

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування факультету)

Кафедра «Інноваційні технології зварювання та моделювання конструкцій»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему «Розробка електрошлакової технології отримання титан-молібденових катодів для установки відцентрового розпилення порошків»

(назва теми)

Виконав: студент 2 курсу, групи ІФ-312М

Спеціальності 131, Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології та устаткування зварювання

Малицький І.П.
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент Капустян О.Є.
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент к.т.н., доцент Шевченко В.Г.
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний
 Кафедра Інтегровані технології зварювання та моделювання конструкцій
 Ступінь вищої освіти Магістр
 Спеціальність 131, Прикладна механіка
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Технологія та обладнання зварювання
 назва освітньої програми (спеціалізації)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІТЗ та МК

доц., к.т.н. О. Капустян

« 14 » грудня 2023 року

ЗАВДАННЯ
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Малицький Іван Петрович
 (ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи): «Розробка електрошлакової технології отримання титан-молібденових катодів для установки відцентрового розпилення порошків».
 керівник проекту (роботи) к.т.н., доц. Капустян Олексій Євгенович
 (науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «15» грудня 2023 року № 10

2. Строк подання студентом проекту (роботи) грудень 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи): матеріал катоду, креслення катоду

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): метод отримання титанових порошків, вимоги до виготовлення катодів, обрання технології виготовлення катодів, призначення електрошлакового обладнання. Вибір флюсу та призначення його обробки. Розрахунок кристалізатора.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів): Схема процесу ПВРР порошків; Схема отримання заготовок катодів, обладнання. Кристалізатор. Вплив молібдену на властивості титану. Властивості зливка Ti+5%Mo сплаву отриманого електрошлаковою виплавою. Вплив складу флюсу на параметри електрошлакової виплавки заготовок титан-молібденових катодів.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

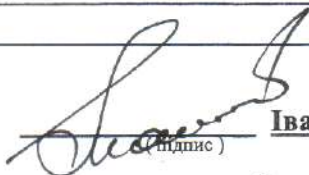
Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1 - 4	Капустян О.Є., зав. кафедрою	15.10.23	14.12.23
1 - 5	Корнієнко О.Б., ст. викладач		
5	Нестеров О.В., зав. кафедрою		

7. Дата видачі завдання « 15 » жовтня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Срок виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Процес отримання порошків методом ПВРР, обладнання процесу.		
2	Католи установок ПВРР, технічні вимоги до матеріалу, геометричні характеристики.		
3	Обґрунтування застосування електрошлакової технології для отримання титан-молібденових катодів.		
4	Вибір обладнання. Розрахунок кристалізатора. Схема керування параметрами процесу.		
5	Розробка технологій виготовлення титан-молібденових катодів.		вироб
6	Розробка електрошлакової технології виплавки титан-молібденових катодів.		вироб
7	Вибір флюсу та параметрів прожарювання.		
8	Отримання титан-молібденового зливка		
9	Дослідження хімічного складу, макроструктури.		
10	Дослідження обробки різанням.		
11	Дослідження обробки тиском.		
12	Заходи з охорони праці.		вироб

Студент



Іван МАЛИЦЬКИЙ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)



Олексій КАПУСТЯН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 85 с., 12 табл., 17 рис., 32 джерела.

УСТАНОВКА PREP, КАТОД, ТИТАН, МОЛІБДЕН, ЕЛЕКТРОШЛАКОВИЙ ПРОЦЕС, ВИТРАТНИЙ ЕЛЕКТРОД, ФЛЮС, КРИСТАЛІЗАТОР, ЗЛИВОК ТИТАН-МОЛІБДЕНОВИЙ, ХІМІЧНИЙ СКЛАД, МАКРОСТРУКТУРА.

Об'єкт дослідження – електрошлаковий процес отримання титан-молібденового катода для установки PREP. У дипломному проекті доведена доцільність застосування для АД технологій титанових порошоків, отриманих методом PREP. Проведено аналіз розмірів титанових катодів. З літературних джерел надано аналіз впливу молібдену на корозійну стійкість та механічні властивості титану. Розроблена технологія виготовлення титан-молібденових витратних електродів. Обрано електрошлакове обладнання для виплавки титан-молібденових катодів. Проведена виплавка титан-молібденового катода та досліджені основні показники якості. Розроблені заходи з охорони праці.

ABSTRACT

Software: 85 sheets, 12 tables; 32 sources; 17 pictures.

PREP PLANT, CATHODE, TITANIUM, MOLYBDENUM, ELECTROSLAG PROCESS, CONSUMABLE ELECTRODE, FLUX, MOLD, TITANIUM-MOLYBDENUM INGOT, CHEMICAL COMPOSITION, MACROSTRUCTURE.

The object of research is the electroslag process of obtaining a titanium-molybdenum cathode for the PREP facility. The diploma project proves the feasibility of using titanium powder technologies obtained by the PREP method for AD. The analysis of the sizes of titanium cathodes was carried out. From the literature, an analysis of the effect of molybdenum on corrosion resistance and mechanical properties of titanium is provided. A technology for the manufacture of titanium-molybdenum consumable electrodes has been developed. Electroslag equipment for smelting titanium-molybdenum cathodes was selected. Titanium-molybdenum cathode smelting was carried out and the main quality indicators were studied. Occupational health and safety measures have been developed.

ЗМІСТ

	С.
Реферат.....	4
Abstract.....	5
Зміст.....	6
Перелік скорочень.....	8
Вступ.....	9
1 Стан питання.....	11
1.1 Отримання титанових порошків для адитивних технологій методом PREP.....	11
1.2 Катоди установок PREP для отримання титанових порошків.....	13
1.3 Титан-молібденові сплави, корозійна стійкість, механічні властивості	16
1.4 Застосування електрошлакового процесу для отримання зливків титану та його сплавів.....	20
1.5 Ціль та завдання дипломного проекту.....	22
2 Матеріали, обладнання.....	23
2.1 Титан та молібден з яких виготовляли витратні електроди.....	23
2.1.1 Властивості титану.....	23
2.1.2 Властивості молібдену.....	25
2.2 Обладнання для виготовлення витратних електродів.....	26
2.3 Електрошлакове обладнання.....	31
2.3.1 Стойка печі (колона).....	31
2.3.2 Джерело живлення.....	33
2.3.3 Електропривод механізму переміщення витратного електроду..	34
2.3.4 Кристалізатор – конструкція. Розрахунок охолодження.....	38
2.4 Вибір флюсу.....	42
2.4.1 Призначення флюсів. Хімічний склад. Технологічні та металургійні властивості.....	42

