженості магнітного поля. Високочастотне поле резонаторів у свою чергу покращує умови віддачі енергії електронами цьому полю, групуючи електрони навколо тих із них, які найефективніше взаємодіють з полем резонаторів.

Анодний блок є корпусом магнетрона і, як правило, заземлюється. Магнітне поле створюється зовнішнім постійним магнітом. Існують магнетрони, до конструкції яких органічно входять постійні магніти. Такі прилади називаються пакетованими. Охолоджуються магнетрони повітрям, і тоді мають радіатор, або системою рідинного охолодження.

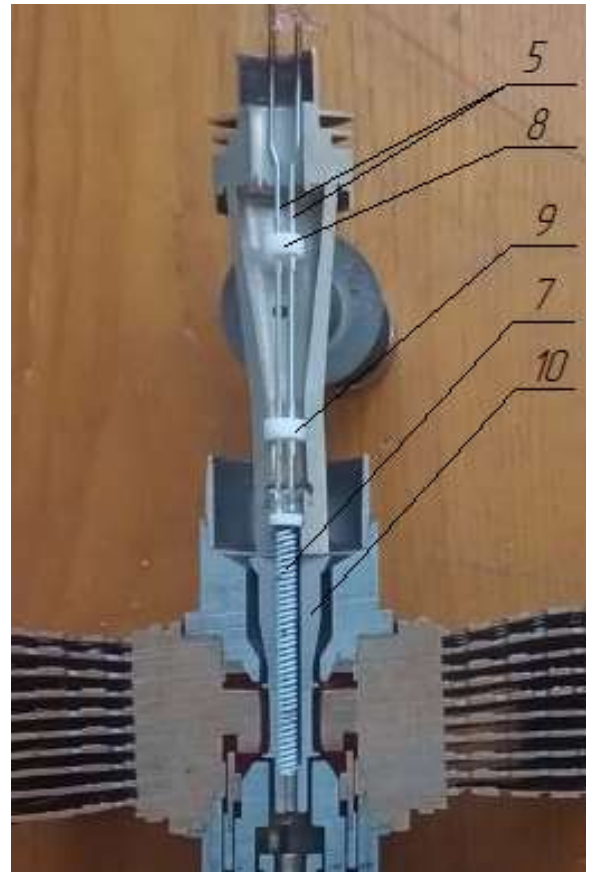
1.3. Опис електронної гармати

До електронної гармати магнетрона (рис. 1.10) входять:

- траверси;
- тримач;
- катод;
- радіаторна втулка;
- ізолятор на виходах розжарення;
- ізоляторна гільза навколо тримача;
- ізолятори між траверсами;
- підігрівник.



а)



б)

Рисунок 1.10 – Будова електронної гармати. На схемі: 1 – тримач; 2 – радіаторна втулка; 3 – ізоляційна гільза; 4 – ізоляційний ковпачок; 5 – траверси; 6 – втулка; 7 – підігрівник; 8, 9 – ізолятори; 10 – катод

На тримач 1 припаюється радіаторна втулка 2 яка має канавки на бічній поверхні для кращого охолодження гармати, на втулку – скляна ізоляційна гільза 3 та скляний ізоляційний ковпачок 4 з виходами для траверс 5, які є виводами розжарення. Траверси паяються до ізолятора 4. Ізоляційна гільза 3 має покриття для паяного з'єднання з втулками 2 і 6. Тримач має отвір для вакуумної відкачки на спеціальному стенді після завершення складання приладу.

Підігрівник 7, на який нанесено ізоляційну суміш, приварюється до траверс. Керамічні ізолятори 8, 9 між траверсами 5 ізолюють їх одну від одної, тим самим також ізолюючи кінці підігрівника 6, і від тримача 1 для запобігання закорочування.

Катод 10, що припаюється до тримача 1, має наскрізний центральний отвір для центрування його в резонаторному блоці. Після центрування гармата з'єднується з анодним блоком паянням.

1.4. Застосування зварних з'єднань у складанні електронних гармат

При складанні електровакуумних приладів, у тому числі магнетронів, широко застосовуються паяні та зварні з'єднання.

Для вакуумнощільного паяння вузлів, а також для отримання швів, що знаходяться всередині вакуумної порожнини, у якості припоїв застосовуються срібло, золото, їхні сплави з додаванням міді, олова, нікелю, паладію тощо [5]. Такий вибір обумовлений як фізичними властивостями цих матеріалів, так і їхніми температурами паяння, поданими в табл. 1.3 [6, 7], які вищі за температури, до яких нагріваються приладі під час роботи.

Загальновідома ефективність електронно-променевого зварювання у отриманні нероз'ємних з'єднань матеріалів найрізноманітнішої товщини і форми обумовила також і його широке застосування при виготовленні електровакуумних приладів.

Таблиця 1.3 Температури паяння припаїв, що застосовуються у виробництві електровакуумних приладів

Марка припою	Температура паяння, °C
CuSn8Ag7	985±10
Ag99,9	960±10
AuCu16,5Ni2	910±15
AgCu20Pd15	900±20
AgCu28Mn5Ni2	850±20
AgCu27Pd5	810±20
AgCu28Ni0,5	795±20
AgCu28	780±20
AgCu30Sn10	720±20
AgCu24In14,5	705±25

У праці В.М. Нестеренкова, В.І. Загорнікова та ін. [8] розглянуто застосування електронно-променевого зварювання для виробництва високоточних деталей оптичної системи катодного вузла електронно-променевої гармати зварювальної установки (рис. 1.11).

Задача, що вирішувалася в даній праці, полягала у розробленні технології, яка дозволяє зробити операцію електронно-променевого зварювання електродів катодного вузла при збереженні в повному обсязі його експлуатаційних властивостей.

При виготовленні таких вузлів постає низка проблем, пов'язаних з наявністю залишкових власних напружень, що викликані різницею термічних коефіцієнтів лінійного розширення металу та кераміки.

Для отримання зварних з'єднань деталей з залізо-нікелевих сплавів важливо звести до мінімуму вплив залишкових напружень шляхом мінімізації глибини проплавлення та перегріву основного металу. Це досягнуто оптимізацією параметрів зварювання: струму фокусуючої лінзи I_f , струму пучка I_w , швидкості зварювання V_w та робочої відстані, які забезпечують формування зварних швів з проплавленням на неповну товщину. Режими зварювання обрано такими, щоб забезпечувалося значення коефіцієнту форми шва (відношення його ширини до глибини) близько 1.8...2.0. При такій формі шва мінімальне тепловкладення, що знижує

імовірність появи пропалів, підрізів, періодичної горбистості шва, підвищеного розбризкування.



Рисунок 1.11 – Катодний вузол електронно-променевої гармати [8, с.35]

При зварюванні в безпосередній близькості від місця спаїв металу з керамікою, що часто трапляється під час виготовлення електронних гармат, вельми необхідно забезпечувати мале тепловкладення. З цією метою також застосовується імпульсний режим електронно-променевого зварювання. В такому випадку швидкість зварювання доводиться до максимуму, щоб зменшити розмір зварювальної ванни та час кристалізації. Зменшення швидкості зварювання загрожує перегріванням виробу аж до спотворення його форми. Крім того, імпульсний режим дозволяє знизити вимоги до точності підгонки зварюваних елементів і до величини зазору між ними.

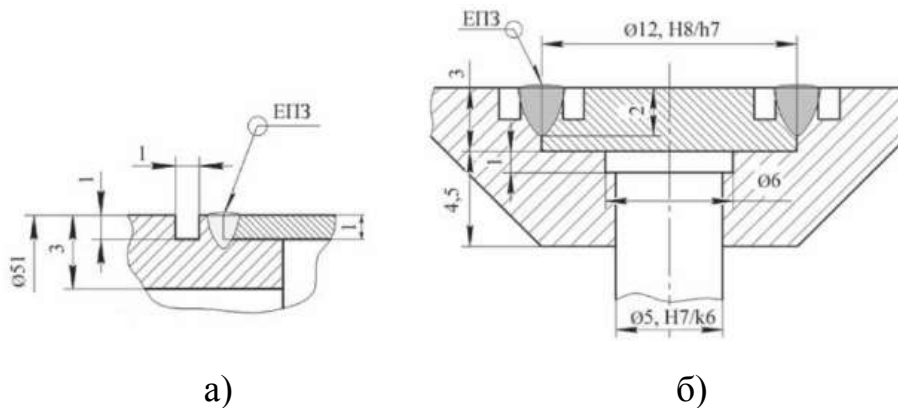


Рисунок 1.12 – Приклади конструктивного оформлення зварних з'єднань катодного вузла: а) – стикове з'єднання з односторонньою відбортовкою кромки; б) – з двосторонньою відбортовкою кромки

У розглянутій зварній конструкції катодного вузла всі шви кільцеві.

Елементи, що суттєво розрізняються по товщині, зварюють з попередньою відбортовкою кромки. Таке рішення забезпечує вирівнювання температурного поля та, внаслідок цього, симетричну форму проплавлення.

Електронно-променеве зварювання, як прецизійний процес, вимагає мінімальних осьового та радіального биття обертального стола зварювальної установки. З цією метою зварювальне оснащення повинно бути таким, щоб його закріплення разом зі зварюваним виробом було безпосередньо на валу обертального стола.

Недоліком такого способу електронно-променевого зварювання катодного вузла електронної гармати є неможливість зварювання елементів з утворенням кільцевого шва по бічній циліндричній поверхні.

1.5. Зварювання кільцевого шва при виготовленні електронної гармати

Запропоновано застосовувати зварювання з утворенням кільцевого шва по бічній циліндричній поверхні при виготовленні електронної гармати в якості фінішної складальної операції виготовлення електронної гармати магнетрона.

Схему запропонованого з'єднання подано на рис 1.13.

Перевага такої технології електронно-променевого зварювання головною мірою полягає у відсутності необхідності оброблення торцевих канавок для відбортовки кромки. З цього випливає наступне:

- спрощується конструкція зварюваних елементів за рахунок введення у неї канавок на бічній поверхні;

- оброблення зварюваних елементів різанням на токарних верстатах з ЧПК також дещо спрощується, тому що при обробленні торцевих канавок використовується більш жорсткий різальний інструмент.

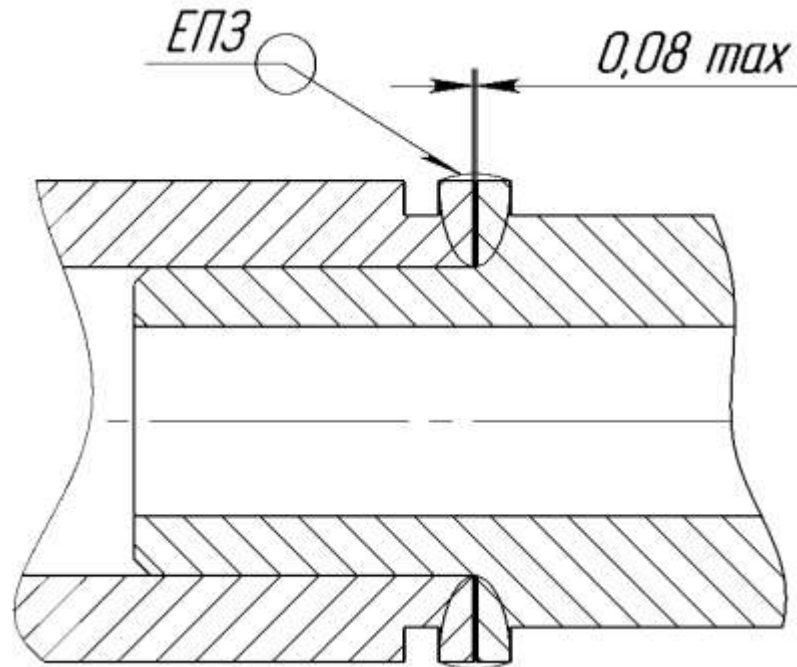


Рисунок 1.13 – Запропонована схема зварного з'єднання з кільцевим швом

Для забезпечення формування герметичного зварного з'єднання коефіцієнт перекриття зварювальних точок повинен бути понад 0.6 ... 0.7, а складальний зазор не має перевищувати 0.08 мм.

При зварюванні також велику увагу необхідно приділити точності розташування плями нагріву відносно стику. У разі його відхилення від траєкторії стику можуть з'являтися пропали та неповарювання. Оскільки пропали та неповарювання не забезпечують вакуумної щільності зварних швів, вони є основними бракувальними критеріями як найнебезпечніші дефекти, що можливі при складанні катодних вузлів електронних гармат. Крім того, дефекти такого характеру важко усунути при повторному переплаві, оскільки він призводить до утворення крупнозернистої стовбчастої структури та гарячих тріщин у шві. Відповідно, чим більша кількість проходів, тим меншу якість з'єднання в результаті буде одержано.

Висновок за розділом.

В проаналізованих літературних джерелах описані відомі сфери застосування та конструкції електронних гармат магнетрона. В той же час не знайдено жодного реставраційного варіанту електронної гармати магнетрона та технології її виробництва.

Після аналізу технологій складання аналогічних виробів та технології ЕПЗ при складанні катодного вузла електронно-променевої гармати зварювальної установки запропоновано модернізувати технологію ЕПЗ на фінішному етапі складання катодного вузла.

Запропонована технологія слугує відправною точкою для розроблення реставраційного варіанту електронної гармати магнетрона та вирішення задачі її виробництва в умовах конкретного підприємства.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ РЕСТАВРАЦІЙНОГО ВАРІАНТУ ЕЛЕКТРОННОЇ ГАРМАТИ

2.1. Підготовка до дослідно-конструкторських робіт

При ремонті електровакуумних НВЧ приладів найчастіше роботи проводяться з катодним вузлом або з механізмом (або механізмами, наприклад, деякі моделі імпульсних підсилювальних клістронів їх мають до восьми) налаштування. Оскільки у роботі приладу завжди бере участь катодний вузол, то з міркувань зручності експлуатації приладу необхідно мати розроблений реставраційний варіант, насамперед, саме катодного вузла на випадок реставраційно-відновлювальних робіт. Особливо гостро це питання постає в умовах повномасштабної війни, коли радіолокаційні станції радіотехнічних військ та зенітні ракетні комплекси постійно знаходяться на бойовому чергуванні, і термін служби приладів спливає набагато швидше та у суттєво більш жорстких умовах роботи техніки, ніж у мирний час.

Магнетрон МИ-241 нерозбірний, отже заміна будь-якого вузла, за винятком елементів зовнішньої арматури, супроводжуватиметься його відрізанням від блоку на електроерозійному чи токарному верстаті та встановленням нового вузла із застосуванням зварного або паяного з'єднання. Це є досить легкою задачею для підприємства-виробника оригінального приладу, оскільки в такому випадку реставраційний варіант того чи іншого вузла конструктивно майже нічим не відрізнятиметься від того, який монтується під час складання нових екземплярів. У розглянутому випадку увагу приділено також виробничим можливостям підприємства та, відповідно, технологічній і економічній доцільності застосування певних конструктивних або технологічних рішень. Таким чином, розроблення нової електронної гармати складається з наступних етапів:

1. Підготовчий етап.
2. Демонтаж гармат з наданих для дослідження приладів.
3. Вимірювання габаритних розмірів.

4. Розрізання гармат.
5. Вимірювання внутрішніх розмірів вузлів і окремих деталей.
6. Аналіз матеріалів деталей гармати.
7. Моделювання деталей і складальних одиниць у CAD-системах.
8. Оформлення конструкторської документації на основі побудованих 3D-моделей.
9. Розроблення пристроїв (оправок та ін.) і технологічної документації.

Процес розрізання гармат з подальшим вимірюванням внутрішніх розмірів (пп 4...5) необхідно повторити декілька разів на різних екземплярах приладу, при цьому виконуючи розрізання кожного разу по інших площинах. Такий підхід пояснюється тим, що магнетрони, які було надано для дослідження конструкції, могли вийти з ладу з різноманітних причин, а значить стан і вигляд деталей і вузлів можуть відрізнятися. Протягом пп. 6...8 вносяться зміни до конструкції з технологічних міркувань.

Підготовчий етап складається з робіт, які необхідно виконати до розрізання приладу:

- замір магнітного поля;
- вимірювання габаритних розмірів приладу;
- розмагнічування магнітів;
- демонтаж зовнішньої арматури та магнітів приладу;
- піскоструменеве оброблення приладу перед розрізанням;
- демонтаж радіатора.

Замір магнітного поля виконано настільним переносним тесламетром (приладом для вимірювання магнітної індукції) Ш1-8 (рис. 2.1). Технічні характеристики тесламетра наведено в таблиці 2.1 [9].

Для зручності виконання даної операції та правильного позиціювання зонда "М" тесламетра було сконструйовано та виготовлено оправку (рис. 2.2, 2.3).



Рисунок 2.1 – Тесламетр Ш1-8

Таблиця 2.1 Технічні дані тесламетра Ш1-8

Параметри	Значення
Діапазони вимірювання, Тл:	
– зондом "С"	0.01...0.3
– зондом "М"	0.01...1.6
Напруга живлення, при частоті	220±22 В, 50±0.5 Гц
Потужність при номінальній напрузі, Вт	25
Допустимий час неперервної роботи, год	8
Габаритні розміри, мм:	
– приладу Д/Ш/В, не більше	386 / 211 / 238
– зонда "С"	Ø8 x 504
– зонда "М"	3 x 8 x 120
Маса, кг, не більше:	
– приладу	8
– зонда "С"	0.6
– зонда "М"	0.5
Ресурс, год	2500

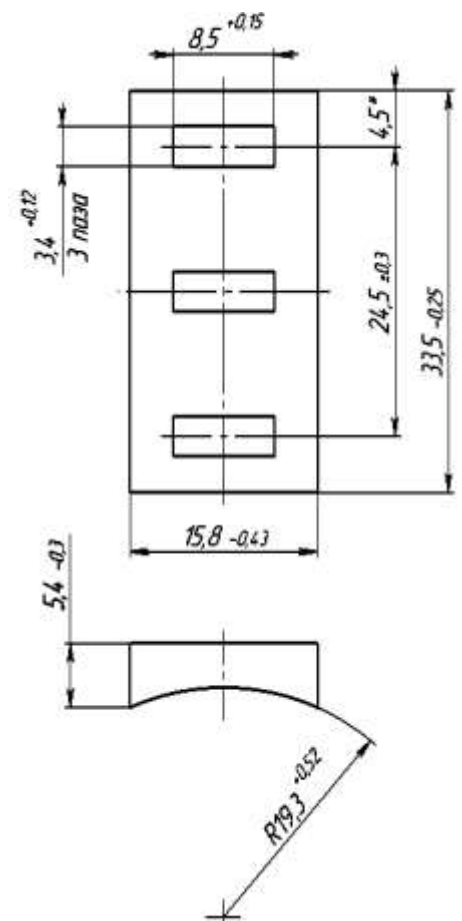


Рисунок 2.2 – Фрагмент кресленика оправки для заміру магнітного поля МИ-241



Рисунок 2.3 – Виготовлена оправка

Оправка встановлюється на анодному блоці магнетрона з боку, протилежного від виводу енергії (рис. 2.4). Результат заміру – магнітне поле приладу становить 1.45 Тл.