2.4.2	Вибір флюсу для електрошлакової виплавки титан-молібденових заготовок катодів.....	48
2.4.3	Обладнання для приготування флюсу.....	50
3	Технологія виготовлення титан-молібденових витратних електродів.....	52
3.1	Аналіз конструкції витратних електродів.....	52
3.2	Контактне зварювання титану.....	53
3.3	Контактне зварювання молібдену.....	55
3.4	Аргонодугове зварювання титану.....	56
3.5	Підготовка титану під зварювання.....	60
3.6	Підготовка молібдену під зварювання.....	60
3.7	Складально-зварювальні роботи при виготовленні витратних електродів.....	61
3.8	Контроль якості виробу.....	63
4	Розробка електрошлакової технології виплавки заготовок катодів з використанням титан-молібденових витратних електродів.....	65
4.1	Вибір параметрів електрошлакового процесу.....	65
4.2	Технологія виплавки.....	65
4.3	Дослідження властивостей титан-молібденового зливка електрошлакової виплавки.....	66
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	71
5.1	Аналіз потенційних небезпеки.....	71
5.2	Заходи щодо забезпечення техніки безпеки.....	72
5.3	Заходи щодо забезпечення промислової санітарії та гігієни праці.....	77
5.4	Заходи по забезпеченню безпеки в умовах надзвичайних ситуацій.....	78
5.4.1	Заходи з пожежної безпеки.....	78
5.4.2	Порядок дій персоналу в умовах НС.....	79
	Висновки.....	81
	Перелік джерел посилань.....	82

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АД – адитивні технології

PREP – plasma rotation electrode process

ЕШВ – електрошлакова виплавка

МЧ – молібден чистий

ВСТУП

Інтенсивний розвиток адитивних технологій гостро ставить питання про виробництво витратних матеріалів, згагалі порошоків жароміцних, високоміцних та корозійностійких титанових сплавів.

На сьогоднішній день, титанові порошки для адитивних технологій випускають такі відомі фірми як: Concept Laser (Німеччина), Carpenter Technology Corporation (США), Arcam (Швеція) та інші.

Дослідження по вдосконаленню технологій та обладнання для отримання титанових порошоків, покращенню їх властивостей, розширенню марочного складу, активно проводяться в провідних українських науково-дослідних інститутах та університетах (Науково-технічний комплекс «Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Науково-виробниче підприємство «ВМСК», Акціонерне товариство «Інститут титану», Науково-виробниче підприємство «Дельфін»).

Одним з найбільш поширених методів отримання титанових порошоків, призначених для використання в адитивних технологіях є метод плазмового відцентрового ротаційного розпилення (PREP).

В більшості випадків для отримання титанових порошоків методом ПВРР застосовують катоди з стандартних марок титанових сплавів. Однак, для деяких конкретних умов експлуатації титанових виробів, які можливо отримувати методами адитивних технологій, доцільно використовувати порошки нестандартного хімічного складу. Наприклад, титан-молібденові. Доведено, що вироби зі сплаву $Ti+3\%Mo$, які працюють в середовищі 5% розчин сірчаної кислоти при температурі 100С мають корозійну стійкість в 23,5 разів вищу у порівнянні з титаном VT1-0. А при вмісту 5 % молібдену, корозійна стійкість підвищується в 117 разів. Таких прикладів для деяких інших нестандартних титанових сплавів є достатньо багато.

Тому, розробка технологій отримання титанових катодів нестандартного хімічного складу для установок PREP є актуальними та доречними.

1 СТАН ПИТАННЯ

1.1 Отримання титанових порошків для адитивних технологій методом PREP

Методи АД технологій знайшли найбільше застосування для виготовлення деталей обладнання в авіаційній, космічній, хімічній, медичній промисловості. Тобто, в ти галузях, в яких найбільш застосовується титан. Тому питання отримання титанових порошків є важливим та актуальним. Для його вирішення була досліджена можливість застосування різноманітних технологічних процесів та методів. Взагалі механічний метод базується на поетапному подрібненні вихідної сировини з початку на щоккових дробарках, потім на валкових і на кінці в механічних дезінтеграторах. Хімічний склад отриманих порошків був такий же, як і у вихідної сировини. Але гранули не мали необхідної сферичної форми що унеможливило його використання у АД технологіях.

Розпилення рідкого металу струменями газу або види не забезпечувало потрібної фракції гранул. Також кінцевих продукт (порошок) відрізнявся за структурою та хімічним складом вихідної сировини. Тому цей спосіб також не застосовують для отримання титанових порошків.

Із способів виготовлення титанових порошків є наступні: газова атомізація, вакуумна атомізація та відцентрова атомізація. Найбільш поширеним методом є відцентрова атомізація (або PREP). [1] Головними перевагами цього методу є:

- сферична форма гранул;
- можливість отримання гранул фракції від 40 мкм до 200 мкм;
- регулювання у широкому діапазоні швидкості обертання заготовки, що розпилюється, а також струму та напруги плазмової дуги захисного середовища;
- висока продуктивність.

Також цей метод забезпечує суттєве зниження кисню, високу однорідність гранул фракцій 70-160 мкм, низьку питому поверхню гранул.

Схема процесу PREP наведена на рис. 1.1.

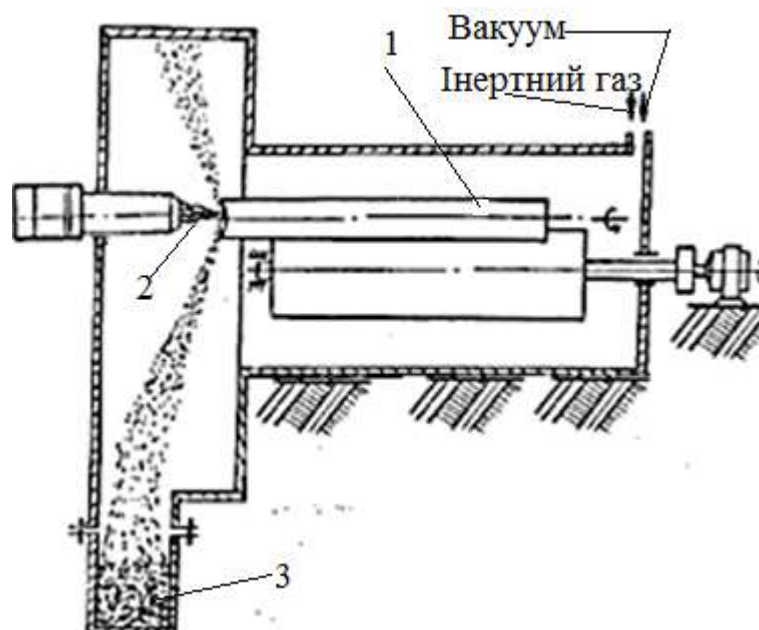


Рисунок 1.1 – Схема процесу отримання сферичних порошкових матеріалів методом відцентрового плазмового розпилення електроду