Рисунок 2.4 – Розташування оправки для заміру магнітного поля на анодному блоці магнетрона

Розмагнічування магнітів приладу необхідне для зручності, запобігання руйнуванню скляних ізоляційних деталей гармати інструментами та безпеки персоналу під час подальшого демонтажу зовнішньої арматури приладу. Розмагнічування виконано на установці імпульсного намагнічування та розмагнічування магнітів ЩСМ3.547.001 (рис. 2.5). Процес зайняв близько 6 год.



Рисунок 2.5 – Установка імпульсного намагнічування та розмагнічування приладів ЩСМ3.547.001

Технічні дані установки наведено в таблиці 2.2 [10].

Таблиця 2.2 Технічні дані установки ЩСМЗ.547.001

Параметри	Значення
Максимальна енергія накоплювальних конденсаторів при напрузі на них 800В, Дж: – для намагнічування – для розмагнічування	4500 300
Напруга живлення, при частоті	220±22 В, 50±0.5 Гц
Потужність при номінальній напрузі, Вт, не більше	700
Постійна часу заряду конденсаторів, с: – для намагнічування – для розмагнічування	13.2 10.0
Маса, кг, не більше	500

Демонтаж деталей зовнішньої арматури необхідний для зручності піскоструменевого оброблення приладу. В ході цієї операції з приладу демонтуються зовнішня частина механізму налаштування з пружиною, цоколь і фланці, що стягують магніти. (рис. 2.6) Після цього з приладу знімаються магніти за допомогою слюсарних лещат.



Рисунок 2.6 – Демонтовані деталі зовнішньої арматури та магніти

З метою отримання в подальшому більш точних розмірів при обмірюванні деталей і вузлів приладу, а також щоби позбутися фарби, виконується піскоструменеве оброблення приладу. Щоб запобігти пошкодженню електронної гармати та виводу енергії, який має скляне вікно, гармата замотується у щільну тканину, а вивід енергії закривається штатним ковпачком. Піскоструменеве оброблення виконується на установці МЗ.190.001 (рис. 2.7, 2.8).



Рисунок 2.7 – Установка піскоструменевого оброблення МЗ.190.001



Рисунок 2.8 – Пістолет в оброблювальній камері установки

2.2. Демонтаж електронної гармати, розрізання приладу

Після піскоструменевого оброблення виконується демонтаж електронної гармати. Відрізання гармати здійснювалося на токарному верстаті 1И611П (рис. 2.9). Згідно вимог техніки безпеки, на ізоляційні гільзу та ковпак було встановлено спеціальну втулку для захисту персоналу у разі їх руйнування.

Для отримання повного розуміння як гармату, в особливості катод, розташовано відносно резонатора, необхідно розрізати анодний блок. Крім того, дана операція дає доступ до штока механізму налаштування, сильфона і штенгеля – завареної трубки, через яку в процесі виготовлення приладу здійснювалася відкачка повітря. Розрізання виконувалося на електроіскровому верстаті А207.86 (рис. 2.10).



Рисунок 2.9 – Токарно-гвинторізний верстат підвищеної точності 1И611П



Рисунок 2.10 – Електроіскровий верстат А207.86

Після електроіскрової операції порізані частини приладу було передано на хімічне очищення та висвітлення. Це потрібно для того, щоб в подальшому під час вимірювань внутрішніх розмірів резонатора на вимірювальних мікроскопах очі персоналу менше напружувались, а також для більш чіткого виду переходів, кромek та інших елементів перерізу. Поздовжній та поперечний розрізи зображені, відповідно, на рис. 2.11 та рис. 2.12. На поперечному розрізі добре видно, що магнетрон МИ-241 має резонатор лопаткового (секторного) типу.

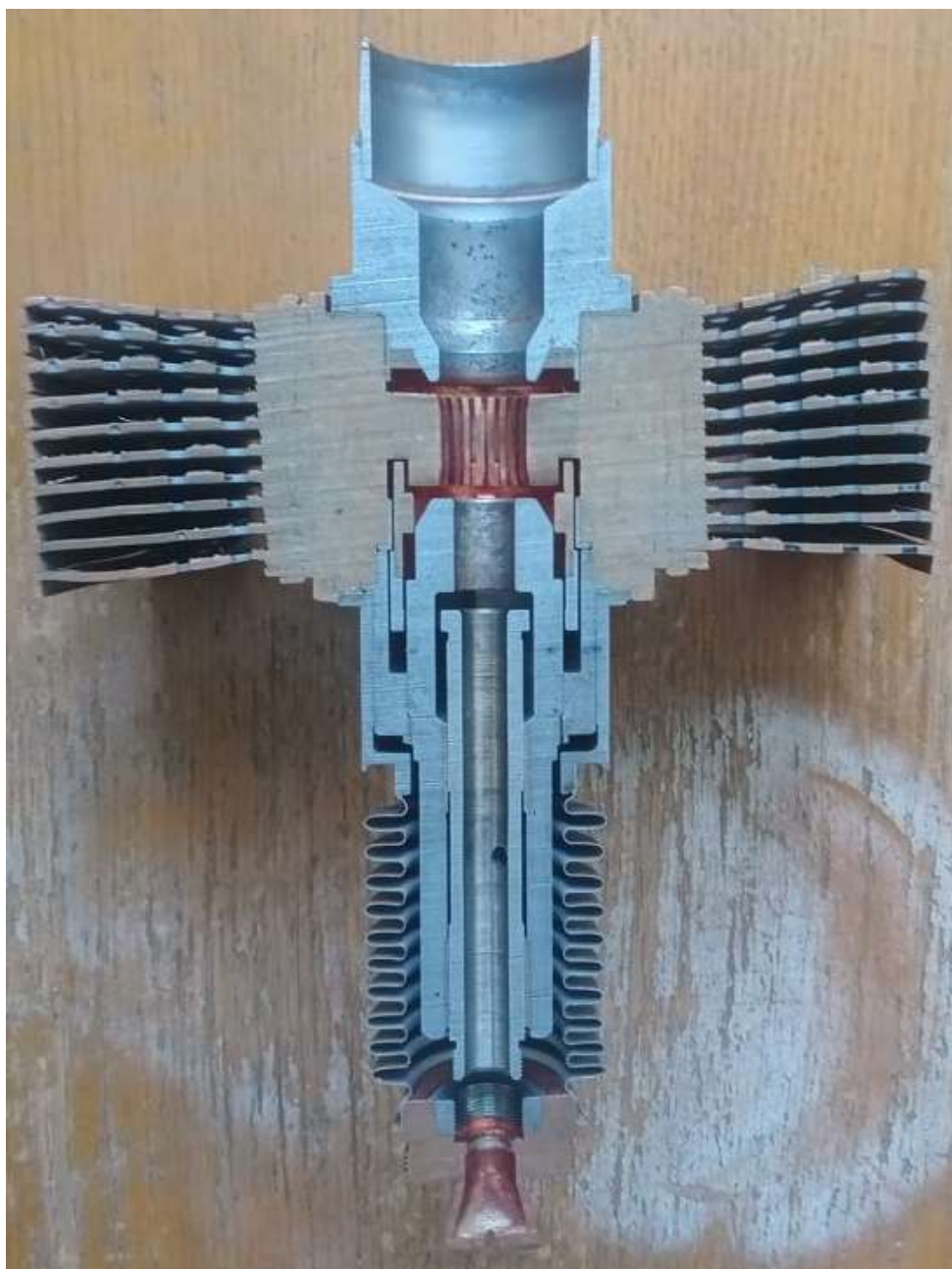


Рисунок 2.11 – Поздовжній розріз анодного блоку магнетрона МИ-241



Рисунок 2.12 – Поперечний розріз анодного блоку магнетрона МІ-241

2.3. Вимірювання габаритних розмірів, розрізання електронної гармати, вимірювання внутрішніх розмірів

Вимірювання габаритних розмірів електронної гармати приладу виконувалось електронним мікрометром фірми IDF (рис. 2.13) набором мікрометрів ГОСТ 6507-90 та електронним штангенциркулем фірми IDF (рис. 2.14). Додатково застосовувався електронний індикатор фірми Insize (рис. 2.15) та стійка С-IV-М ГОСТ 10197-70.



Рисунок 2.13 – Електронний мікрометр 0-25 мм IDF



Рисунок 2.14 – Електронний штангенциркуль 150-0.01 IDF



Рисунок 2.15 – Електронний індикатор Insize

Перед розрізанням гармат необхідно визначити оптимальні площини, по яким воно виконуватиметься. При розрізанні орієнтирами для визначення цих площин є зовнішні з'єднання, отвори, переходи, покриття, технологічні елементи тощо.

Розрізання здійснювалося на електроерозійному верстаті А207.86. Спершу було зрізано ізоляційну гільзу. Після цього виконано розріз по осі гармати навпіл. Два отримані зразки обмірювалися на вимірювальних

мікроскопах БМИ-1 (рис. 2.16) та УИМ-23 (рис. 2.17). Основні параметри мікроскопів подано в таблицях 2.3 [11] та 2.4 [12] відповідно.



Рисунок 2.16 – Великий мікроскоп інструментальний БМИ-1



Рисунок 2.17 – Універсальний вимірювальний мікроскоп УИМ-23

Таблиця 2.3 Основні параметри мікроскопа БМИ-1

Параметри пристрою	Значення
Межі вимірювання, мм: – у поздовжньому напрямку – у поперечному напрямку	0...150 0...50
Межі повороту стола, °	0...360
Збільшення: – основного мікроскопа – окуляра – об'єктивів – мікроскопа окулярної кутомірної головки	10 ^x ; 15 ^x ; 30 ^x ; 50 ^x 10 ^x 1 ^x ; 1.5 ^x ; 3 ^x ; 5 ^x 45 ^x
Найбільша відстань між об'єктивом і вимірювальним столом, мм	200
Ціна поділки: – шкали мікрометричних гвинтів, мм – кутомірної головки, хв	0.005 1

Таблиця 2.4 Основні параметри мікроскопа УИМ-23

Параметри пристрою	Значення
Межі вимірювання, мм: – у поздовжньому напрямку – у поперечному напрямку	0...200 0...100
Межі повороту стола, °	0...360
Збільшення: – основного мікроскопа – окуляра – об'єктивів – мікроскопа окулярної кутомірної головки	10 ^x ; 15 ^x ; 30 ^x ; 50 ^x 10 ^x 1 ^x ; 1.5 ^x ; 3 ^x ; 5 ^x 45 ^x
Найбільша відстань між об'єктивом і вимірювальним столом, мм	200
Ціна поділки: – шкали мікрометричних гвинтів, мм – кутомірної головки, хв	0.001 1

У ході вимірювань і подальшого тривимірного моделювання деталей виникала необхідність у додатковому розрізанні зразків для уточнення форми, розмірів, розташування конструктивних елементів тощо.

2.4. Аналіз матеріалів деталей електронної гармати

Після вимірювань зразки деталей було відправлено на аналіз матеріалів у Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України.

Визначення хімічного складу матеріалів виконувалося з використанням рентгенофлюоресцентного аналізатора компанії "Елватех" (рис. 2.18). РФА-аналізатор – пристрій, що використовує рентгенівську флюоресценцію для визначення хімічного складу матеріалу. РФА-аналізатор складається з джерела випромінювання та детектора. Джерело опромінює зразок, тим самим роблячи його джерелом характеристичного випромінювання. Детектор вимірює енергію та інтенсивність характеристичного випромінювання зразка. Дані, зібрані ним, аналізуються програмним забезпеченням приладу з метою визначення хімічного складу зразка. РФА-аналізатори застосовуються у металургійній [13], харчовій [14, 15] галузях промисловості, в археологічних дослідженнях [16], а також в судовій медицині [17] для точного та швидкого аналізу складу матеріалів без пошкодження зразків.



Рисунок 2.18 – РФА-аналізатор Elvatech ProSpector 3

До ключових особливостей і переваг РФА-аналізаторів відносяться простота використання, точність і швидкість. РФА-аналізатори здатні виявляти та визначати елементи, надаючи майже миттєві результати, які можна використовувати у режимі реального часу.

Результати показали, що у гарматі широко застосовуються нікель, ковар, мідь, молібденові та вольфрамові сплави, а ізолятори виготовлені з алюмооксидної кераміки.

Результати аналізу зведено до таблиці 2.5. Деталі, аналіз матеріалів яких проводився, показані на рис. 2.19. Приклад результату аналізу показано на рис. 2.20.

Таблиця 2.5 Результати аналізу матеріалів

№ п/п (рис. 2.9)	Умовне найменування деталі	Найближчі відповідники
1	Втулка радіаторна	Ковар 29НК
2	Кільце	Мідь М06, Cu-OF
3	Тримач катоду	Нікель 97НЛ
4	Ізолятор	Алюмооксидна кераміка А-995
5	Ізолятор	Алюмооксидна кераміка А-995
6	Підігрівник	Вольфрам-реній WRe20
7	Керн катода	Нікель 97НЛ
8	Траверси	Молібден-реній МР-47
9	Лодочки	Нікель НВ3в
У місцях з'єднань було виявлено сліди золота та срібла, що застосовуються у припоях.		

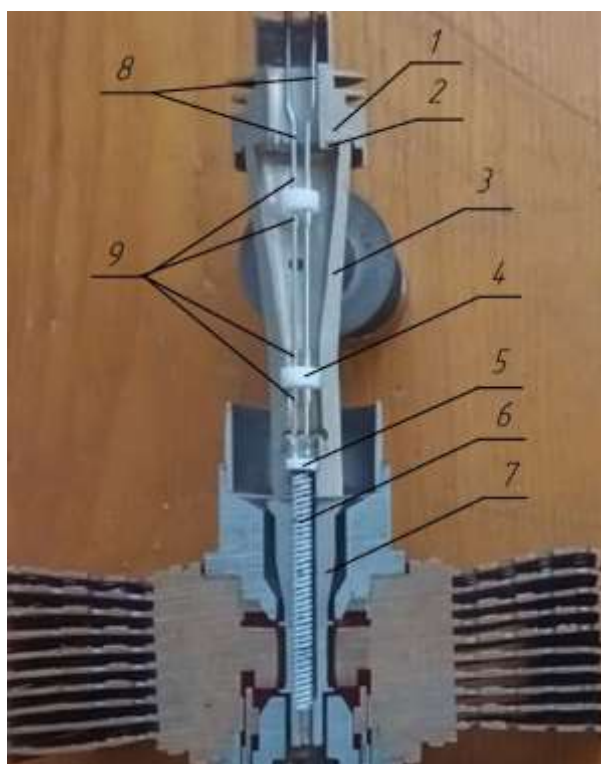


Рисунок 2.19 – Зразки деталей, для яких проводився аналіз матеріалів

Report of Elemental Analysis

Name of sample: радіатор

Spectrum: Spectrum2.evt

Duration: 18 seconds

Date: 21.06.2023 14:10

Alloy: 100.0% match - 29HK-BI-1, 29HK-BI, 29HK-1, 29HK, 29HK-BI-1, 29HK-BI, 29HK-1, 29HK

At. Numb	Element	Series	Intensity	Concentration
22	Ti	K	799	0.0629 ± 0.0481%
24	Cr	K	1476	0.0469 ± 0.0183%
25	Mn	K	8980	0.2891 ± 0.0159%
26	Fe	K	1892347	53.0631 ± 0.0809%
27	Co	K	706011	17.2914 ± 0.0611%
28	Ni	K	567064	29.2465 ± 0.0676%

Рисунок 2.20 – Аналіз матеріалу радіаторної втулки

2.5. Моделювання деталей і складальних одиниць у CAD-системах.

Оформлення конструкторської документації

За результатами вимірювань було змодельовано електронну гармату в Solidworks. У ході розробки постало питання внесення змін до конструкції з урахуванням виробничих можливостей.

Перша зміна – це заміна скляних деталей на керамічні. Таке рішення обумовлено тим що, по-перше, напрацювання підприємства по скляних деталях на приладах втрачені; по-друге, скло для електровакуумних приладів в Україні не виробляється.

Друга зміна – застосування зварних з'єднань там, де паяні з'єднання недоцільні.

Матеріалом ізоляційного ковпака та гільзи приймається корундова кераміка ВК 94-1 (22ХС). Керамічні вироби з цього матеріалу є вакуумнощільними, мають високу механічну міцність, термічну та хімічну стійкість, малі електричні втрати в широкому діапазоні частот і температур. Хімічний склад кераміки ВК 94-1 наведено в таблиці 2.6 [18, с. 1-2]. Фізико-механічні та електричні властивості наведені в таблиці 2.7 [18, с. 3-5].

Таблиця 2.6 Хімічний склад корундової кераміки ВК 94-1 [18]

Сполука	Частка, %
Al_2O_3	94.4
SiO_2	2.76
MnO	2.35
Cr_2O_3	0.49

Області застосування керамічних виробів з ВК 94-1:

- авіаційна, космічна та ракетна техніка (датчики, плати, підкладки, пластини);
- промислові підсилювачі (схеми);
- промислові НВЧ прилади (ізолятори та діелектричні вікна);
- у системах охолодження термоелектричних перетворювачів;
- ізолятори нагрівачів активних термостатів;
- у виробництві лазерних діодів.

Крім того, важливою особливістю виробів з ВК 94-1 є здатність утворювати вакуумнощільні високотемпературні з'єднання з металами. Таку кераміку можна паяти з міддю, нікелем, молібденом, вольфрамом, сплавами на основі заліза (наприклад, коваром). Для підвищення якості з'єднання поверхні гільзи та ковпачка, якими вони паятимуться до втулок з ковару, повинні мати покриття міддю та нікелем загальною товщиною близько 6 мкм.