В герметичній камері із захисним інертним середовищем (або вакуумом) обертається навколо горизонтальної осі титановий, катод 1, який має циліндричну форму. Вільний торець катоду 1 розплавляють плазмовою дугою 2, а краплі, які на ньому з'являються 3, під впливом відцентрових сил зриваються і в процесі вільного падіння кристалізуються до моменту зіткнення зі стінками камери 4. Отримані таким методом титанові порошки 3 мають сферичну форму. Фракція порошків може складати від 40 мкм до 200 мкм. Хімічний склад порошків відповідає хімічному складу матеріалу катода 1. [1]

1.2 Катоди установок PREP для отримання титанових порошків

Як можна бачити зі схеми процесу PREP (рис. 1.1) катоди в своїй більшості мають циліндричну форму заготовки визначеної довжини. Розміри катодів залежать від конкретного типу установки. Деякі найбільш поширені катоди та їх розміри наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Катоди

Тип обладнання	Діаметр, мм	Довжина, мм
УПВР – 2	28 – 50	400 – 420
УПВР – 3М	58	580
УПВР – 6Т	60	500
УПВР – 9Т	65	670

Зовнішній вигляд титанового катоду установки плазмового ротаційного відцентрового розпилення який застосовують на підприємстві Мультифлекс м. Запоріжжя, наведено на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд катоду

Катоди установок УЦР, розміри яких наведені в таблиці 1.1, мають таку ж конструкцію.

Перспективу нарощування продуктивності установок нового покоління з використанням, наприклад, заготовок більшого діаметру та відповідно більш

потужних плазмотронів, розрахунками можна оцінити їх очікувані характеристики. В таблиці 1.2 наведені розрахункові дані, що базуються на параметрах реального процесу [2]. Наведені дані для фіксованих значень лінійної швидкості плавлення $V_n = 0,7$ мм/с (на рівні існуючого значення для PREP – процесу) і середньої щільності тепловиділення на торці заготовки $q_{cp} = 795$ Вт/см², також аналогічній для PREP.

Перехід на використання заготовок більшого діаметру d повинен спричинити за собою використання плазмотрону значно більшої потужності: з 141 до 276 кВт відповідно до збільшення діаметру з 100 до 140 мм. Масова швидкість плавлення (при фіксованій лінійній швидкості плавлення) також значно збільшується з 2,74 до 5,4 кг/хв. (або з 164,4 до 324 кг/год.) відповідно.

Використання циліндричних заготовок діаметром більше 100 мм суттєво ускладнює процес PREP, оскільки відвести більш потужні потоки тепла у систему охолодження установки при допустимій температурі охолоджуючого середовища не уявляється технічно можливим. Крім того, на цей час немає і спеціалізованих плазмотронів відповідної потужності.

Додатковим аргументом проти переходу на циліндричні заготовки більшого діаметру є факт несуттєвого росту при цьому окружної швидкості на її периферії при фіксованій частоті обертання (лінійна швидкість пропорційна діаметру). Деякі позитивні очікування, що передбачали вести процес розпилення на дрібні фракції при меншій частоті обертання заготовки більшого діаметру, не виправдалися – виграш при цьому дуже незначний (окружна швидкість підвищується пропорційно діаметру заготовки, тобто усього в 1,4 рази від діаметру 100 мм до діаметру 140 мм).

Використання заготовок циліндричного перерізу більшого діаметру дозволить використовувати заготовку іншої конфігурації, наприклад трубного профілю. В таблиці 1.3 містяться аналогічні, наведеним вище розрахунковим даним для трубних заготовок розпилення [2].

Таблиця 1.2 – Розрахункові параметри процесу при переході на заготовки збільшеного діаметру

Розрахункові параметри процесу при переході на заготовки збільшеного діаметру						
d, мм	$V_{л}$, мм/сек	G, кг/хв	W, кВт	$W_{пол}$, кВт	$W_{охолд}$, кВт	$Q_{серед}$, Вт/см ²
100	0,7	2,74	141	62,5	78,4	795
120	0,7	3,96	203	90,1	112,9	795
140	0,7	5,4	276	122,5	153,5	795

Таблиця 1.3 – Розрахункові параметри процесу при використанні заготовок трубного профілю

Розрахункові параметри процесу при використанні заготовок трубного профілю						
d_3/d_B	m, кг	G, кг/хв	$q_{ср}$, Вт/см ²	W, кВт	$W_{охолд}$, кВт	$C_{окр}$
120/80	32,8	2,18	700	96,8	53,2	1,5
140/100	39,4	2,63	700	116,8	64,2	1,75
160/120	46,0	3,0	700	133,2	73,3	2,0

Як можна побачити з даних таблиці 1.2, при помірному збільшенні маси заготовки з ростом її діаметру необхідна потужність плазмотрону збільшується у сприйнятливих межах (від 96,8 до 133,2 кВт). Потужність, що відводиться у систему охолодження також знаходиться у сприйнятливих значеннях (практично на існуючому рівні від 53,2 до 73,3 кВт). [2]

Вимоги до методів отримання катодів, які виготовлені з литої заготовки, та якості литого металу наведень в роботі [3]. В загальному отримання литої заготовки, яке відбувається плавленням шихтових матеріалів повинна бути в умовах вакууму або нейтрального захисного газового середовища, щоб забезпечити високу

чистоту титану від кисню. Також повинні бути відсутніми сторонні (шлакові) частки та інші шкідливі домішки.

Матеріали титанових порошків, а відповідно і матеріали катодів з яких виготовляють порошки, наведені в роботах О.О. Джуган [4], Т.Б. Янко [5], О.В. Овчинніков [6]. До них належать наступні титанові сплави: VT1-00, VT-6, VT-14, VT-18У, VT-22, VT-23, ПТ-3В. Але слід зазначити, що всі ці марки титанових сплавів є стандартними. Застосування нестандартних титанових сплавів для виготовлення катодів PREP та відповідно нестандартних на хімічним складом порошків потребує додаткового обґрунтування.

1.3 Титан-молібденові сплави, корозійна стійкість, механічні властивості

Молібден має високу властивість до пасивації в розчинах, які мають іони хлору. Порівняно з титаном плівка на молібдені більш стійка в неокислювальних кислотах (HCl, H₂SO₄ і т.д.) однак набагато менш стійка в кислих окислювальних розчинах (HNO₃) або при анодній поляризації, так як молібден переходить в розчин в шестивалентному стані (явище пере пасивації) ці властивості молібдену при введення його в титан в помітній кількості передаються і сплаву. У сплавів Ti – Mo підвищується стійкість в кислих неокислювальних середовищах тим сильніше, чим більше в сплаві молібдену [7].

Велика ефективність молібдену як протикорозійної легувальної добавки, повинна бути пояснена в першу чергу підвищеною стійкістю двоокису молібдену (MoO₂) в кислих неокислювальних середовищах та більш легкій пасивації сплавів титану з молібденом. Однак крім цього, атоми молібдену як більш благородного металу мають тенденцію до накопиченню на поверхні. Так молібден маючи більш низьке водневе перенапруження може виступати як катодна присадка яка сприяє позитивному здвигу стаціонарного потенціалу і таким чином полегшує перехід

сплаву в пасивний стан. Встановлено що при низькому складі молібдену (3-5%) корозійна стійкість сплаву Ti – Mo помітно підвищується тільки в не дуже агресивних середовищах (розбавлені HCl і H₂SO₄) та при невисокій температурі. Можливо припустити що в цих умовах молібден в основному виступає як катодна добавка.