При остаточному оформленні конструкторської документації також враховувалися особливості виготовлення деяких деталей і вузлів з урахуванням поточних можливостей цехів. Так, вводиться втулка, що має паяне з'єднання з ізоляційним ковпаком і зварне способом ЕПЗ – з радіаторною втулкою. Другою причиною введення цієї деталі у конструкцію – зручність закріплення гармати у патроні електронно-променевої установки. Геометрію радіаторної втулки змінено для забезпечення зварного з'єднання із зазначеною вище втулкою та паяного з'єднання з ізоляційною гільзою. Крім того, запропоновано з'єднання катода з тримачем способом ЕПЗ. У процесі складання електронної гармати ця операція передбачається

фінішною. Остаточну конструкцію реставраційного варіанту електронної гармати у 3D показано на рис. 2.21.

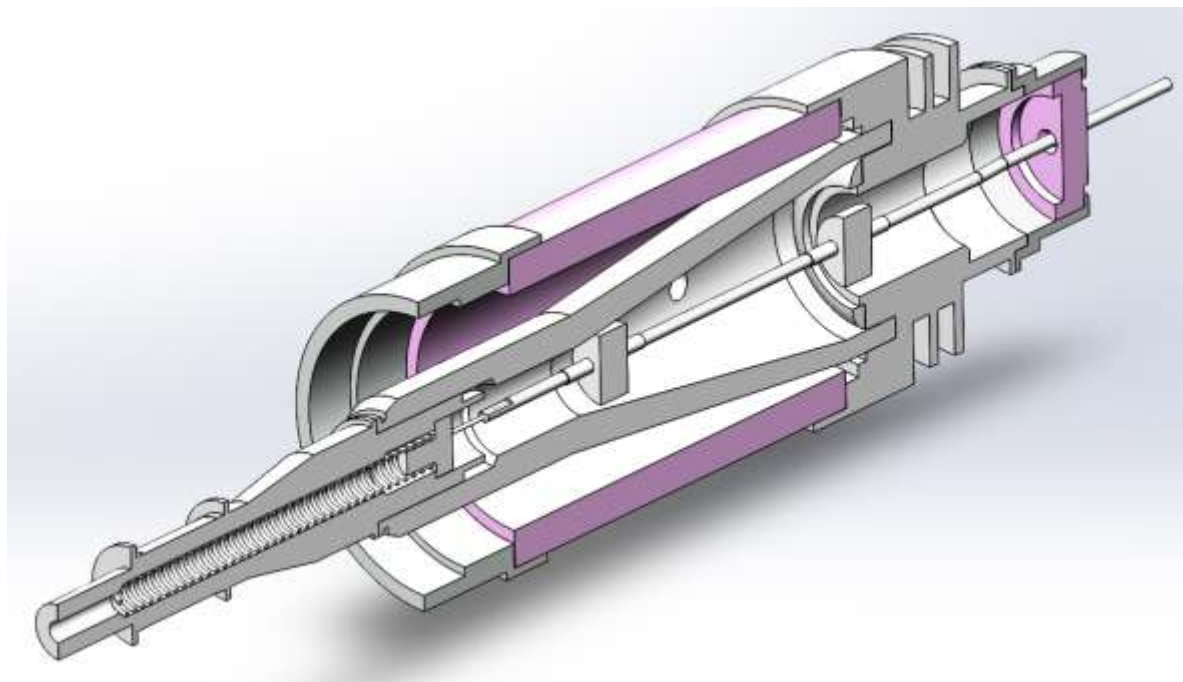


Рисунок 2.21 – 3D модель реставраційного варіанту електронної гармати
(поздовжній розріз)

Зварювання проводитиметься на установці СВ-219 конструкції Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона з комп'ютерним керуванням параметрами ЕПЗ (рис. 2.22).



Рисунок 2.22 – Установка електронно-променевого зварювання СВ219

Таблиця 2.7 Технічні характеристики електронно-променевої установки СВ-219 [20, с.15]

№ п.р.	Найменування параметра	Величина
1.	Внутрішні розміри вакуумної камери Д х Ш х В, мм	640 x 640 x 640
2.	Робочий тиск у вакуумній камері, мм рт.ст., не гірше	5×10^{-4}
3.	Час відкачування пустої, чистої вакуумної камери до 5×10^{-4} мм рт.ст., хв, не більше	10
4.	Двокоординатний робочий стіл: – розміри робочого стола, мм – робочий хід по координатах X-X, мм – робочий хід по координатах Y-Y, мм – швидкість переміщення, мм/с – точність позиціонування, мм, не гірше – вантажопід'ємність, кг	300 x 180 260 290 5...25 ± 0.1 30
5.	Електронно-променева зварювальна гармата: – максимальна прискорювальна напруга, кВ – максимальний струм пучка при 60 кВ, мА – мінімальний струм пучка при 60 кВ, мА – робочий вакуум, мм рт.ст., не гірше – діапазон робочих відстаней, мм – максимальний кут відхилення електронного пучка, °	60 100 1 5×10^{-5} 100...400 ± 3
6.	Високовольтне джерело живлення інверторного типу: – максимальна прискорювальна напруга, кВ – максимальна потужність електронного пучка, кВт – нестабільність прискорювальної напруги, %, не більше – нестабільність струму пучка при струмі 50 мА, %, не більше – максимальний струм фокусуючої котушки, мА – нестабільність струму фокусуючої котушки, %, не більше	60 6 ± 1 ± 2 800 0,5
7.	Вторинно-емісійна система РАСТР-6 для спостереження за зварювальною зоною: – межа зміни струму електронного пучка в режимі спостереження, мА – збільшення до, крат – роздільна здатність в режимі спостереження, мм – точність визначення положення електронного пучка, мм	1...5 5 0,1 $\pm 0,1$
8.	Загальні технічні характеристики установки: – силове електроживлення – споживана потужність, кВт·А, не більше – тиск стисненого повітря, кг/см², не менше – клас чистоти стисненого повітря згідно ISO 8573-1:2010	380 В, 50 Гц 22 5 7:4:4
9.	Вага установки, кг	2800
10.	Габаритні розміри установки Д х Ш х В, мм	3515 x 3735 x 2280

Установка СВ219 укомплектована робочою вакуумною камерою, яка оснащена захисним затемненим склом, що захищає від ультрафіолетового випромінювання та враження органів зору оператора установки. За склом розташовані сітки, що захищають від попадання відбитих електронів. Для захисту від іонізуючого випромінювання електронна гармата установки в порожнинній частині обладнана трубкою із свинцю. На випадок розриву вакуумної камери в ній встановлено запобіжники, які при різкій втраті вакууму відкривають клапан захоплення повітря.

Усі електрифіковані вузли живлення установки розташовані у закритому корпусі для запобігання ураження електричним струмом.

Також зварювальна установка СВ219 оснащена пристроєм захисного вимикання – швидкодіючою системою захисту, що застосовується в установках, які потребують високого рівня безпеки персоналу. Струмopовідні кабелі установки мають ізоляцію по всій довжині, екрановані, що запобігає електромагнітному випромінюванню, та захищені від механічних пошкоджень.

Електронно-променева установка СВ219 відноситься до I класу захисту від ураження електричним струмом [21]. Електротехнічні вироби цього класу мають робочу ізоляцію, елемент для заземлення, кабель для підключення до джерела живлення, заземлюючу жилу та вилку з заземлюючим контактом.

Проведення зварювання у важкодоступних для місцях, де користування штатною системою спостереження ускладнене, на установці СВ219 можливе завдяки наявності коаксіальної системи відеоспостереження на основі цифрових відеокамер.

Висновок за розділом.

Розроблено реставраційний варіант електронної гармати магнетрона. Визначено основні параметри приладів, необхідних для дослідно-конструкторських робіт. Підготовлено до демонтажу та демонтовано досліджувані електронні гармати, визначені їх геометричні та фізико-

технічні характеристики. На основі отриманих даних побудовано 3D моделі деталей і складальних одиниць реставраційного варіанту електронної гармати. Виконано аналіз матеріалів деталей гармати. Було внесено зміни до конструкції гармати, а саме додано керамічні деталі ізоляції. Заплановано додати в технологічний процес виготовлення реставраційного варіанту електронної гармати операції із застосуванням ЕПЗ.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕПЗ ЕЛЕКТРОННОЇ ГАРМАТИ

3.1. Базування електронної гармати у камері установки ЕПЗ

Для зварювання виробів, що мають форму тіл обертання, в електронно-променевій установці СВ-219 застосовується універсальний обертальний стіл.

Обертальний стіл виготовлений на базі високоточного черв'ячного редуктора HPG 045 C7 47 PR фірми Gudel. Точність позиціонування не гірше ± 0.1 мм забезпечується приводом, що складається з електродвигуна Siemens моделі 1FK7032-2AK74-1SA0 з максимальною частотою обертання 6000 об/хв (датчик кута повороту – багатополісний резольвер), який через зубчасто-пасову передачу з передавальним відношенням $i = 2$ передає обертання на редуктор з передавальним відношенням $i = 47$. Такий привід має розрахункову частоту обертання деталі в межах 1.5...25 об/хв.

Універсальний обертальний стіл має компактні розміри. Його вантажопідйомність – до 10 кг.

Універсальний обертальний стіл може бути встановлений на поверхню робочого стола в одному з двох робочих положень: або з горизонтальною віссю обертання (рис. 3.1), або з вертикальною (рис. 3.2). У першому випадку він може використовуватися спільно з задньою бабкою (рис. 3.3, 3.4).

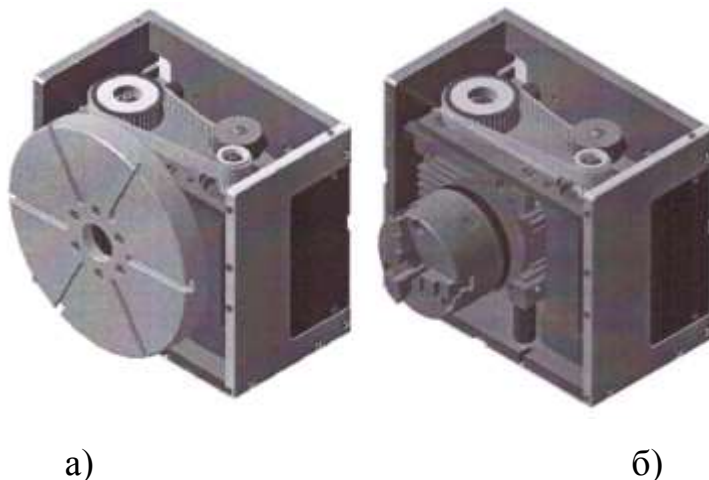


Рисунок 3.1 – Універсальний обертальний стіл в положенні з горизонтальною віссю обертання

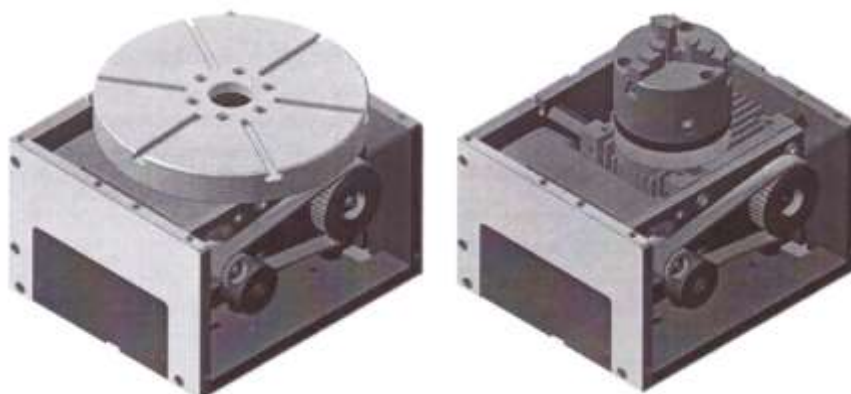


Рисунок 3.2 – Універсальний обертальний стіл в положенні з горизонтальною віссю обертання

Для утворення кільцевого шва на циліндричній поверхні пропонується базування електронної гармати у патроні з підтисканням заднім центром.

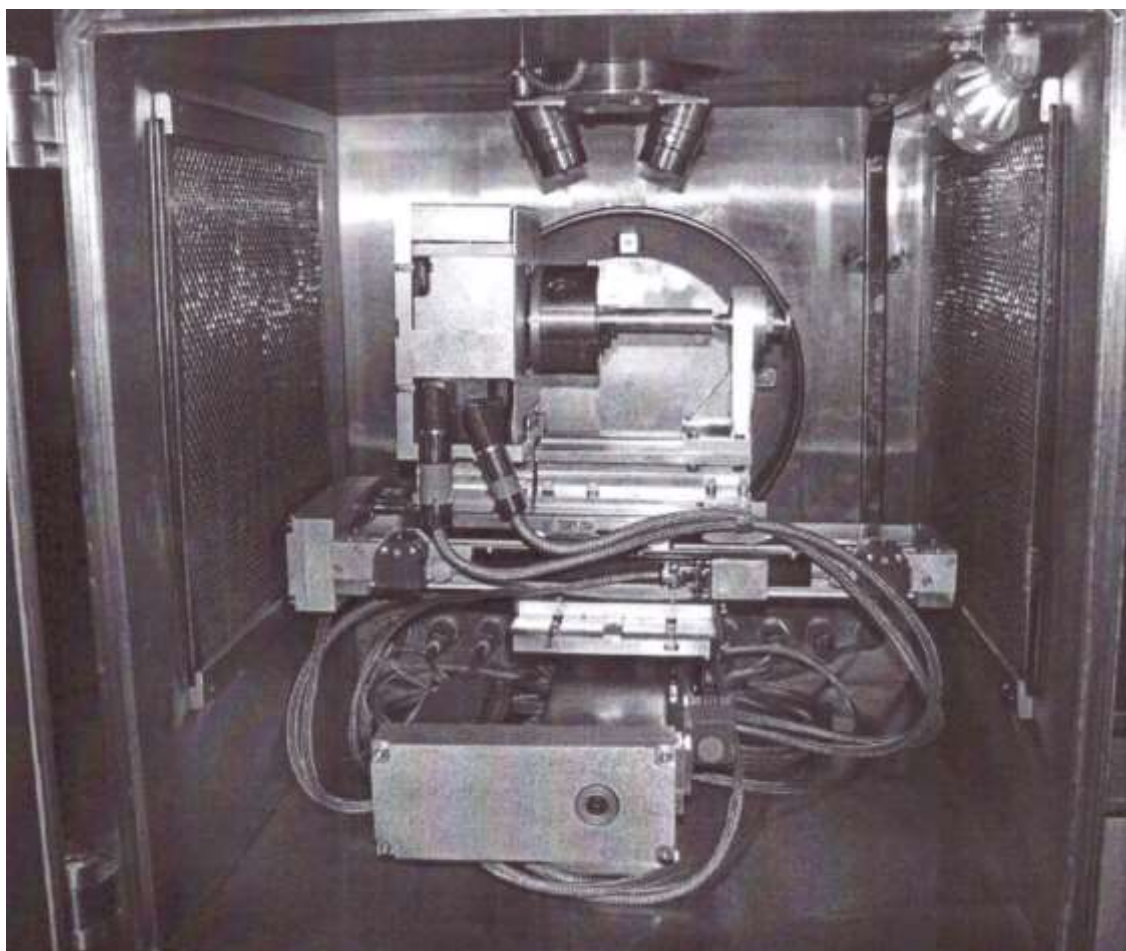


Рисунок 3.3 – Двохкоординатний робочий стіл з установленими на ньому універсальним обертальним столом і задньою бабкою.

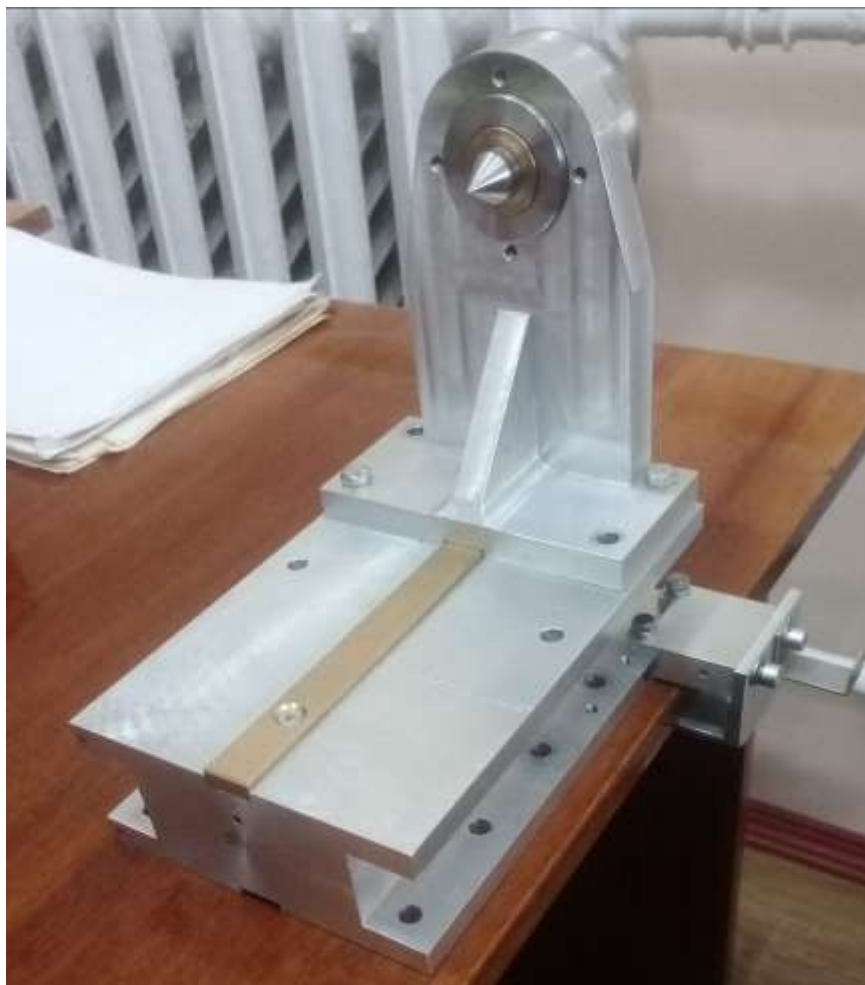


Рисунок 3.4 – Задня бабка з комплекту оснащення установки ЕПЗ

Перевагою такого способу закріплення є те, що електронно-променева гармата зварювальної установки залишатиметься нерухомою протягом операції. Це забезпечить точність позиціонування променю під час зварювання на всій довжині з'єднання.

Задня бабка кріпиться до плити, що в свою чергу кріпиться до стола верстата, та позиціонується прямою по центру плити.

Гармата затискається в патроні за втулку, що прикриває ізоляційний ковпак. Таке рішення унеможливило пошкодження керамічних деталей під час зварювальної операції. Керн катода підтискається заднім центром через

центральный отвір деталі. 3D моделі патрона, задньої бабки та закріплення електронної гармати показані на рис. 3.5, 3.6, 3.7.

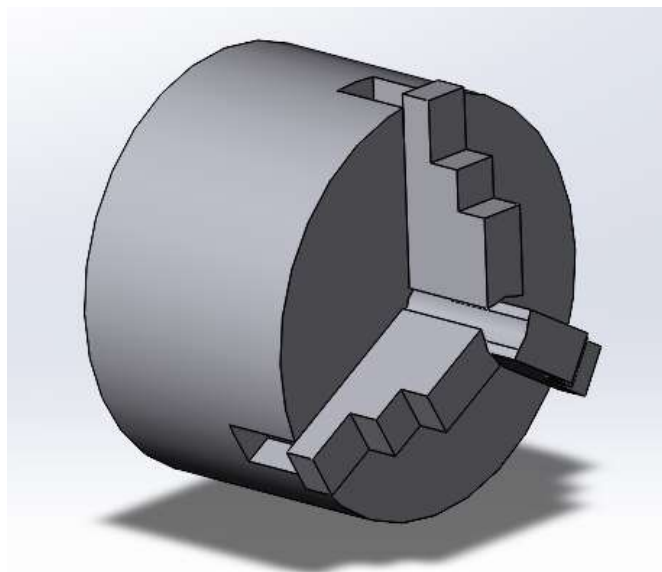


Рисунок 3.5 – 3D модель патрона

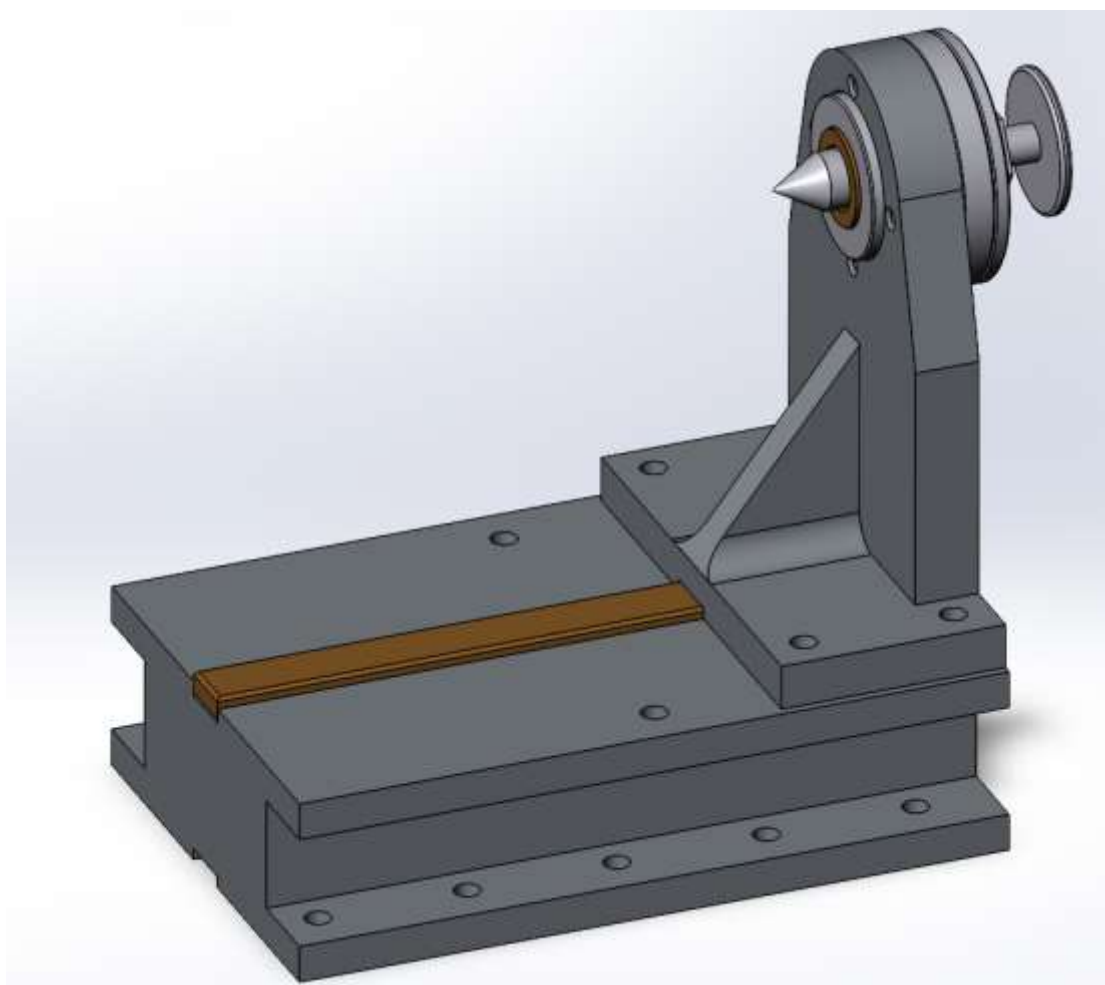


Рисунок 3.6 – 3D модель задньої бабки

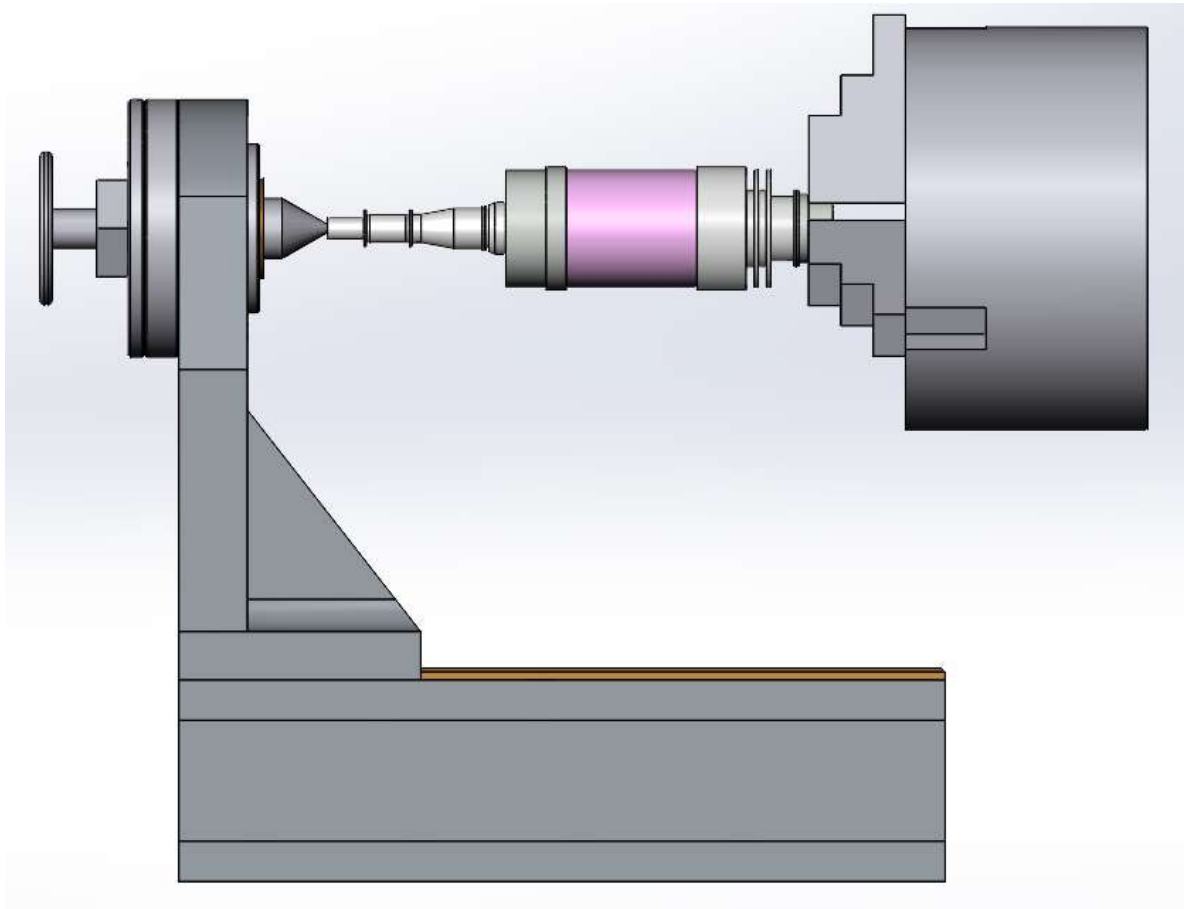


Рисунок 3.7 – Візуалізація закріплення електронної гармати в 3D

3.2. Симуляція процесу ЕПЗ

Симуляція процесу ЕПЗ виконана у програмі Simufact Welding, яка передбачає розрахунки процесів дугового, лазерно-променевого, електронно-променевого, контактного точкового зварювання, а також паяння. Перевагами Simufact Welding є:

- розрахунки температурних полів;
- візуалізація структурних змін компонентів під час і в результаті процесу зварювання;
- візуалізація залишкових напружень внаслідок структурних змін;
- детальний опис процесу.

Задачею симуляції є підбір параметрів режиму ЕПЗ.

Для завантаження зварюваних елементів у програму необхідно зберегти їх 3D моделі у форматах, створених компанією Simufact Engineering – це ARC, FEM, FEB, SFC або у STL. Керн катода зберігається у STL форматі напряму, а складання попередньо необхідно зберегти як деталь, інакше компонент не відображатиметься у Simufact Welding. Попередньо перед імпортом моделей було виконано розбиття сітки для зварюваних елементів у Abaqus. У Simufact Welding два компоненти по координатах переміщуються один до одного так, як вони мають позиціонуватися при зварюванні. Зварювані елементи показані на рис. 3.8.

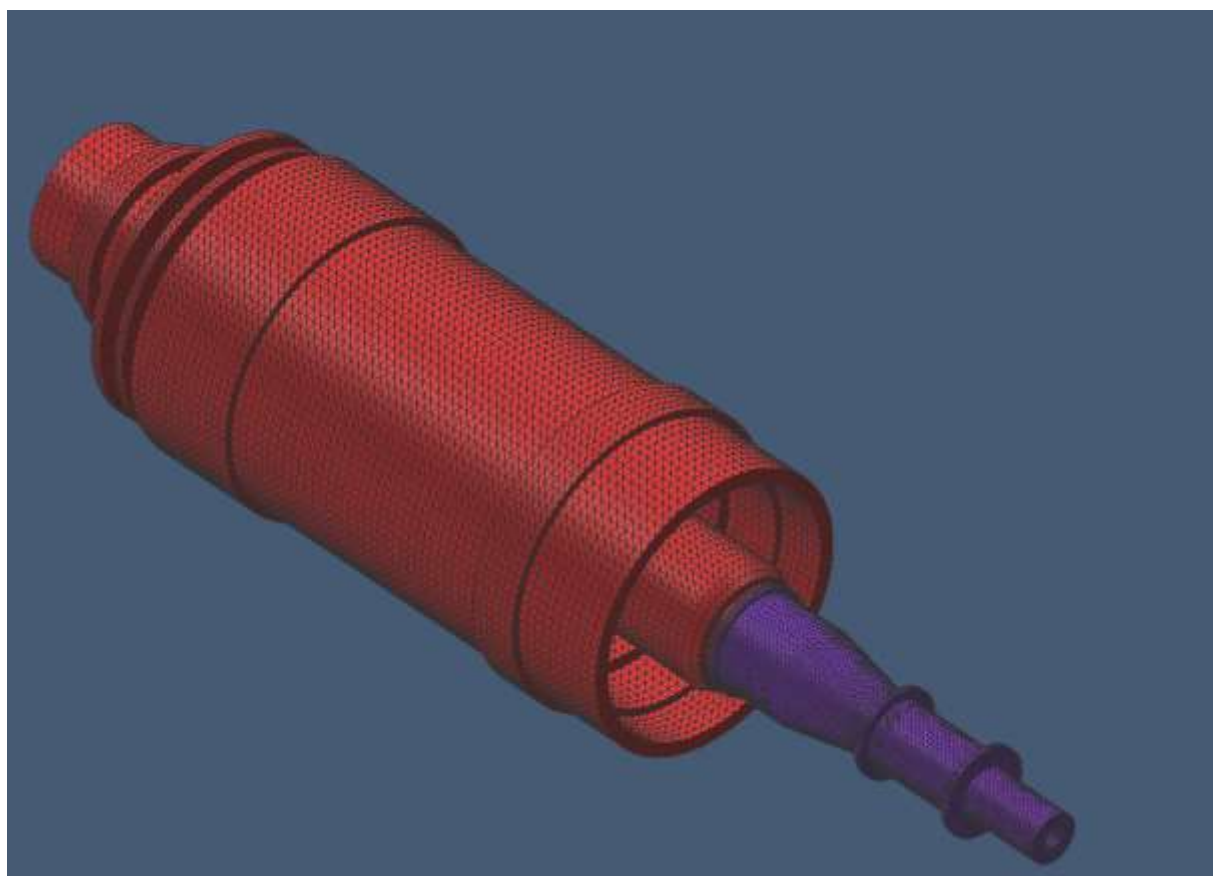


Рисунок 3.8 – Моделі зварюваних елементів у Simufact Welding

Далі обирається матеріал елементів. У вкладку Chemical composition (рис. 3.9) вноситься хімічний склад сплаву. У вкладку Thermal properties вносяться температурні властивості матеріалу (рис. 3.10). Вкладка Mechanical properties (рис. 3.11) потребує внесення механічних властивостей

сплаву. У вкладку Electromagnetic properties (рис. 3.12) вносяться електромагнітні властивості сплаву.

Properties for New_Material (modified)

File Tools Help

Menu

- General properties
- Chemical composition
- Thermal properties
- Mechanical properties
- Flow curves
- Anisotropy
- Damage
- Electromagnetic properties
- Microstructure
- Phase transformation
- Data sheet

Chemical composition (percentage mass portion)

Element	Minimum	Maximum	Fixed value
Mn	0	0.3	0
Si	0	0.2	0
Ni	96.05	97.9	97
Fe	0	0.5	0

Components

Ag Al As Au B Be Bi C Cd Ca Ce Co Cr Cu Fe Ga Gd H Hf In La Li Mg

Mn Mo N Nb Nd Ni O P Pb Pd Pt Re Ru S Sb Se Si Sn Sr Ta Te Ti V

W Y Zn Zr

User-defined

Equivalent values (calculated from the composition above)

Name	Minimum	Maximum	Fixed value
Carbon CEV	6.40333	6.61333	6.46667
Carbon CET	2.40125	2.5125	2.425
Carbon PCM	1.60083	1.68833	1.61667
Nickel (eq Schaeffler)	96.05	98.95	97
Nickel (eq DeLong)	96.05	98.95	97

Brief description (hold Ctrl key to lock)

Add titanium (Ti)
Titanium will be added to the list of the chemical composition.

Reset OK Cancel Apply

Рисунок 3.9 – Задання хімічного складу матеріалу

Properties for New_Material (modified)

File Tools Help

Menu

- General properties
- Chemical composi...
- Thermal properties
- Mechanical propert...
- Flow curves
- Anisotropy
- Damage
- Electromagnetic pr...
- Microstructure
- Phase transformation
- Data sheet

Thermal properties

Parameter	Type	Constant values	Tables
Thermal conductivity:	Constant	90.1 W/(m·K)	Create table
Specific heat capacity:	Constant	460.0 J/(kg·K)	Create table
Dissipation factor:	None	Constant value not used.	Create table

Only used for welding simulations:

Melting point:	1453 °C
Solidus temperature:	1350 °C
Latent heat:	292.4 J/g

Brief description (hold Ctrl key to lock)

Reset OK Cancel Apply

Рисунок 3.10 – Температурні властивості матеріалу

Properties for New_Material (modified)

File Tools Help

Menu

- General properties
- Chemical composi...
- Thermal properties
- Mechanical propert...
- Flow curves
- Anisotropy
- Damage
- Electromagnetic pr...
- Microstructure
- Phase transformation
- Data sheet

Mechanical properties

Parameter	Type	Constant values	Tables
Young's modulus:	Constant	834000 MPa	Create table
Poisson's ratio:	Constant	143 -	Create table
Density:	Constant	8890.0 kg/m³	Create table
Thermal expansion coeff.:	Constant	0.000024 1/K	Create table

Only for information / not used for simulation:

Yield strength:	Constant	393 MPa	Create table
Tensile strength:	Constant	785 MPa	Create table
Ultimate strain:	None	Constant value not used.	Create table

Brief description (hold Ctrl key to lock)

Ultimate strain

Reset OK Cancel Apply

Рисунок 3.11 – Механічні властивості матеріалу

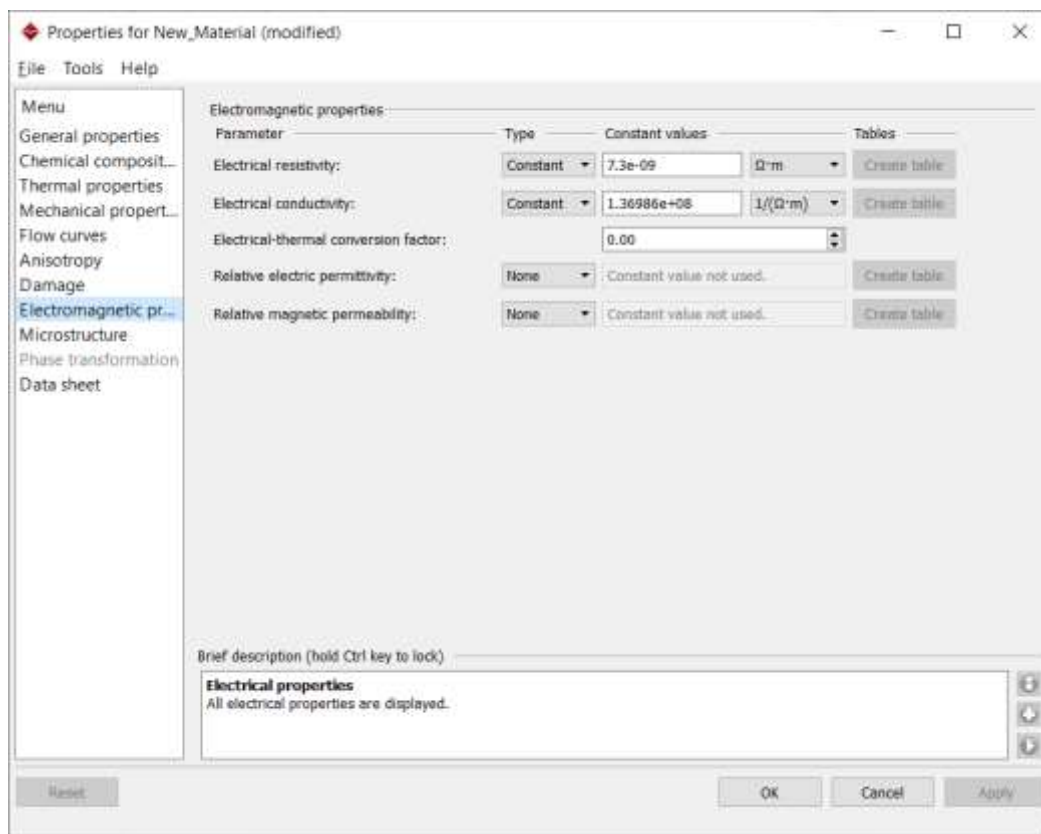


Рисунок 3.12 – Електромагнітні властивості матеріалу

Наступний етап – проектування траєкторії зварювання. Для цього спершу створено попередньо 25 точок на стикові, де має бути зварний шов (рис. 3.13).