Сплав Ti – 15% Mo в залежності від термообробки може мати або гомогенну структуру β -фази або гетерогенну $\beta+\omega$ або $\beta+\alpha$ структури. Сплав Ti – 15% Mo з гомогенною β структурою (загартовування з 850°C) має більш високу корозійну стійкість (40% H₂SO₄ 70-100 °C) в активній зоні потенціалів чим той самий сплав з гетерогенною $\beta+\omega$ або $\beta+\alpha$ структурою (відпуск при 400°C чи при 550°C) як це видно з рис. 1.3. На двофазному сплаві вибірково розчиняється ω - чи α -фаза і накопичується на поверхні більш стійка в цих умовах, більш збагачена молібденом β -фаза. Навпаки в пасивній зоні ($E_p = +0,74$ В) β -фаза внаслідок схильності до перепасивації є менш стійкою і переважно переходить в розчин [8].

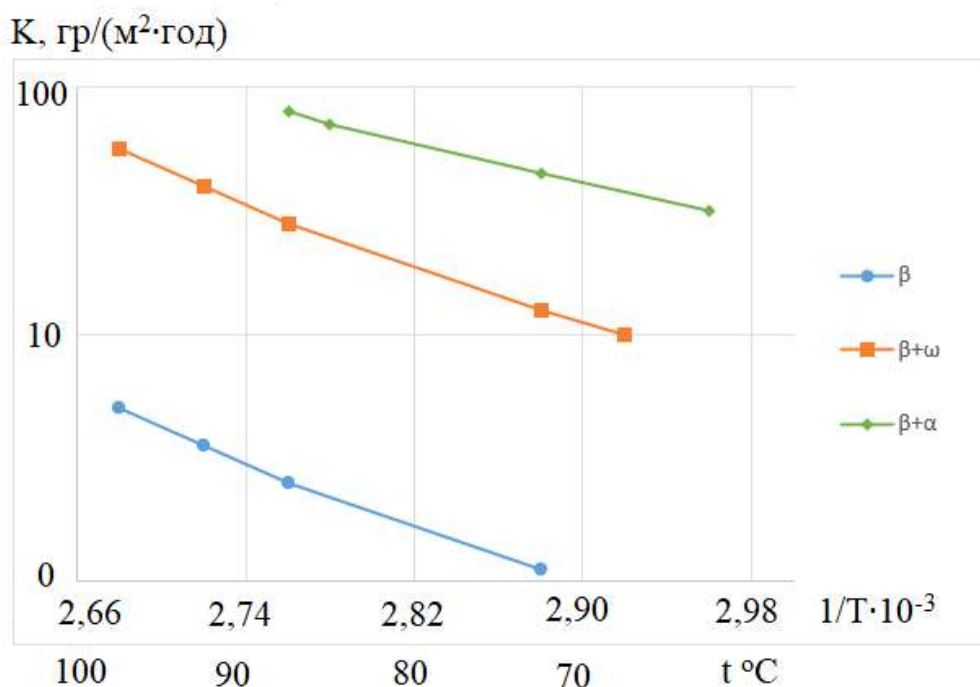


Рисунок 1.3 – Залежність швидкості корозії К в активному стані сплавів Ti – 15% Mo в 40% H₂SO₄

Вплив вмісту молібдену в титані на корозійні характеристики сплаву в неокислювальних кислотах знаходяться в повній відповідності з електрохімічними характеристиками, наприклад з приведеними на рис. 1.3.1 потенціодинамічними кривими, знятими з катодної області зі швидкістю 50мВ/хв. Видно, що сплави які містять до 20% Мо в 20%-вій НСІ при 60 °С знаходять анодну петлю активного розчинення, але тим меншу чим більше в сплаві молібдену. Таким чином починаючи від стаціонарного потенціалу тобто від 0,35В (для 12% Мо)- 0,3 В (для 16% Мо) і -0,23 В (для 20% Мо) до нуля вольт, ці сплави будуть активно розчинятись, але з тим меншою швидкістю чим більше в сплаві молібдену. Сплав з 32% Мо буде в цій області потенціалів цілком стійкий. Однак при потенціалі значно позитивніше нуля всі сплави будуть схильні до розчинення і притому з тим більшою швидкістю чим більше в сплаві молібдену, схильного до пере пасивації [9].

На базі Ti-Mo був розроблений сплав 4201 який містить 31-35% Мо [10]. Особливості його корозійних властивостей наведені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Швидкість корозії титанового сплаву 4201 (Ti33Mo) (Т.к. – температура кипіння)

Агресивне середовище	Концентрація, %	Температура, °С	Тривалість випробування, год.	Швидкість корозії, мм/рік
1	2	3	4	5
Сірчана кислота	5	150	-	0,24
	5	175	-	1,40
	15	125	-	0,16
	15	150	-	6,90
	40	125	-	0,20
	85	120	-	16,6

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5
	5	Т.к	-	0,054
	15	150	-	0,64
	15	Т.к	-	0,23
	20	20	-	0,014
	20	Т.к	-	0,4
Фосфорна кислота	15	150	-	0,02
	50	Т.к	125	0,10
	70		125	0,15
	80		125	0,8
Оцтова кислота	60	200	-	0,01
	98	200	-	0,04
Мурашина кислота	25	Т.к	800	0,10
	25	200	800	0,29
	60	200	125	0,01
	85	200	125	0,04
Аміак	7	Т.к	-	0,014
	30		-	0,04

Таким чином, як можна побачити з наведених даних молібден суттєво підвищує корозійну стійкість титан-молібденового сплаву у різноманітних агресивних середовищах.

1.4 Застосування електрошлакового процесу для отримання зливків титану та його сплавів

Пріоритет у дослідженні застосування електрошлакового процесу для отримання титанових зливків належить ІЕЗ ім. Є.О. Патона [11, 12]. В результаті проведених досліджень була розроблена технологія електрошлакової плавки, що забезпечує значні переваги в порівнянні з існуючими промисловими вакуумними методами плавки. Переконаливо доведено, що одноразова електрошлакова плавка витратних електродів, пресованих із високоякісної титанової губки, при застосуванні флюсу АН-Т2 дозволяє отримувати технічний титан ВТ1 і сплав ОТ4 з властивостями, які не поступаються титану, що виплавлений у вакуумно-дуговій печі двократним переплавом. У роботах [11, 12] з метою захисту витратного електрода і шлакового розплаву від взаємодії з киснем і азотом повітря застосовували захисну камеру, яку перед плавкою попередньо вакуумували до залишкового тиску $(3 - 5) \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст., а потім заповнювали аргоном.