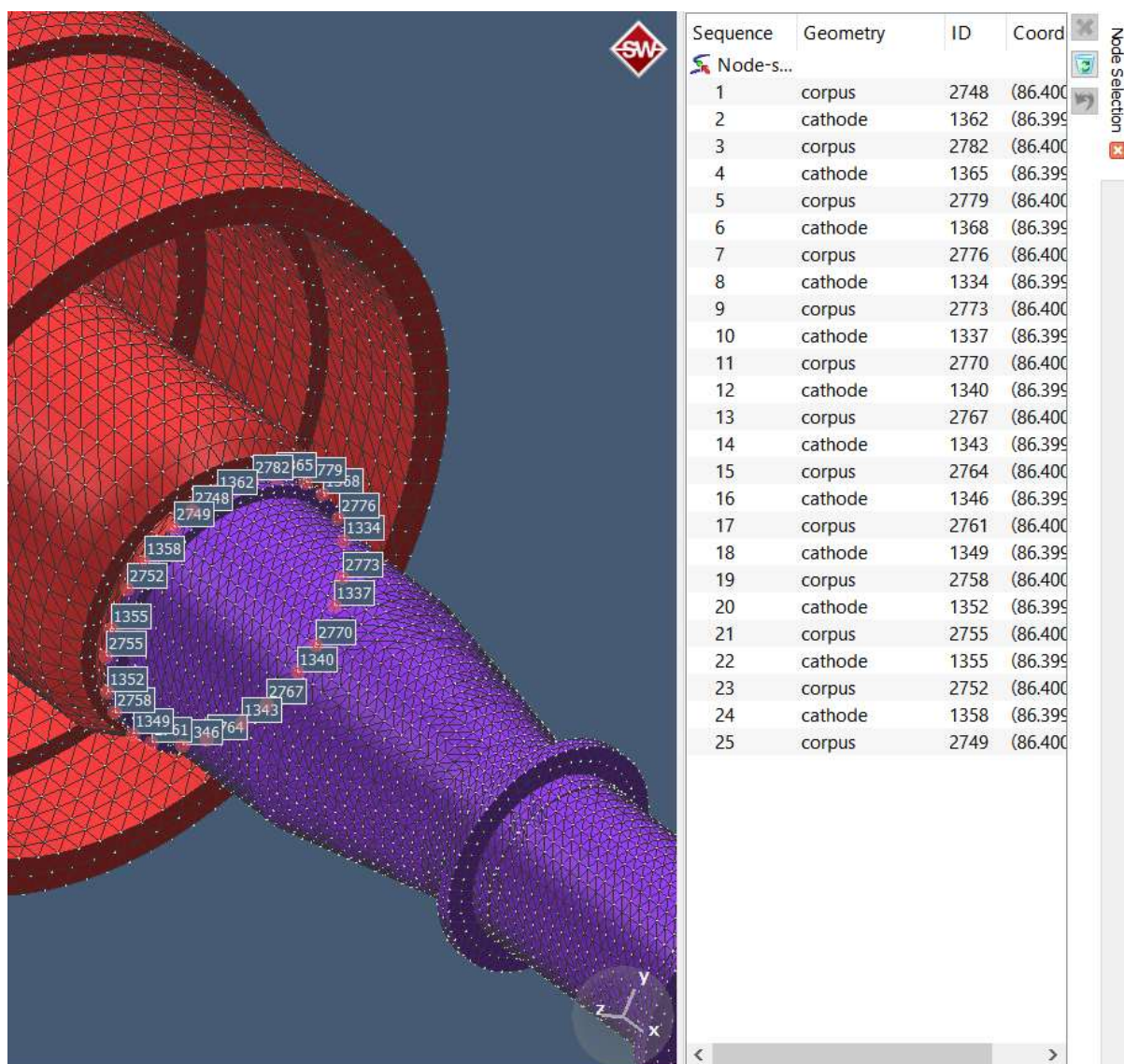


Рисунок 3.13 – Розміщення точок траєкторії зварювання на вузлі.

При формуванні траєкторії слід обрати опцію Welding line, оскільки в інакшому випадку ця траєкторія буде сукупністю зварних точок, а не єдиним швом, який необхідно отримати. На візуалізації траєкторії (рис. 3.14) чорні стрілки позначають кут променю, жовті стрілки – напрямок зварювання. Червоними точками позначено місця на елементах, по яких будувалася траєкторія (див. рис. 3.13).

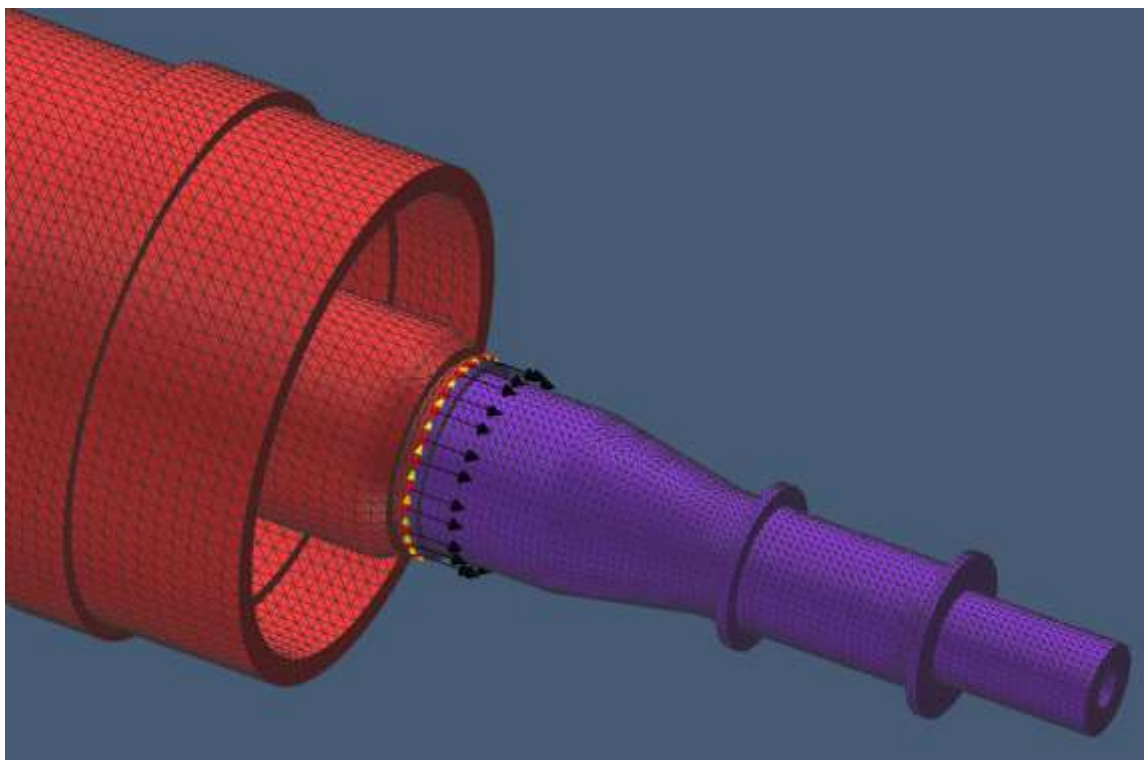


Рисунок 3.14 – Візуалізація траєкторії зварювання

Після створення траєкторії зварювання підбирається режим зварювання. Необхідно спершу зазначити позицію РН або 5G Horizontal (рис. 3.15) [22].

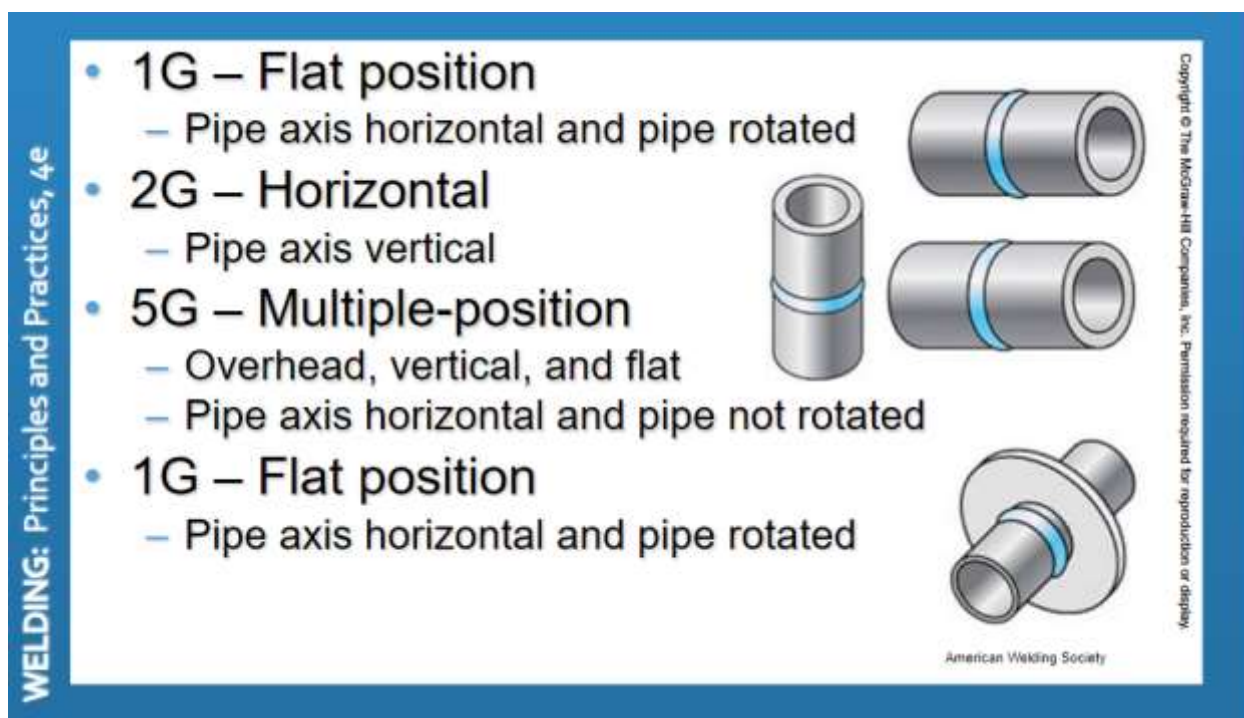


Рисунок 3.15 – Зварювальні позиції

Фактично позиція повинна бути 1G, оскільки зварювані елементи обертаються в патроні установки. Але через обмеження студентської версії програми Simufact Welding, а саме непорушність моделей при моделюванні процесу. Для запобігання спотворення моделі процесу необхідно відключити опцію гравітації. Таким чином, при створенні симуляції процесу обертаються не зварювані елементи, а електронно-променева гармата навколо них.

Далі підбираються швидкість та потужність зварювання (рис. 3.16). ККД процесу обирається 0.9 для ЕПЗ.

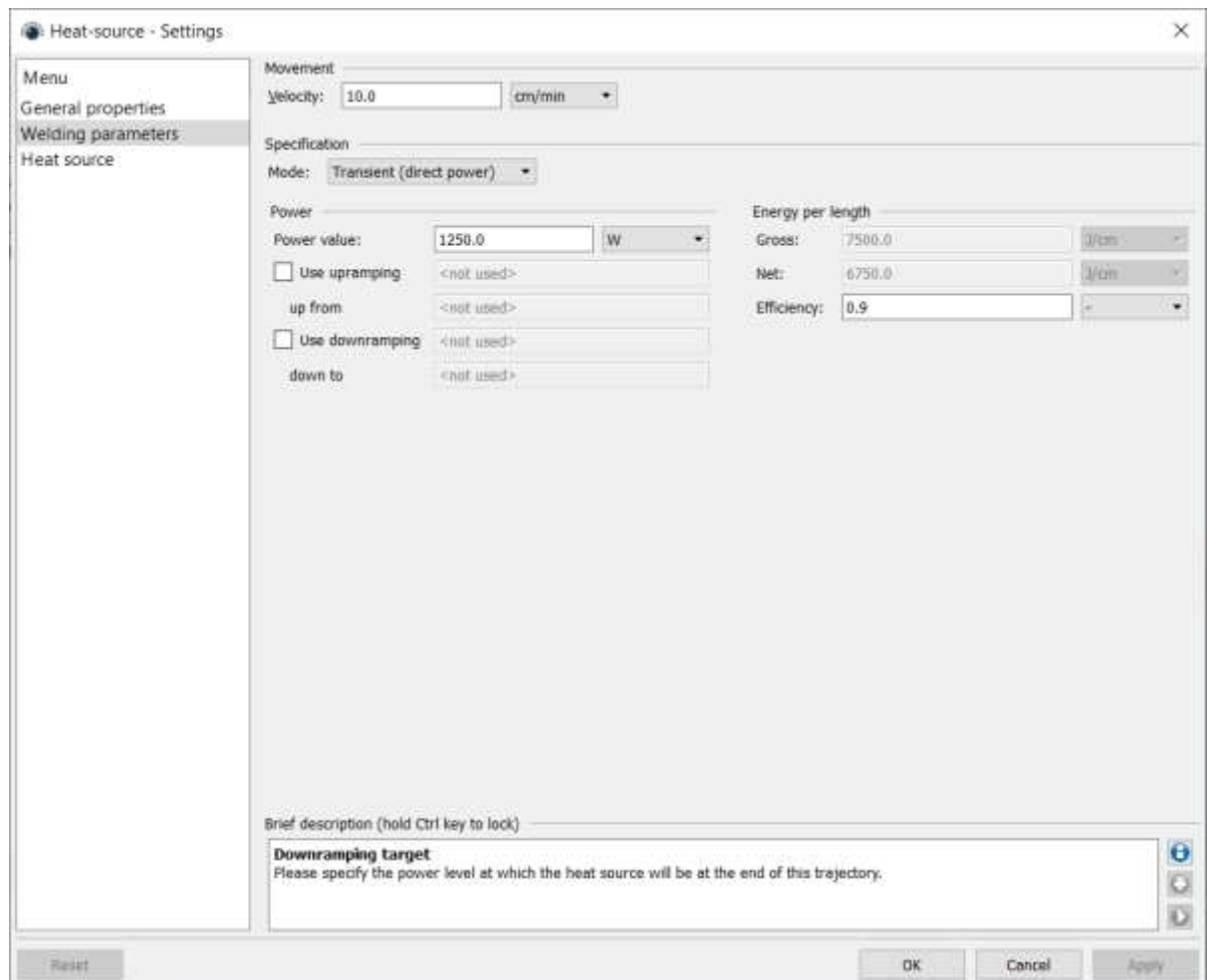


Рисунок 3.16 – Задання швидкості, потужності та ККД зварювання

Після цього створені траєкторія та параметри джерела тепла заносяться до об'єкту Robot у дереві проєкту. Таким чином, у вкладці Times

має бути три колонки: параметри робота, траєкторії та джерела тепла (рис. 3.17).

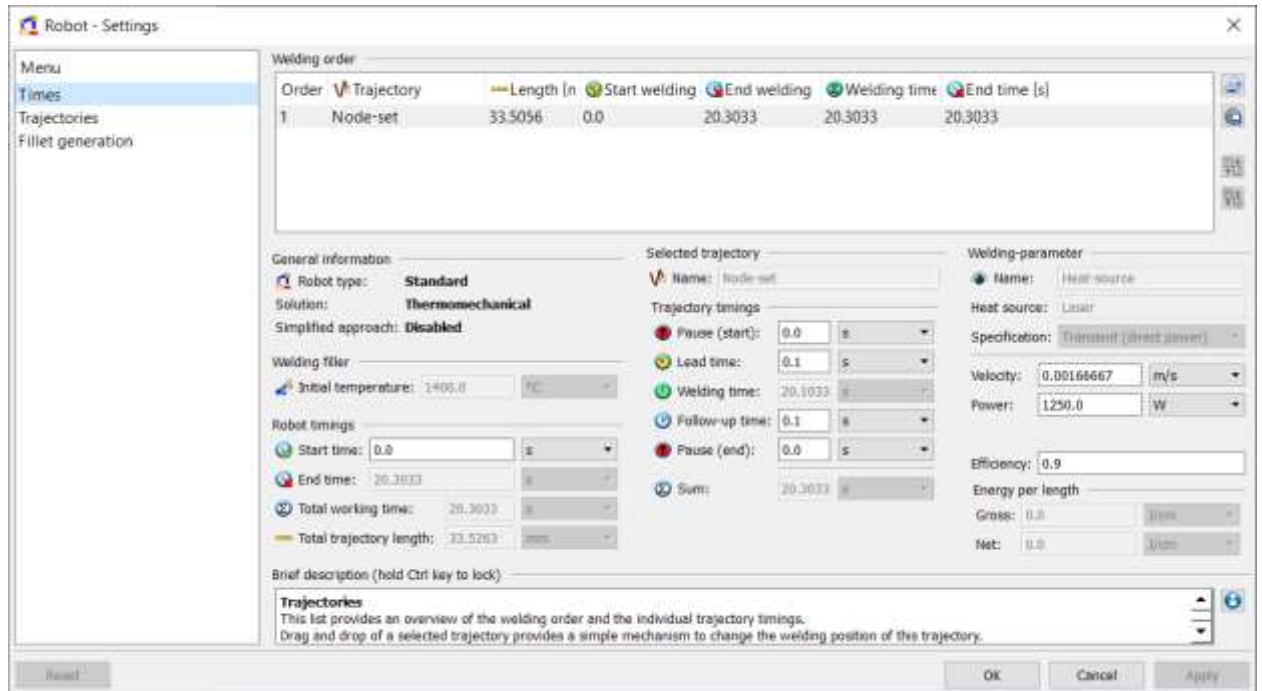


Рисунок 3.17 – Параметри робота

При створенні траєкторії (див. рис. 3.14) промені були направлені вздовж елементів, що не відповідає реальному процесу. У вкладці Trajectories можна налаштувати промінь правильно (рис. 3.18).