Наукові дослідження по електрошлаковому переплаву пресованих з губки титанових електродів проводили також за кордоном [13-14]. Було встановлено, що механічні властивості титанових сплавів незалежно від способу виплавки (подвійний ВДП або одноразовий ЕШП) визначаються, в першу чергу, чистотою титанової губки, з якої виготовляють витратні електроди.

Подальший розвиток технології виплавки зливків титану і його сплавів із застосуванням електрошлакового процесу пов'язано зі створенням печей камерного типу та розробкою нових флюсів [15]. У цих установках підтримується вакуум, або захисна інертна атмосфера і застосовуються флюси на основі чистого фтористого кальцію з добавками лужних, лужноземельних елементів і металевого кальцію, що забезпечує ефект рафінування титану.

В електрошлакових печах камерного типу також можливо вести виплавку титанових зливків в дуговому режимі, так званий дуговий шлаковий переплав [16,17,18]. Удосконалення захисту розплавленого шлаку і титанового

електроду від кисню, водню та азоту повітря (флюсові затвори в комбінації з інертним середовищем) значно розширюють технологічні та металургійні можливості дугового електрошлакового процесу.

Технологічні особливості процесу камерного електрошлакового переплаву (КЕШП) дозволяють активно впливати на механічні властивості титану, застосовуючи додаткове легування киснем.

Якщо раніше в титані кисень вважали шкідливою домішкою, та обмежували його вміст не більше 0,2 % [18], то в роботах [19, 20] доведена доцільність легування титану киснем з метою підвищення характеристик міцності. В роботі легування титану ВТ1-0 киснем здійснювали в процесі КЕШП. Кисень вводили за допомогою спеціальної лігатури і при підвищенні його вмісту до 0,4 % міцність литого титану знаходилась в межах 700 – 720 МПа.

Слід також зазначити, що цілий ряд зарубіжних марок нелегованого титану також характеризується більш високим вмістом домішок (табл. 1) в порівнянні з вимогами до титану ВТ1-0. Це свідчить про те, що ці марки титану, скоріш за все, використовують в умовах експлуатації для яких підвищений вміст домішок в титані не впливає негативно на працездатність виробів, або, навіть навпаки, іноді підвищує їх працездатність. Наприклад, в роботі доведено, що в сплавах титану з підвищеним вмістом кисню корозійна стійкість в 40 % H_2SO_4 та 70 % H_2SO_4 зростає до трьох разів у порівнянні з чистим титаном.

Безумовно, електрошлаковий процес у відкритому кристалізаторі набагато економніше в порівнянні з вакуумними технологіями (ВДП, ВГП, ЕЛП, ПДП, КЕШП). Крім того, в нашому випадку витратні електроди будуть виготовлені з кондиційних відходів листової обрізи титану ВТ1-0. Це також додатково та суттєво знизить собівартість зливків.

1.5 Ціль та завдання дипломного проекту

Ціль проекту – розробка ресурсозберігаючої електрошлакової технології отримання титан-молібденових катодів для установок плазмового відцентрового розпилення (PREP).

Це потребує вирішення наступних задач:

- застосувати відходи листової обрізі титану ВТ1-0 для виготовлення витратних електродів титан-молібденового сплаву;
- обрати необхідне обладнання для виготовлення витратних електродів;
- назначити технологічне обладнання для електрошлакової виплавки заготовок катодів із сплаву титан-молібден;
- виконати розрахунок охолодження кристалізатора та його проект;
- виплавити опитну досліджену заготовку титан-молібденового катоду та провести оцінку металургійної якості.

2 МАТЕРІАЛИ, ОБЛАДНАННЯ

2.1 Титан та молібден з яких виготовляли витратні електроди

2.1.1 Властивості титану

Титан – метал сріблястого-білого кольору із температурою плавлення 1668°C. Має дві поліморфні модифікації: до 882,5°C – стійка модифікація -Ті з ГЦП граткою, вище 882,5°C – модифікація -Ті з ОЦК граткою. При повільному охолодженні внаслідок поліморфного перетворення утворюються поліедричні структури, при швидкому охолодженні перетворення реалізується за мартенситним механізмом з утворенням голчастої структури. Густина титану 4,505 г/см³ [10].

Титан – елемент IV групи періодичної системи Менделєєва. За вмістом в земній корі він займає перше місце серед тугоплавких металів, а за використанням як конструкційний матеріал – четверте місце серед інших металів після алюмінію, заліза та магнію [10].

З усіх тугоплавких металів титан в нормальних умовах має найбільші теплоємність та коефіцієнт термічного лінійного розширення, найменшу теплопровідність (в 10 разів меншу, ніж у вольфраму) [10].

Титан відноситься до корозійностійких металів, на його поверхні утворюється пасивна щільна оксидна плівка TiO₂. Титан має високу корозійну стійкість у звичайній та в морській атмосфері, у воді, в більшості агресивних середовищах (лугах, кислотах, лужних та кислотних розчинах) та в інших активних середовищах. Титан інтенсивно реагує тільки з плавиковою, соляною, сірчаною та ортофосфорною кислотами [10].

При підвищенні температури Ti активно поглинає газ: починаючи з 50...70°C – водень, вище 400...500°C – кисень, вище 600...700°C – азот, оксид вуглецю та вуглекислий газ. При нагріванні на повітрі до 1200°C титан спалахує з утворенням оксидних фаз змінного складу TiO_x. Це явище отримало назву «титанова пожежа». Титан, як і магній, пірофорний метал, тобто здатен до

самозаймання, тому титан та його сплави не використовують при температурах вище 500...600°C.

Титан в присутності хлористого натру схильний до корозії під навантаженням (сольова корозія). Під дією напружень в місці контакту титанового сплаву з повареною сіллю або іншим галоїдом виникають тріщини, котрі поступово розповсюджуються вглиб металу, що призводить до передчасного руйнування. Це розтріскування спостерігається при температурах приблизно від 215 до 550°C. В деяких сплавах сольова корозія розвивається при напруженнях, які в 3...4 рази менші за опір повзучості.

При температурі понад 500°C титан та його сплави легко окислюються та активно насичуються воднем з пари, що викликає явище водневої крихкості. Механізм водневої крихкості залежить від фазового складу титанових сплавів. У випадку нелегованого титану та однофазних α -титанових сплавів причиною явища підвищення крихкості є виділення крихкої гідридної фази, що різко зменшує опір відриву. В двофазних сплавах гідриди не утворюються через присутність β -фази, що добре розчиняє водень, проте виникають зони пересичених воднем твердих розчинів, що викликають крихке руйнування при низьких швидкостях деформації. Із збільшенням кількості β -фази чутливість сплавів до водневої крихкості зменшується [7].

Титан – парамагнітний матеріал. Має доволі високий питомий електроопір, який в залежності від вмісту домішок коливається від $42 \cdot 10^6$ Ом·см до $70 \cdot 10^6$ Ом·см. При температурах нижче 0,45 К титан стає надпровідником.