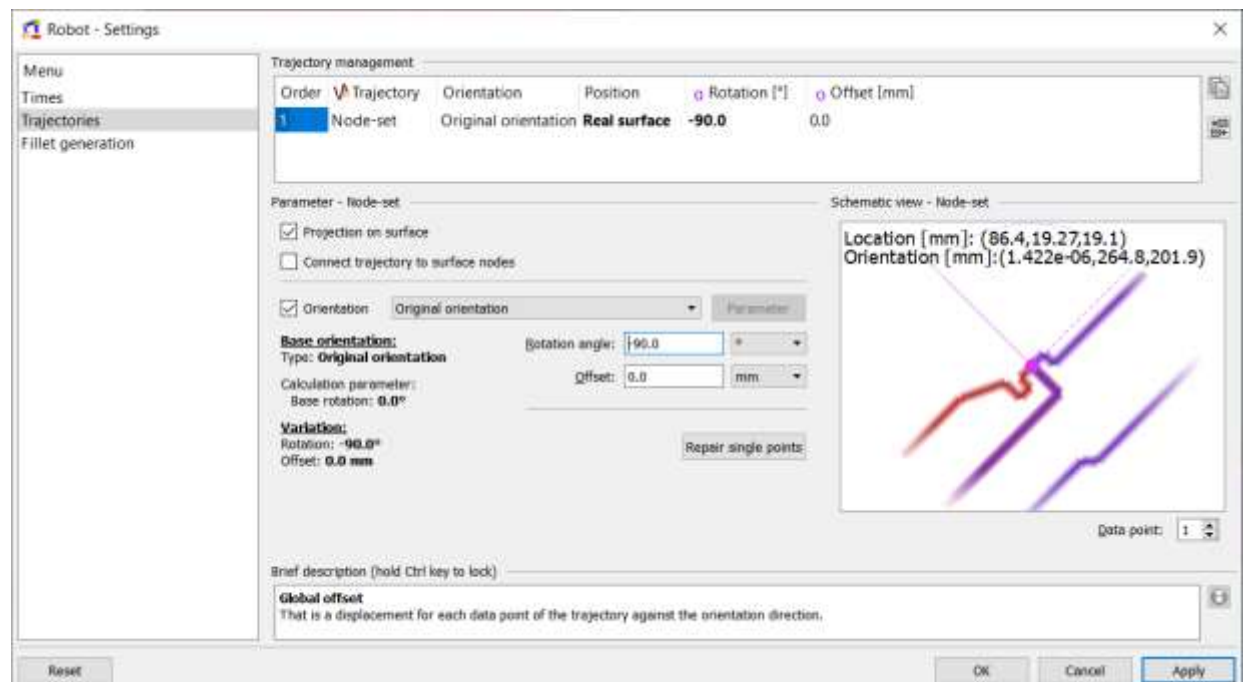


Рисунок 3.18 – Налаштування променю

Кут виставляється мінус 90° , щоб промінь був напрямлений на циліндричну поверхню, по якій проходить стик тримача та керна катода. Також необхідно обрати функцію Projection on surface. Порівняння положення променя після побудови траєкторії та після налаштування показане на рис. 3.19.

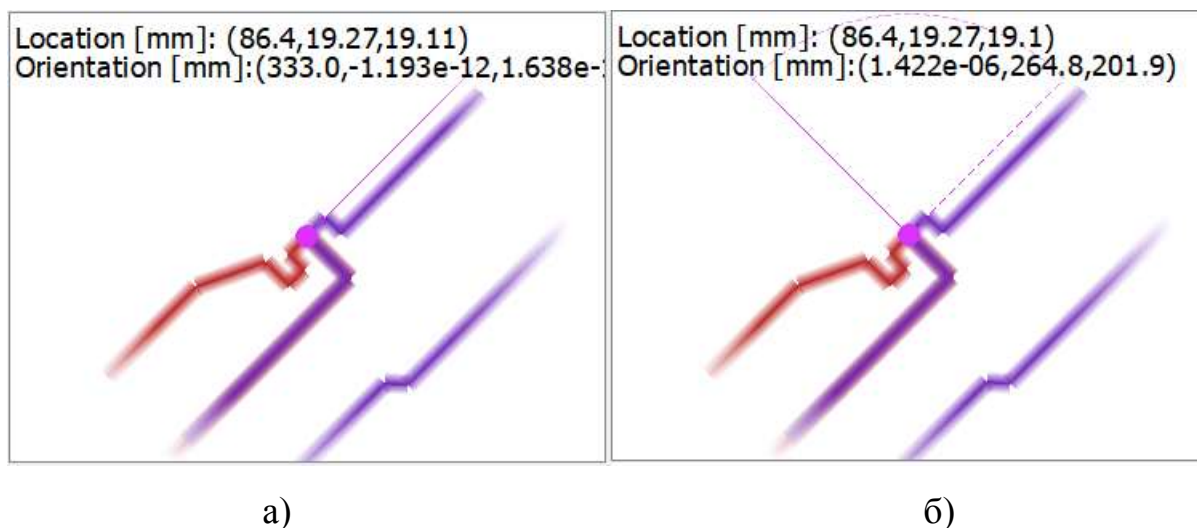


Рисунок 3.19 – Положення променя до та після налаштування

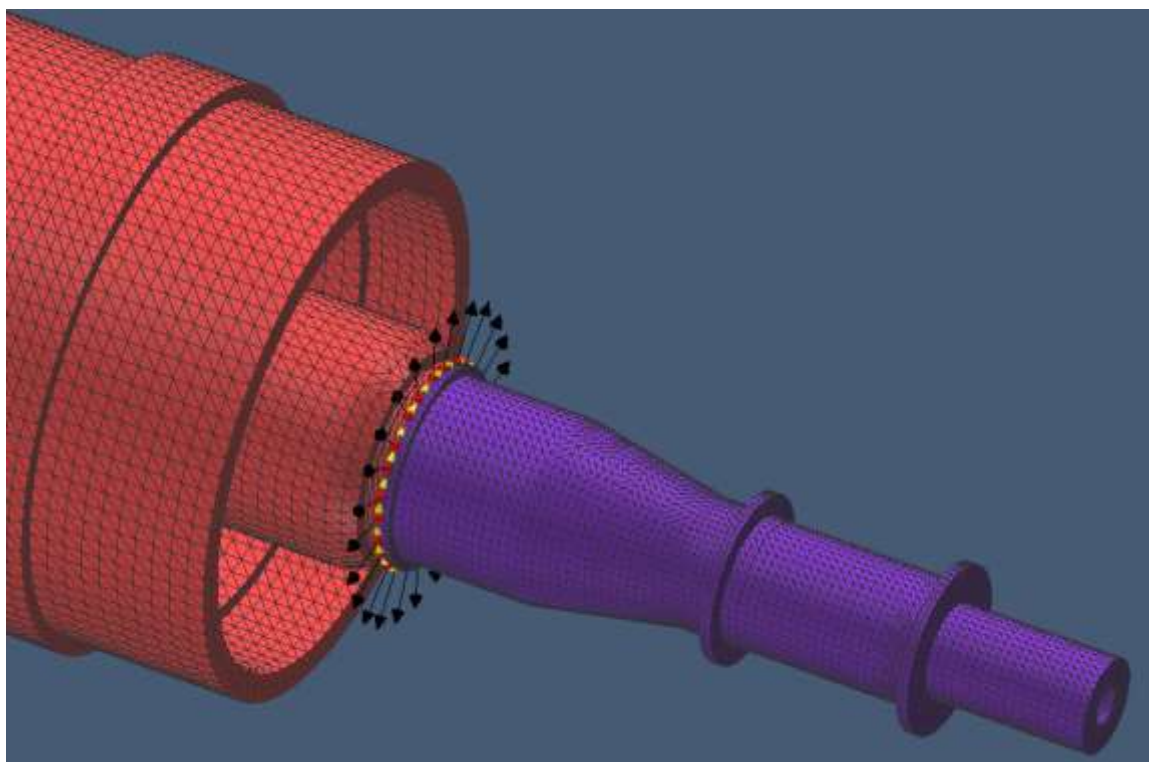


Рисунок 3.20 – Траєкторія зварювання після налаштування положення променю

Далі конфігурується аналіз процесу (рис. 3.21). Варто обирати термомеханічний аналіз, оскільки, очевидно, температурний аналіз показує лише зміни температури під час зварювання, а при термомеханічному аналізі також виводиться розподіл залишкових напружень.

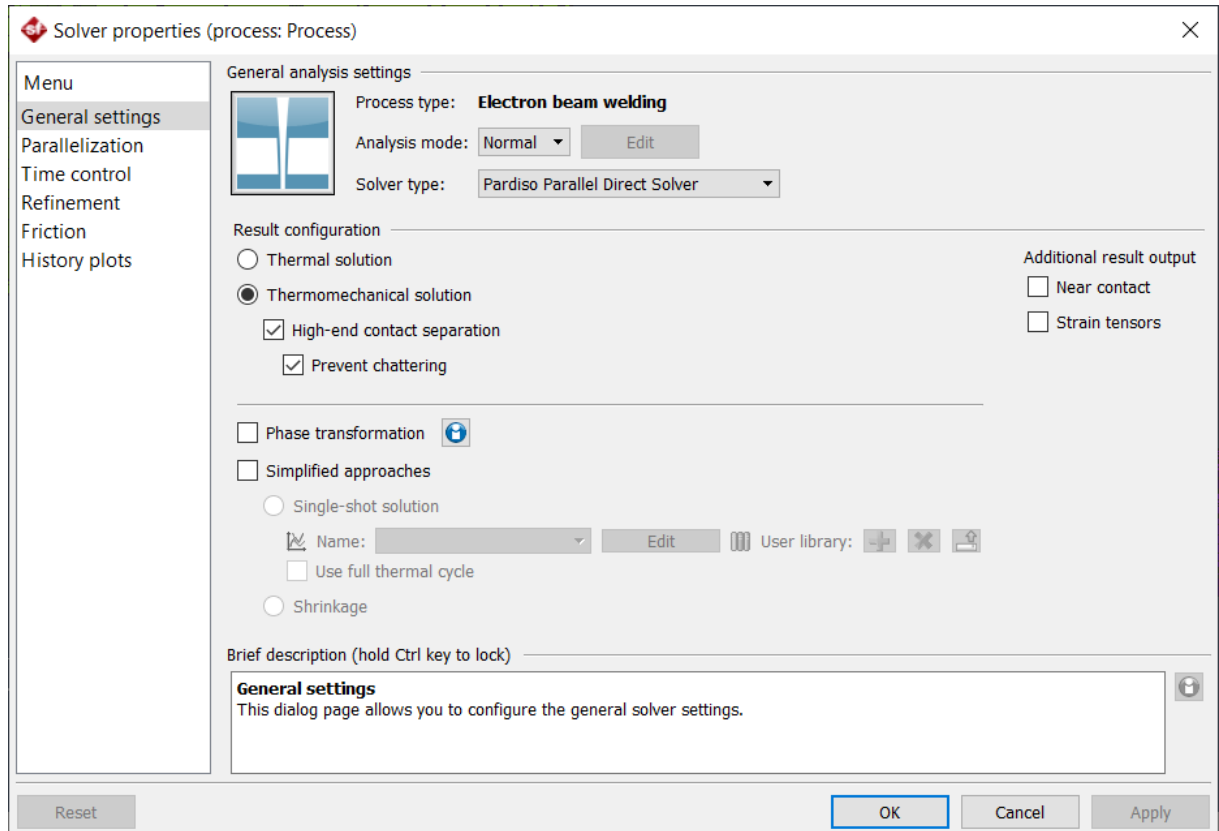


Рисунок 3.21 – Конфігурування аналізу процесу зварювання

Попередньо виконавши збереження моделі процесу запускається аналіз. В залежності від складності моделей, зварюваних елементів, їхнього розбиття на сітки і самого процесу зварювання (кількість точок траєкторій, часові інкременти тощо) отримання результатів займає від кількох хвилин до 2...3 год. Simufact Welding має функцію виводу результатів аналізу процесу в реальному часі, тобто, перегляд оброблених даних доступний до перегляду ще до завершення аналізу.

Розподіл температур після зварювання перед охолодженням (20.3 с з початку операції) показаний на рис. 3.22.

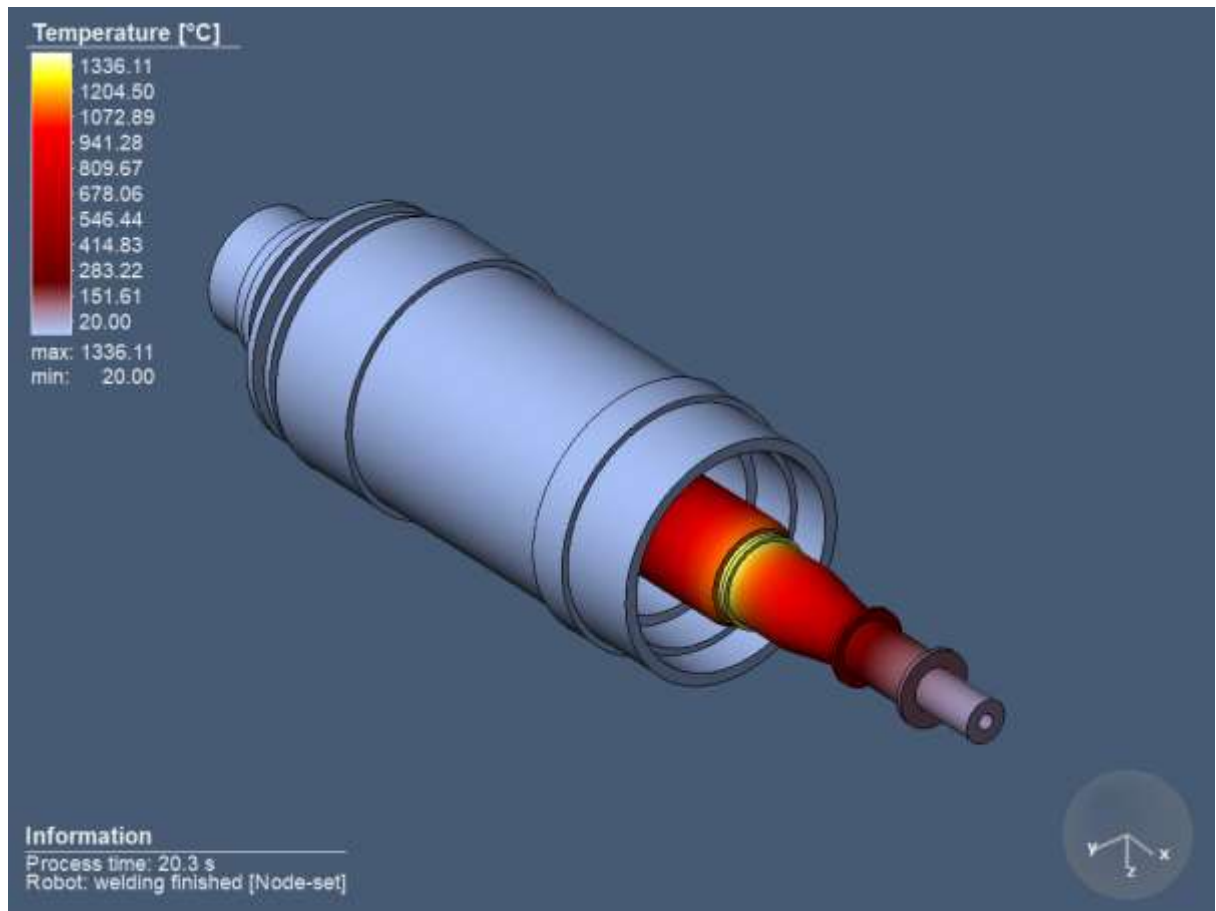


Рисунок 3.22 – Розподіл температур після зварювання

Для визначення необхідної швидкості зварювання необхідно отримати розподіли залишкових напружень. При заданні початкових параметрів було обрано швидкість 200 мм/хв. Розподіл залишкових напружень для початкових параметрів режиму зварювання показано на рис. 3.23. Видно, що швидкість замала – вздовж стику утворюється велика кількість рідкого металу. В реальних умовах це виглядало б як неякісний зварний шов, а в гіршому випадку – зруйновані зварювані елементи в місцях розплаву.

Аналіз процесу запускатиметься з збільшенням швидкості зварювання на 50 мм/хв щоразу доти, доки максимальні напруження не стануть менше за межу текучості матеріалу (для 97НЛ $\sigma_T = 393$ МПа). Крім того, оскільки наслідком надто високої швидкості зварювання є деформація шву після

охолодження через недостатню кількість тепла в місці з'єднання, існує імовірність того, що підбір режиму зварювання не обмежиться лише зміною швидкості.

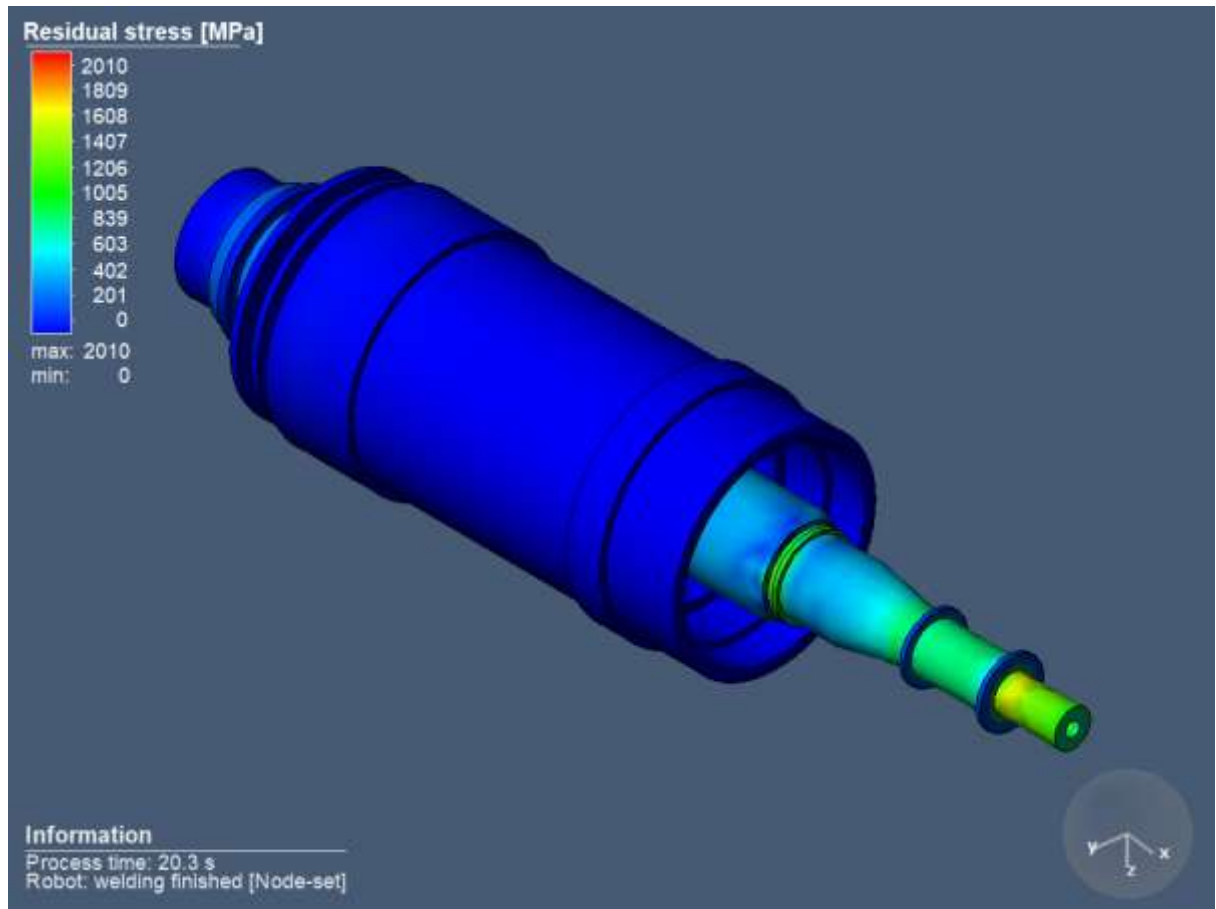


Рисунок 3.23 – Розподіл залишкових напружень при швидкості зварювання 100 мм/хв

Залежність величини залишкових напружень від швидкості зварювання подана в табл. 3.1. На основі даних з табл. 3.1 побудовано графік залежності $\sigma = f(V)$ (рис. 3.24).

Очевидно, що для заданого процесу швидкість повинна бути не менше $V = 550$ мм/хв, оскільки саме при ній максимальні залишкові напруження $\sigma = 383$ МПа $< \sigma_T = 393$ МПа. З подальшим підвищенням швидкості зварювання зменшення залишкових напружень стає менш суттєвим, а при понад 700 мм/хв є імовірність непроварів і деформації шву після охолодження.

Таблиця 3.1 Залежність величини залишкових напружень σ від швидкості зварювання V

Швидкість зварювання V , мм/хв	Залишкові напруження σ , МПа	Час зварювання t , с
100	2010	20.3
150	1838	13.6
200	1637	10.3
250	1401	8.3
300	1134	6.9
350	856	6.0
400	633	5.2
450	510	4.7
500	435	4.3
550	383	3.9
600	344	3.6
650	312	3.3
700	285	3.1
750	262	2.9
800	241	2.7
850	222	2.6
900	205	2.4
950	190	2.3
1000	175	2.2

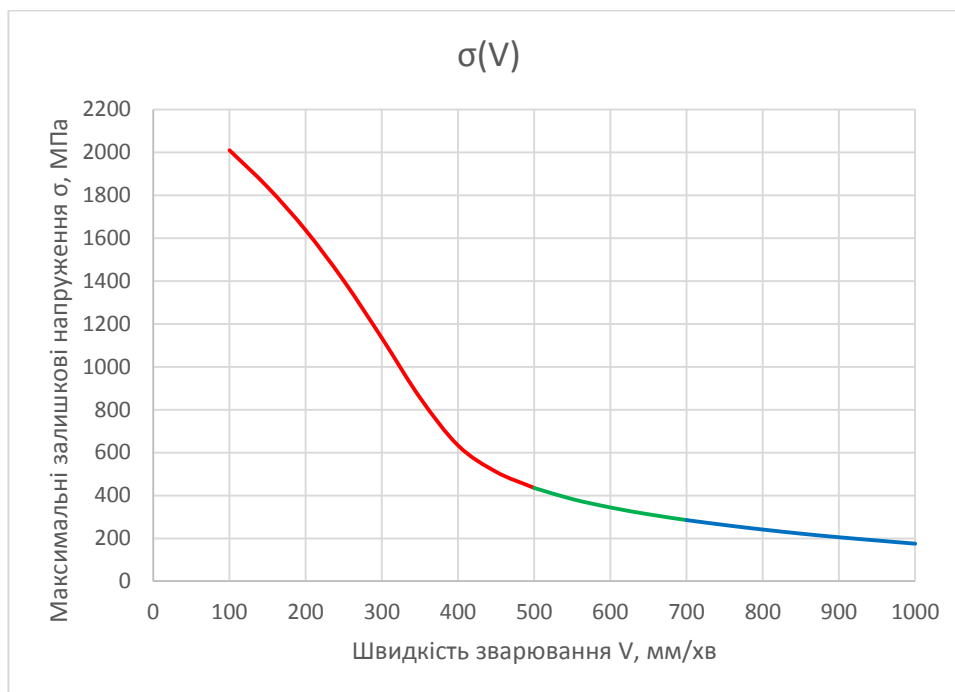


Рисунок 3.24 – Графік залежності максимальних залишкових напружень від швидкості зварювання. Зеленим кольором позначена ділянка кривої, що відповідає оптимальним швидкостям

На рис. 3.25 показано розподіл залишкових напружень при швидкості зварювання 650 мм/хв.

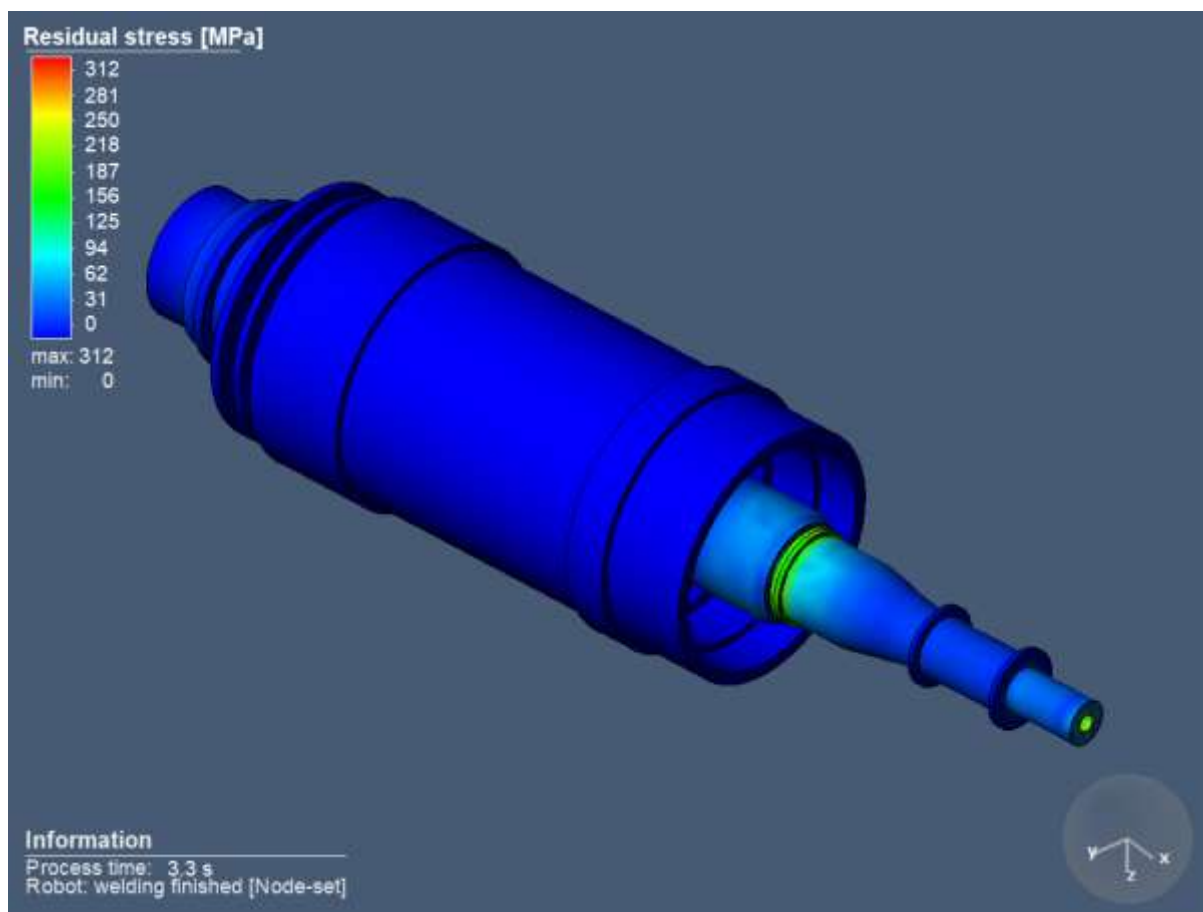


Рисунок 3.25 – Розподіл залишкових напружень при швидкості зварювання 650 мм/хв

Найбільші напруження виникають у місці зварного шву та на кромці, що підтискається заднім центром при закріпленні вузла в установці.

Прийняті параметри режиму зварювання зведені до табл. 3.2.

Таблиця 3.1 Залежність величини залишкових напружень σ від швидкості зварювання V

Параметр	Значення
Прискорювальна напруга $U_{пр}$, кВ	60
Струм пучка I , мА	50
Робоча відстань, мм	200
Потужність променю, Вт	1250
Швидкість зварювання V , мм/хв	650

Висновок за розділом.

Проведено експериментальне випробування процесу електронно-променевого зварювання електронної гармати в електронно-променевій установці СВ-219 із застосуванням обертального столу на базі високоточного черв'ячного редуктора HPG 045 C7 47 PR фірми Gudel. Результати випробувань показали, що вибрана компоновка установки забезпечує надійний захист ізоляційного ковпака, що унеможливорює пошкодження керамічних деталей під час зварювальної операції. При цьому точність позиціонування променя під час зварювання на всій довжині з'єднання задовольняє вимогам до якості готового виробу.

Проведено моделювання процесу електронно-променевого зварювання електронної гармати. Створено модель процесу у Simufact Welding, де експериментальним шляхом визначено параметри режиму зварювання, які забезпечують міцне з'єднання елементів і мінімальні залишкові напруження. Визначені параметри режиму зварювання рекомендовано застосовувати при виготовленні пробних екземплярів реставрованих електронних гармат.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ

Розділ із розроблення стартап-проєкту необхідний для оцінки конкурентоспроможності ідеї, так і для оцінки її впливу виробництво при впровадженні на роботу підприємств. Процес розроблення стартапу допомагає окреслити концепцію проєкту та ідеї, розглянути їхній потенціал для майбутньої реалізації на ринку [23].

Стартап – це новозаснована компанія, яка знаходиться на етапі активного розвитку. Засновники стартапу мають новаторську бізнес-ідею, яка потребує інвестицій для перетворення її в унікальний продукт на ринку. Основою для концепції стартапу слугують передові технології та інноваційні підходи, що формують потенціал цієї перспективної компанії.

Зростання популярності стартапів пояснюється тим, що великі міжнародні корпорації не завжди встигають за стрімким розвитком ринку та технологій, оскільки процес розроблення та впровадження нових рішень і продуктів є довгим і часто не вигідним. Таким чином, стартапи вирізняються більшою мобільністю порівняно із своїми масштабнішими конкурентами.

Ключовим етапом у формуванні успішного стартапу є інноваційна, передова ідея. Чим вона унікальніша, тим вище комерційна цінність такого стартапу. Однак існує ще один важливий аспект – ринковий попит на майбутній продукт. Треба розуміти, що навіть абсолютно унікальна ідея може не втілитися в життя, якщо немає відповідного попиту на ринку. Тож, стартап, попри всі свої великі перспективи, несе в собі певні ризики для потенційних інвесторів, оскільки визначити успішність проєкту в умовах нестабільності та невизначеності дуже складно.

Ситуація з фінансуванням стартапів в Україні була доволі важкою. Інвестори не виявляли великої зацікавленості у вкладенні коштів у проєкти в Україні. Тим не менш, останніми роками ситуація дещо покращилася. Українські та іноземні інвестори почали активніше підтримувати стартап-проєкти, особливо у сфері енергетики, кібербезпеки та оборони.

4.1. Опис ідеї стартап-проєкту

Ремонт НВЧ приладів для радіолокаційних станцій і зенітних ракетних комплексів на сьогоднішній день має стабільний попит як в Україні через повномасштабну війну, так і за кордоном, тому що не всі держави можуть дозволити собі заміну застарілої радянської техніки і їм доводиться подовжувати термін її служби [23].

Збереження ефективності техніки військ протиповітряної оборони є ключовим чинником забезпечення безпеки та обороноздатності держави. Зокрема, в Україні, яка переживає важкі часи, відновлення та модернізація обладнання стають пріоритетним завданням для забезпечення національної безпеки.

Таблиця 4.1 Ідея проєкту

Зміст	Область застосування	Вигода для виробника
Впровадження реставраційного варіанту електронної гармати магнетрона у програму модернізації комплексів сімейства "Оса"	Приладобудування, військова промисловість	Покращення якості продукції

Аналіз переваг ідеї за техніко-економічними показниками [23].

На цьому етапі визначаються сильні, нейтральні та слабкі сторони ідеї проєкту для подальшого формування його конкурентоспроможності.

Спочатку виявляються сильні сторони ідеї проєкту, це можуть бути унікальні технологічні рішення, експертні знання команди, або потенційно високий попит на ринку. Ці сильні сторони визначають основні конкурентні переваги проєкту та визначають його потенціал для успішної реалізації.

Далі проходить аналіз нейтральних аспектів ідеї, які не визначають конкретні переваги чи недоліки. Це фактори, які можуть впливати на проєкт, але не є критичними для його успіху.

Слабкі сторони ідеї являють собою труднощі у втіленні, обмежені ресурси тощо. Їх виявлення дозволяє визначити моменти, де необхідно приділити особливу увагу та розглянути способи подолання можливих труднощів.

У цілому, визначення сильних, нейтральних та слабких сторін ідеї проєкту є ключовим етапом у процесі його розвитку та забезпечує підґрунтя для ефективного формування конкурентоспроможності та стратегії успіху на ринку в майбутньому.

Таблиця 4.2 Аналіз сильних, нейтральних і слабких сторін проєкту

№	Техніко-економічні показники	Проект	Сильна сторона	Нейтральна сторона	Слабка сторона
1	Вартість впровадження	Реставраційний варіант електронної гармати магнетрона	+		
2	Простота впровадження		+		
3	Час впровадження			+	
4	Аналог			+	
5	Новизна				+
6	Область застосування			+	
7	Рентабельність проєкту		+		

Таблиця 4.3 Аналіз сильних, нейтральних і слабких сторін конкурентного проєкту

№	Техніко-економічні показники	Проект	Сильна сторона	Нейтральна сторона	Слабка сторона
1	Вартість впровадження	Реставраційний варіант електронної гармати магнетрона			+
2	Простота впровадження			+	
3	Час впровадження		+		
4	Аналог			+	
5	Новизна			+	
6	Область застосування			+	
7	Рентабельність проєкту		+		

Проведений аналіз дає уявлення про сильні, нейтральні та слабкі сторони проєкту, а також здатність до конкуренції на ринку [23].

4.2. Аналіз здійсненності проєкту

Наступним кроком у розробленні стартап-проєкту є проведення аудиту процесу впровадження, яким реалізується ідея проєкту.

Спочатку визначається, яким чином буде відбуватися процес впровадження для досягнення поставлених цілей та реалізації ідеї проєкту.

Далі досліджується питання наявності технологій, які передбачаються до застосування у стартап-проєкті. Також важливо визначити, чи вони потребують вдосконалення для забезпечення якнайвищої ефективності та конкурентоспроможності.

Крім того, важливим аспектом є доступність використовуваних технологій для авторів проєкту. Якщо технології недоступні або доступ до них ускладнений, це може стати перешкодою для успішного впровадження ідеї. У такому випадку досліджується можливість застосування альтернативних технологій або пошук шляхів забезпечення доступності прийнятих.

Таблиця 4.4 Аналіз здійсненності проєкту

№	Ідея проєкту	Шлях реалізації	Наявність засобів	Доступність засобів
1	Доступ до необхідного спеціального програмного забезпечення (ПЗ)	Закупівля ліцензій	існує	Окрема стаття витрат виробництва
2	Впровадження спеціального ПЗ	Навчання співробітників користуванню	існує	Кваліфіковані фахівці
3	Випробування	Проведення експериментів з відремонтованими приладами	існує	Ділянки статичних і динамічних випробувань приладів

З аналізу випливає, що проєкт можна реалізувати.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Аналіз ринкових перспектив, які сприятимуть впровадженню даного проєкту, а також визначення потенційних загроз, що можуть виникнути на шляху реалізації стартапу, надає можливість спланувати стратегію розвитку з урахуванням актуальних ринкових запитів, вимог споживачів та конкурентного середовища. Цей аналіз дозволяє не лише ідентифікувати потенційні можливості для успішного впровадження проєкту, але й визначити можливі труднощі та дії для їх подолання.

Огляд ринку показав, що подібні продукти майже недоступні ані Україні, ані потенційним замовникам з Близького Сходу та Середньої Азії, тому можна очікувати, що дана ідея конкурентоспроможна [23].

Таблиця 4.5 Характеристика потенційного ринку

Потреба	Споживач	Вимоги
Подовження терміну служби техніки, що містить НВЧ прилади	Збройні сили України, військові формування іноземних держав-замовників	Простота впровадження Рентабельність

Наступний крок після визначення потенційних клієнтів – аналіз ринку та визначення чинників, що сприяють або перешкоджають реалізації проєкту [23].

Аналіз ринку передбачає детальне дослідження конкурентного середовища, визначення потенційних партнерів і конкурентів, а також визначення тенденцій та очікувань в цільовій аудиторії. З'ясування розміру ринку, потреб споживачів та особливостей їхнього поведінки є важливим для розроблення ефективного проєкту.