Титан має низьку теплопровідність, яка в 13 разів менша за теплопровідність алюмінію та в 4 рази менша за теплопровідність заліза. Коефіцієнт термічного розширення при кімнатній температурі незначний, але із зростанням температури підвищується. Механічні властивості титану залежать від вмісту домішок. Найбільш чистий йодідний титан (0,093% домішок) має наступні властивості: $\sigma_b = 250...300$ МПа, $\delta = 50...60\%$, $\psi = 70...80\%$, 130 НВ[7].

2.1.2 Властивості молібдену

Молібден – метал світло-сірого кольору з температурою плавлення 2623⁰С. Знаходиться в підгрупі хрому VI групи періодичної системи елементів Менделєєва. Запаси цього елемента в земній корі складають 0,001%. Молібден має велику схожість за деякими властивостями з вольфрамом, з яким зустрічається в рудах. Обидва ці елементи відносяться до широко застосованих в техніці металів та є основою найбільш тугоплавких сплавів [21].

Поліморфних перетворень у молібдену не має. Кристалізується він в ОЦК.

При кімнатній температурі молібден стійкий до повітря, при 400⁰С починається його окислення. Тому для використання молібдену при високих температурах необхідні покриття, які будуть захищати метал від контакту з киснем.

Проте високі теплофізичні і хороші термодинамічні властивості забезпечують надійну роботу молібдену при високих температурах.

За теплопровідністю серед тугоплавких металів молібден поступається лише вольфраму.

Молібден дуже чутливий до впливу кисню та азоту при температурах вище 400⁰С, тож при отриманні з'єднань із молібденом необхідне використання вакуумування.

Склад молібдену МЧ ($\geq 99.96\%$) приведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад молібдену МЧ

Fe	C	Si	Ni	Al	Ca	Mg	O	Mo
< 0.01	< 0.005	< 0.01	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 0.002	< 0.008	≥ 99.96

2.2 Обладнання для виготовлення витратних електродів

Витратні титан-молібденові електроди виготовляють з відповідних заготовок листової обрізи титану ВТ1-0 та полос молібдену марки МЧ. Необхідні полоси титану рублять на гільйотинних ножицях. Для контактного точкового зварювання застосовують контактні машини типу Telwin PTE 28 LCD 400V (рис.2.1).



Рисунок 2.1 – Апарат точкового зварювання 400 V TELWIN PTE 28 LCD 824051

Апарат точкового зварювання 400 V TELWIN PTE 28 LCD 824051 є потужним стаціонарним обладнанням, яке призначається для з'єднання листового металу. Управління агрегатом здійснюється за допомогою ножної педалі, що сприяє зручності та простоті експлуатації. Багатофункціональний РК-дисплей дозволяє легко та швидко вибрати режим роботи (EASY, EXPERT).

Технічні характеристики Telwin PTE 28 LCD 824051:

- вага нетто, кг	141;
- габарити без упаковки, мм	790x320x1280;
- напруга, В	380;
- Мах струм, А	16400;
- Мах потужність зварювання, кВт	60;
- виліт електродів, мм	350;
- Мах товщина листів, що зварюються, мм	5+5;
- управління	механічне.

Переваги Telwin PTE 28 LCD 824051:

- напруга холостого ходу – 4.2 В;
- цифрове мікроконтролерне керування;
- регулювання струму точкового зварювання (%);
- тривалості точкового зварювання (цикли);
- сили стиснення електродів;
- вибір різних параметрів циклу;
- РК-дисплей, що легко читається;
- механічна панель керування;
- термозахист із сигнальним пристроєм;
- робота в безперервному та імпульсному режимі забезпечує чудове зварювання різних типів сталі.

Для шовного контактного зварювання титан-молібденових стрічок також застосовували верстат шовного зварювання SW-HF-1000 (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Верстат шовного зварювання SW-HF-1000

Автоматична машина призначена для зварювання внахльост прямокутних або круглих заготовок. При зварюванні не пропалюється гальванічна поверхню матеріалу, що зварюється. Електродами даної зварювання є мідний дріт. Затиск заготовки і початок роботи виконується за допомогою ногого приводу. Є повітряне охолодження.

Технічні характеристики SW-HF-1000:

- вага нетто, кг	580;
- габарити без упаковки, мм	2300x1000x1500;
- напруга, В	380;
- швидкість роботи	2 - 8 м/хв.;
- діапазон діаметрів	80 - 1250 мм;
- товщина металу	0,4 - 1 мм;
- робоча довжина	50 - 1000 мм;
- ширина напуску	6 мм;
- діаметр дроту	2 мм.

Для виконання прихваток на титан-молібденових стрічках, а також їх торцевого провару доцільно застосовувати обладнання для аргонодугового зварювання вольфрамовим електродом в середовищі аргону. Для цього доцільно використати установку Jasic TIG-200P (W224) (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Установка Jasic TIG-200P (W224)

Jasic TIG-200P (W224) – це зварювальний інвертор для аргонодугового (TIG) і ручного дугового (ММА) зварювання постійним струмом. Застосовується для зварювання низьковуглецевих, легованих нержавіючих, а також інших видів сталі, титану та інших конструкційних матеріалів.

TIG-200P (W224) належить до обладнання професійного класу. Інвертор виконує одразу два види зварювання, що дозволяє скоротити витрати на створення цілого парку техніки під конкретні практичні завдання. Окрім стандартних режимів зварювання апарат також підтримує режим імпульсного зварювання, яка незамінна під час зварювання виробів з тонких матеріалів. При використанні цього режиму зварний шов акуратний і надійний, а вірогідність пропалювання і деформації заготовки зведена до мінімуму.

Прогресивна схема охолодження забезпечує швидке відведення надлишків теплоти і транзитний рух повітря корпусом, оминаючи ділянки з точною електронікою. Пил не осідає всередині на платах, а видувається назовні. Завдяки такій організації охолодження строк роботи апарату збільшується. Основа

конструкції інвертора транзистори IGBT-типу, що дає можливість отримати значну потужність і час активної роботи, але при цьому зберегти вагу невеликою, а розміри компактними. Корпус виконаний з міцного пластику, стійкого до дії високих температур.

Управління апаратом просте. Режими "ММА/TIG", "2Т/4Т", "імпульс/без імпульсу" перемикаються кнопками. Інші параметри задаються ручками з плавним регулюванням. Так, ручками виставляються значення: зварювального струму (від 10 до 200А), спадання струму після зварювання (від 0 до 5 с), частота імпульсу (від 0.2 до 200Гц), часу продування після зварювання (від 1 до 10с), а також значення струму форсажа дуги. На спеціальний цифровий дисплей виводяться значення струму зварювання. Напруга живлення 220В, 1 фаза.