Паралельно з аналізом ринку не буде зайвим визначити чинники, які можуть впливати на успішність проєкту. Перш за все, ці чинники носять

економічний, технічний або правовий характер, і це слід ураховувати при роботі з іноземними клієнтами. Важливо визначити можливості для зростання та прогнозовані труднощі, щоб забезпечити стійкість проєкту в довгостроковій перспективі.

Таблиця 4.6 Позитивні чинники

№	Чинники	Опис можливостей	Ймовірна реакція
1	Збільшення попиту	Розширення кола потенційних клієнтів	Розширення штату працівників, купівля корпоративних ліцензій програмного забезпечення
2	Запит на універсальність	Розширення номенклатури виробів внаслідок активізації військових замовлень на ремонт аналогічних приладів	Автоматизація типових процесів
3	Вихід на іноземні ринки	Попит в країнах, де гостро стоїть проблема зношеності старої військової техніки та брак коштів на нову	Створення локальних груп для роботи у відповідних регіонах

Таблиця 4.7 Негативні чинники

№	Чинники	Опис загроз	Ймовірна реакція
1	Область застосування	Вузька спеціалізація проєкту	Розширення напрямків роботи
2	Скептицизм	Недовіра до надійності відремонтованих приладів	Інформаційна кампанія з обґрунтуванням переваг ідеї
3	Конкуренція	Поява компаній і проєктів, які займаються ремонтом НВЧ приладів	Зменшення термінів виконання робіт і надання гарантій замовнику
4	Здорожчання ПЗ	Зростання цін на ПЗ внаслідок інфляції	Підвищення вартості послуг, перехід на корпоративні ліцензії

Проведення аналізу пропозиції ринку – визначення загальних рис конкуренції на ринку [23].

Таблиця 4.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	Прояв зазначеної характеристики	Вплив на діяльність компанії
Тип конструкції: – монополістична; – чиста; – монополія; – олігополія	олігополія	Інноваційність для українського ринку
За характером конкурентних переваг: – цінові; – не цінові	цінова	Зниження собівартості виготовлення
За інтенсивністю: – марочна; – не марочна	марочна	Набуття репутаційного імені
Конкурентна боротьба: – національна; – локальна	локальна	Вихід на іноземні ринки
Галузева ознака: – міжгалузева; – внутрішньогалузева	внутрішньогалузева	Розширення пропозиції на ринку
Товарна конкуренція: – товарно-видова; – товарно-родова; – між бажаннями	товарно-видова	Конкуренція між виробництвами

Після аналізу конкуренції необхідно провести детальніший аналіз умов конкуренції у галузі за моделлю п'яти сил М. Портера [23]. Складові цієї моделі:

- конкуренти, що вже присутні на ринку;
- потенційні конкуренти;
- наявність аналогів;
- постачальники;
- клієнти.

Чим сильніші позиції проєкту за кожним з факторів, тим він має більше можливостей забезпечити необхідні темпи обороту капіталу та має більше впливу на інших агентів ринку, диктуючи їм свої умови партнерства. Очевидно, що характеристика складових моделі різна для кожної галузі та непостійна у часі.

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції за Портером

	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Аналоги	Постачальники	Клієнти
Одиниці аналізу	Конкуренти на вітчизняному ринку	Ті, що запропонують аналогічне рішення	Відсутні	Постачальник матеріалів	Вузькогалузові
Підсумки	Дана галузь ринку малоосвоєна, тому визначити неможливо	Відсутні		Економія на закупівлі матеріалів	Клієнт робить вибір за найкращим співвідношенням ціна/якість

Пропозиція матиме стійкий попит на українському ринку та конкурентоспроможна на іноземних.

Таблиця 4.10 Обґрунтування конкурентоспроможності

№	Чинник	Обґрунтування
1	Простота впровадження	Розширення клієнтської бази
2	Стандартизація	Створення типових схем ремонту
3	Розвиток ринку	Організація інформаційних кампаній для замовників
4	Розвиток технології	Проведення автоматизації типових процесів

Таблиця 4.11 Оцінка чинників

№	Чинник	Бали -3...+3	Рейтинг продукції конкурентів						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Простота впровадження	+3							+
2	Стандартизація	-2		+					
3	Розвиток ринку	+2						+	
4	Розвиток технології	+1					+		

Наступним і фінальним етапом аналізу впровадження проєкту є SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних і слабких сторін, можливостей і загроз на основі окреслених ринкових можливостей і загроз та сильних і слабких сторін.

Перелік ринкових можливостей і загроз складається на основі аналізу чинників можливостей і чинників загроз маркетингового середовища. Ринкові можливості та загрози є наслідками впливу чинників і, на відміну від них, ще не реалізовані на ринку та мають деяку ймовірність здійснення [23].

Таблиця 4.12 SWOT-аналіз стартап-проєкту

Strength Вартість впровадження Простота впровадження Рентабельність проєкту	Opportunities Збільшення попиту Вихід на іноземні ринки
Weakness Новизна проєкту	Troubles Скептицизм Поява конкурентних продуктів Здорожчання ПЗ

4.4. Розроблення стратегії стартап-проєкту на ринку

Розроблення стратегії проєкту на ринку передбачає визначення груп потенційних споживачів [23].

Стратегія розвитку охоплюватиме один сегмент застосування, оскільки проєкт вузькоспеціалізований.

Таблиця 4.13 Потенційні споживачі

№	Профіль потенційних клієнтів	Готовність впровадження ідеї	Приблизний попит	Інтенсивність конкуренції	Простота початку співпраці
1	Міністерство оборони України	Висока	Високий	Низька	Висока
2	Міністерства оборони іноземних держав	Середня	Високий	Середня	Середня
3	Орієнтовані малосерійні виробництва	Середня	Середній	Середня	Низька

Даний стартап-проєкт матиме найбільші успіхи у першої та другої групи клієнтів. Перед початком співпраці слід розробити стратегію розвитку зазначеного сегменту. Для даного стартап-проєкту найбільше підходить стратегія спеціалізації. Вона передбачає концентрацію на потребах певного цільового сегменту, без прагнення охопити весь ринок. Тобто, метою є задоволення потреб обраного цільового сегменту краще, ніж це можуть зробити конкуренти. Недоліком такої стратегії є те, що у разі невдалої реалізації проєкту низька ринкова частка може сильно вдарити по конкурентоспроможності компанії.

Таблиця 4.14 Стратегія розвитку

№	Стратегія розвитку проєкту	Шлях охоплення ринку	Базові позиції для конкуренції	Базова стратегія розвитку проєкту
1	Вихід на іноземні ринки	Концентрований маркетинг	Досягнення попиту	Стратегія спеціалізації

Визначення конкурентної поведінки.

В залежності від ступеня сформованості галузевого ринку та характеру конкурентної боротьби стратегія лідера передбачає один із трьох шляхів: розширення первинного попиту, застосування оборонної чи наступальної стратегії, або демаркетинг чи диверсифікація.

Стратегія розширення первинного попиту є доцільною, якщо фірмі-лідеріві не вигідно вступати в змагання з невеликими конкурентами, і вона може отримати значну економічну вигоду від розширення первинного рівня попиту. Розширюючи ринковий попит, лідер допомагає іншим підприємствам, що знаходяться у позиції "доганяючих", беручи на себе основні фінансові витрати і проводячи найбільш революційні дослідження та проєкти. Така стратегія можлива лише на початкових етапах життєвого циклу товару, коли попит можна ще розширювати, і взаємний тиск конкурентів ще слабкий.

Стратегія наступу передбачає розширення своєї частки ринку з метою подальшого підвищення прибутковості компанії завдяки максимальному використанню ефекту масштабу. Проте існує певна межа, перевищення якої призводить до невикладності подальшого зростання частки на ринку. Це може бути або суто економічна недоцільність завоювання добре захищених ринкових сегментів у менших виробників, або потраплянням під вплив антимонопольного законодавства в деяких країнах, де компанія присутня на ринку.

По мірі зростання ринку позиції компанії-лідера починають займати конкуренти. В такому випадку компанія може обрати стратегію оборони. Її метою є захист власної частки ринку. Оборона може мати наступний характер:

- впровадження інновацій, що ставлять технологічний бар'єр для появи на ринку більшості потенційних конкурентів;

- розширення товарного асортименту, ліквідація каналів для проникнення конкурентів у ту чи іншу нішу;
- рекламні атаки або цінові війни.

Потрапивши під дію антимонопольного законодавства нерідко компанія обирає стратегію демаркетингу. Вона передбачає зменшення частки ринку та зниження попиту за рахунок підвищення цін. Головною задачею при цьому є уникнення конкуренції на певних цінових сегментах.

Ще частіше для лідерів ринку привабливою є диверсифікація, яка дозволяє користуватися перевагами масштабів виробництва.

Таблиця 4.15 Стратегія конкурентної поведінки

Чи є ідея "піонером" на вітчизняному ринку?	Чи буде проєкт копіювати характеристики пропозиції конкурента?	Чи проводитиметься пошук нових клієнтів?	Стратегія конкурентної поведінки
ні	ні	так	Стратегія лідера

Далі розробляється стратегія позиціювання на основі базової стратегії розвитку, вимог клієнтів та конкурентної поведінки. Необхідно сформулювати ринкову позицію, за якою клієнти мають розпізнати проєкт [23].

Таблиця 4.16 Вибір стратегії позиціювання

Базова стратегія розвитку проєкту	Вимоги до товару від клієнтів	Конкурентні позиції проєкту	Тематичні асоціації проєкту
Стратегія спеціалізації	Простота застосування Собівартість Швидкість у виробництві	Простота впровадження Невисока вартість впровадження	Швидкість Простота Ціна

4.5. Складання маркетингової програми стартап-проєкту

Спершу необхідно розробити концепцію пропозиції, яку отримає клієнт. Для цього треба підсумувати отримані вище результати аналізу конкурентоспроможності товару [23].

Далі формуватиметься трирівнева маркетингова модель пропозиції: сутність ідеї, її складові та особливості [23].

Таблиця 4.17 Ключові переваги потенційної пропозиції

№	Потреба	Пропозиція	Переваги над конкурентами
1	Технологічність	Час виконання робіт	Простота та час впровадження
2	Вартість	Собівартість	Нижча ціна

Таблиця 4.18 Три рівні моделі пропозиції

Рівні пропозиції	Сутність і складові
I. Пропозиція за задумом	Розроблення реставраційного варіанту вузла та впровадження у виготовлення і переобладнання
II. У реальному виконанні	Собівартість
	Час виконання
III. Пропозиція із підкріпленням	Гарантія та консультації протягом всього терміну експлуатації

Далі визначається оптимальна система збуду, за якою приймаються подальші кроки [23]:

- збут самотужки чи з посередниками;
- якщо з посередниками, вибір посередників;
- вибір і обґрунтування каналу збуту.

Таблиця 4.19 Система збуту

№	Закупівельна поведінка клієнтів	Обов'язкові функції збуту	Оптимальна система збуту	Глибина каналу збуту
1	Повернення товару за рекламациями	Реалізація та перероблення самотужки	Структурована	Вітчизняна

Розроблення концепції маркетингових комунікацій є останнім пунктом маркетингової програми. Для цього використовується обрана завчасно основа для позиціювання та визначена специфіка поведінки потенційних клієнтів, цільової аудиторії.

Таблиця 4.20 Маркетингові комунікації

№	Канали комунікацій клієнтів	Специфіка поведінки клієнтів	Задача піар-повідомлення	Ключові позиції	Ідея рекламного звернення
1	Оголошення в Інтернеті	Пошук пропозицій від конкурентів	Залучення інвесторів	Доступність Швидкість Ціна	Простота впровадження
2	Виставки				
3	Рекомендації інших клієнтів				

Висновок за розділом.

Проведено аналіз конкурентоспроможності проєкту на українському ринку. Крім того, виявлено як позитивні, так і негативні сторони проєкту, а також здійснено аналіз його конкурентних можливостей шляхом аналізу потенційних можливостей і загроз стартап-проєкту. Важливим чинником, який може визначити успіх, є простота впровадження концепції проєкту та його порівняно невисока собівартість. На українському ринку відсутні пропозиції від конкуруючих виробників, що надає стартапу дуже високі шанси на втілення у життя.

В якості стратегії реалізації проєкту обрано стратегії концентрованого маркетингу для окремої цільової групи, з якою взаємодіятиме стартап, а саме оборонні відомства різних держав.

Утім, існує ризик, що потенційні клієнти можуть виявити незадоволення у використанні продукту через скептицизм до ідеї. Цей ризик дає можливість виникнення негативного сприйняття продукту та може призвести до труднощів у процесі його впровадження та популяризації серед цільової аудиторії. Другим ризиком для проєкту є нестабільна економічна та політична ситуація в Україні.

У випадку успішних перших продажів продукту проєкт може швидко набути популярності на міжнародному ринку, особливо в таких регіонах як Середня Азія та Близький Схід. Це, в свою чергу, певним чином може посприяти автоматизації стандартних процесів розроблення та виготовлення продукції і модернізації стартапу загалом. Таким чином, перспективи проєкту визначаються не лише його конкурентоздатністю, але й здатністю адаптуватися та розширюватися відповідно до ринкових умов і вимог клієнтів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблено реставраційний варіант електронної гармати магнетрона. Визначено основні параметри приладів, необхідних для дослідно-конструкторських робіт. Підготовлено до демонтажу та демонтовано досліджувані електронні гармати, визначені їх геометричні та фізико-технічні характеристики. Побудовано 3D моделі деталей і складальних одиниць реставраційного варіанту електронної гармати. Виконано аналіз матеріалів деталей гармати. Внесено зміни до конструкції гармати,.

Проведено експериментальне випробування процесу електронно-променевого зварювання електронної гармати в електронно-променевій установці СВ-219 із застосуванням обертального столу на базі редуктора фірми Gudel. Результати випробувань показали, що вибрана компоновка установки забезпечує надійний захист ізоляційного ковпака, що унеможливорює пошкодження керамічних деталей під час зварювальної операції. При цьому точність позиціонування променя під час зварювання на всій довжині з'єднання задовольняє вимогам до якості готового виробу.

Проведено моделювання процесу електронно-променевого зварювання електронної гармати. Створено модель процесу у Simufact Welding, за допомогою якої експериментальним шляхом визначено параметри режиму зварювання, що забезпечують міцне з'єднання елементів і мінімальні залишкові напруження. Визначені параметри режиму зварювання рекомендовано застосовувати при виготовленні пробних екземплярів реставрованих електронних гармат.

Реставраційний варіант електронної гармати магнетрона та технологія її виготовлення можуть бути застосовані при відновленні виведених з ладу магнетронів на потребу військ протиповітряної оборони.

Проведено аналіз конкурентоспроможності проєкту на українському ринку. Виявлено як позитивні, так і негативні сторони проєкту, а також визначені його конкурентні можливості шляхом аналізу потенціалу і ймовірних загроз.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автономный войсковой зенитный ракетный комплекс "Оса", под ред. Ю.Т. Чеснокова / М.: Воениздат, 1991.
2. <https://www.h6systems.com/wiki/magnetron/>
3. Gennadiy Churyumov et al 2022 J. Phys.: Conf. Ser. 2173 012009. doi:10.1088/1742-6596/2173/1/012009
4. Справочник по основам радиолокационной техники, под ред. В.В. Дружинина / М.: Воениздат, 1967.
5. Ковалевский Р.Е., Чекмарев А.А. – Конструирование и технология вакуумноплотных паяных соединений / М.: Энергия, 1968, 208 с.
6. The Brazing Book / Lucas-Milhaupt Inc, a Handy & Harman Company, 2013. <http://www.pipeweldrig.com/files/weld/Brazing%20book%20.pdf>
7. The Brazing Book Complete Edition/ Lucas-Milhaupt Inc, a Handy & Harman Company, Cudahy, WI, U.S.A. 2015. lucasmilhaupt.com/Lucas/Product-Brochures/BrazingBookComplete.pdf
8. V.M. Nesterenkov, V.I. Zagornikov, Yu.V. Orsa, O.M. Ignatenko (2019). Features of applying electron beam welding in manufacture of the cathode assembly of the electron gun. Avtomaticheskaya Svarka (Automatic Welding), #2, 2020, pp.33-37. <https://doi.org/10.37434/as2020.02.06>
9. Измеритель магнитной индукции Ш1-8. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / 1984.
10. Установка импульсного намагничивания и размагничивания магнитов ЩСМ3.547.001. Техническое описание, инструкция по эксплуатации / Киев, 1974.
11. Большой микроскоп инструментальный БМИ-1. Описание и руководство к пользованию / Новосибирск, 1970.
12. Микроскоп измерительный универсальный УИМ-23. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / Л., 1979.

13. B. Alim, İ. Han, L. Demir (2017). Alloying effect on K shell X-ray fluorescence cross-sections and yields in Ti-Ni based shape memory alloys. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2017.12.002>
14. Frydrych, K. Jurowski (2023). Portable X-ray fluorescence (pXRF) as a powerful and trending analytical tool for in situ food samples analysis: A comprehensive review of application – State of the art.
15. Перевозник, К. Р., & Фролов, В. К. (2021). Втрата стійкості довгомірних інструментальних оправок. Інновації молоді в машинобудуванні, (3), 2021, 379-386. <http://imm-mmi.kpi.ua/proc/article/view/231012>
16. E. Visentin, G. Niero, M. De Marchi (2023). Assessment of energy dispersive X-ray fluorescence (ED-XRF) for quantification of iodine in non-lyophilized milk. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136892>
17. E. Uchida, R. Watanabe, R. Cheng, Y. Nakamura, T. Takeyama (2021). Non-destructive in-situ classification of sandstones used in the Angkor monuments of Cambodia using a portable X-ray fluorescence analyzer and magnetic susceptibility meter. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103137>
18. D. Kobylarz, A. Michalska, K. Jurowski (2023). Field portable X-ray fluorescence (FP-XRF) as powerful, rapid, non-destructive and 'white analytical tool' for forensic sciences – State of the art. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117355>
19. ТУ 11-78 аЯ0.027.002ТУ. Керамика вакуумплотная.
20. Установка для электронно-променевого зварювання СВ-219. Керівництво оператора-зварника електронно-променевої зварювальної установки СВ219.00.00.000 КО / Київ: ДП "ІЦ електронно-променевого зварювання" ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ, 2020.
21. ДСТУ EN 61140:2019. Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установки та обладнання (EN 61140:2016, IDT; IEC 61140:2016, IDT).

22. Basic Joints and Welds Chapter 4. The McGraw-Hill Companies, Inc., 2012. <https://slideplayer.com/slide/4915339/>

23. Гавриш О.А. Солнцев С.О., Дергачова В.В., Зозульов О.В. – Розроблення стартап-проєкту: методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / Київ: НТУУ "КПІ", 2016.