Стандартний функціонал:

- підпал дуги струмом високої частоти (ВЧ);
- зварювання аргонодугове (TIG DC) та аргонодугове імпульсне (TIG-Pulse);
- аргонодугове зварювання в режимі 2 і 4 такти (2Т/4Т);
- ручне дугове зварювання покритим електродом (ММА);
- "форсаж дуги" для ММА-режиму;
- індикація перегріву.

Технічні характеристики Jasic TIG-200P (W224):

- | | |
|------------------------------------|------------------|
| - вага | 7,5 кг; |
| - вид зварювання/різання | ММАТІG; |
| - габаритні розміри (Д x Ш x В),мм | 430 x 168 x 312; |
| - діаметр електрода TIG (max) | 4,0 мм; |
| - діаметр електрода TIG (min) | 1,6 мм; |
| - зварювальний струм ММА (max) | 180 А; |
| - зварювальний струм ММА (min) | 10 А; |
| - зварювальний струм TIG (max) | 200 А; |
| - зварювальний струм TIG (min) | 10 А; |
| - ККД | 85 %; |

- клас ізоляції	F;
- коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$)	0,68;
- напруга мережі живлення	220 В \pm 15% ;
- напруга холостого ходу	72 В;
- ПВ(40 °С)	0,3;
- споживана потужність (активна)	5,1 кВт;
- споживана потужність (повна)	7,5 кВА;
- спосіб збудження дуги	високочастотний;
- ступінь захисту інструменту	IP21S;
- тип зварювального струму	DC;
- товщина металу для зварювання	0,3 – 6,0 мм;
- час продування газом після зварювання	1 - 10 с.

2.3 Електрошлакове обладнання

Для організації виробництва продукції з використанням електрошлакового процесу потрібно застосовувати наступні складові обладнання: стойка печі (колона), джерело живлення, блок керування параметрами плавки, кристалізатор.

2.3.1 Стойка печі (колона)

Стойка печі призначена для закріплення витратного електроду та його переміщення в період наплавлення. Механізми переміщення виконують старт процесу, поступове підвищення швидкості подачі електроду на квазістаціонарний режим плавлення, подальше сплавлення електроду з необхідною швидкістю, та фінішний етап виведення усадки. Механічна частина стойки керується

спеціальним приводом. В дипломному проєкті для електрошлакової виплавки вибрали колону (рис. 2.4), яку виготовляє ППат «Каховський завод електрозварювального обладнання».



Рисунок 2.4 – Колонна для електрошлакової виплавки

Характеристики колони наступні:

- номінальна напруга живлення, В	380;
- частота електричного ланцюга, Гц	50;
- відносна вологість, % max	95;
- кількість електродів, шт.	1-3;
- діаметр електродів, мм max	100;
- номінальний струм при ПВ = 80%, А	5000;
при ПВ = 100%, А	4500;
- діаметр відливки, мм max	150;
- швидкість подачі електроду, м/мін	0-5;
- маса колони, кг	1010.

2.3.2 Джерело живлення

У якості джерела живлення при електрошлаковому процесі можуть застосовуватися різноманітні джерела, такі як: джерела змінного струму, джерела постійного струму, джерела з низькою частотою змінного струму та деякі інші. Найбільш економічним є трансформатори змінного струму з можливістю регулювання вторинної напруги в широкому діапазоні. Трансформатори змінного струму мають жорстку вольт – амперну характеристику, що добре задовольняє процес саморегулювання. Такі трансформатори надійні в роботі та мають значно меншу вартість у порівнянні з іншими джерелами живлення. Враховуючи те, що при електрошлаковій виплавці титану та його сплавів напруга на шлаковій ванні складає від 20 до 30 вольт, то бажано застосувати трансформатор, який був розроблений у Інституті ЕЗ ім. О.Є. Патона – ТШС 3000-3. Важливою особливістю цього трансформатора є те, що він підключається до трьохфазної системи, при цьому не виникає фазового перекосу. Крім того, у цьому трансформаторі передбачена можливість переключення вторинних обмоток з метою отримання максимального току 5 кА, що важливого для отримання титанових зливків діаметром до 150 мм. Зовнішній вигляд наведено на рис. 2.5.

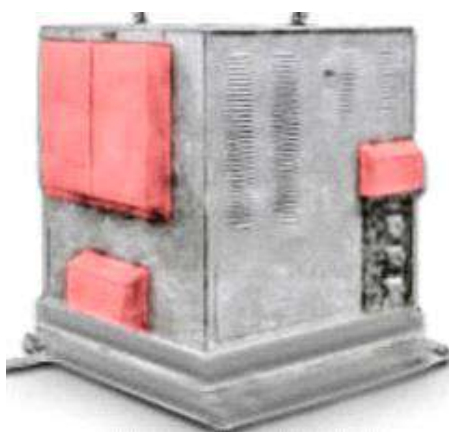


Рисунок 2.5 – Трансформатор ТШС 3000-3

Характеристики трансформатору наступні:

- напруга, В (первинна/вторинна)	380/8-63;
- номінальна вторинна напруга, В	56;
- з'єднання фаз	3/3;
- номінальний вторинний струм при ПВ 100%	4500;
- номінальний вторинний струм при ПВ 80%	5000;
- номінальна потужність, кВА	500;
- кількість ступеней регулювання напруги	18;
- охолодження	водяне;
- габаритні розміри (Д х Ш х В) мм	1360x1335x1500;
- маса, кг	2200.

2.3.3 Електропривод механізму переміщення витратного електроду

В електрошлакових установках одним з основних елементів конструкції є привід подачі електроду, який повинен забезпечувати безперервну або переривчасту подачу електродів у шлакову ванну з регульованою швидкістю, яка визначається технологічним процесом переплаву.

Приводи повинні забезпечувати робочі швидкості подачі електродів у межах 0,2-3 м/год. Для скорочення міжплавкових простоїв доцільно мати другу, маршову швидкість. Залежно від конструктивних особливостей установки маршова швидкість становить 3-120 м/год. [22]

Основним напрямом при виборі приводу переміщення електроду електрошлакової установки є привід, елементна база якого побудована на основі частотного перетворювача.

Найбільш поширеними типами перетворювачів, які застосовуються в керованому електроприводі є перетворювачі частоти. Застосування перетворювача частоти дозволяє отримувати економію електроенергії до 60%,

оскільки пуск двигуна відбувається плавно, без значних пускових струмів та ударів, знижує навантаження на двигун та механізми, збільшує термін їхньої служби [22].

Застосування перетворювача частоти з асинхронним двигуном в електроприводі механізму переміщення електроду електрошлакової установки повинно забезпечити такі технологічні властивості:

- можливість плавного регулювання швидкості;
- підтримка стабільної швидкості при малих її значеннях;
- реверсивну роботу приводу;
- можливість швидкого розгону приводного двигуна до заданої швидкості та його гальмування;
- високу перевантажувальну здатність приводного двигуна по струму та моменту;
- високий ступінь надійності роботи електроприводу та системи управління.

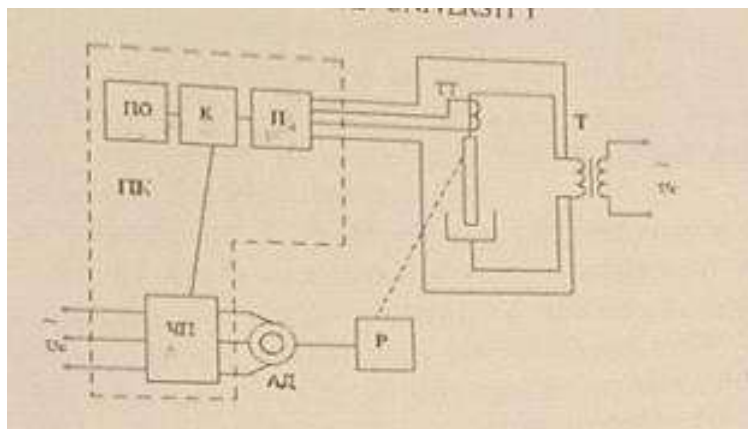
На електрошлакових установках застосовують ряд систем керування процесом ЕШП, в яких використовують різні способи регулювання параметрів:

- струму переплаву;
- напруги на шлаковій ванні;
- опору шлакової ванни;
- потужності на шлаковій ванні;
- швидкості плавлення електроду.

В якості типових, що застосовуються в установках ЕШП з електромеханічним приводом електродів і двигунами постійного струму, є тиристорні регулятори. Дані регулятори розраховані на керування приводом електродів з електродвигунами типів ПБСТ або ПГТ потужністю до 11 кВт з номінальною напругою 220 В [22].

Проаналізувавши різновиди регуляторів струму для приводів електрошлакових установок в даному дипломному проекті пропонується використовувати регулювання процесом переміщення електрода за допомогою асинхронного двигуна з коротко замкнутим ротором та частотним

перетворювачем, який програмується контролером ОВЕН типу ПЛК 150-220.І. із графічною панеллю оператора типу ПП320. Структурну блок-схему регулятора наведено на рис. 2.6 [22].



ПО - панель оператора, К - контролер, П - перетворювач, ПП - частотний перетворювач, Р редуктор, ТТ - трансформатор струму, АД - асинхронний двигун, Т - живильний трансформатор, ПК - пульт керування

Рисунок 2.6 – Блок-схема електроприводу переміщення витратного електрода [22]

Прилад «Панель оператора ЗМП1» призначений для відображення та редагування вхідних параметрів, отриманих по мережі RS від приладу ОВЕН ПЛК.

Логічний контролер ОВЕН ПЛК150-220.І-І, який програмується з дискретними та аналоговими входами та виходами, має 6 дискретних входів; 4 аналогових входу (універсальних); 4 дискретні виходи (е/м реле); 2 аналогових виходу (другий ЦАП 4...20 мА, 0...10 або універсальних 4...20 мА/0...10 В).

Основне використання контролерів: побудова окремих систем управління та диспетчеризації.

Вимірювальний трансформатор струму SOCOMEC типу ТСВ 44-63 використовується для передачі сигналу виміряної інформації (струму), перетворювачу, електрошлаковій установці.

Перетворювач вимірюваної величини - аналоговий сигнал типу 192Y0285 використовується для перетворення вимірюного струму у стандартний аналоговий сигнал.

Перетворювач має такі характеристики: вхідний сигнал: 5 А; вихідний сигнал: 4 - 20 мА; напруга живлення: 230 В; клас точності: 0,5; робоча температура: -10...+60 °С; встановлюється прямо на трансформатор струму.

Таким чином, в дипломному проекті застосована розроблена система, яка може бути використана для управління електроприводом механізму переміщення електрода електрошлакової установки [22].

Запропонований в дипломному проекті частотний спосіб регулювання роботою асинхронного двигуна [22], який забезпечить плавне регулювання у широкому діапазоні, виявляється більш економічним. Як правило, для кращого використання електродвигуна та отримання високих енергетичних показників його роботи (коефіцієнта потужності та корисної дії) одночасно зі зміною частоти напруги живлення необхідно змінювати і значення цієї напруги. Також при частотному регулюванні зменшується пусковий струм, зменшує навантаження на мережу живлення [22].

2.3.4 Кристалізатор – конструкція. Розрахунок охолодження

Кристалізатор є найбільш відповідальним вузлом електрошлакової установки. В ньому відбувається плавлення електродного металу, примусове охолодження та кристалізація розплавленого металу, а також формування відливки. Крім свого головного значення – формування відливки і кристалізації металу, кристалізатор також виконує роль плавильної камери. У середині кристалізатора знаходиться високоактивний шлак, температура якого може досягати 2000 С°. Висока теплова міцність, яка генерується шлаковою ванною при проходженні через неї електричного струму, а також можливість проходження

через кристалізатор великих струмів створюють важкі теплові умови його роботи. Значення щільності теплового потоку на стінку кристалізатора може досягати приблизно мільйона кілокалорій на квадратний метр поверхні в годину [23].

За цих умов не виключено попадання в охолодні канали стороннього тіла, що при недостатньому розмірі каналу може призвести до його закупорки та аварійної ситуації.

Надійність гідроізоляції повинна виключати потрапляння рідини, що охолоджує, в робочу зону, що може призвести до виплеску. Також необхідно враховувати, що робочий тиск води всередині кристалізатора 20-30 МПа і гідроізоляційна прокладка повинна володіти і безумовно технічною міцністю. Досить високою надійністю в таких умовах має фторопластовий шнур.

Розрахунок системи охолодження кристалізатора виконували за методикою та розрахунковими формулами згідно роботи [23].

Величину $q_{н.к.}$ визначали за формулою [23]:

$$q_{н.к.} = \left[\frac{\xi_s * E}{8} Y_B W_B C_B \sqrt{\frac{2\tau_B * C_B * t}{\tau_{нар} * Y_B * \lambda_B} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{8}{\xi_s E} * \frac{\Delta t_H \tau_{нар} Y_B^{11} \lambda_H}{3_1 3 Y_B W_B C_B G_B T_{кин}}} \right)} \right] \quad (2.1)$$

$$\xi_s = \frac{1}{(1,821g \operatorname{Re} s - 1,64)^2};$$

$$E = \frac{1}{1 + \operatorname{Re} s^{-0,125} \left\{ (\operatorname{Pr} - 1) + \ln \left[1 + \frac{S}{6} (\operatorname{Pr} - 1) \right] \right\}};$$

де:

μ_B, G_B, λ_B - в'язкість;

C_B - теплоємність рідини;

$\tau_{нар}$ - теплота пароутворення;

Y_B^{11} - щільність пари;

$T_{\text{кип}}$ - температура кипіння, К;

Pr – число Прандля при середній температурі води;

$Re_s = Y_B W_B d_{\text{екв}} / \mu_B$ - число Рейнольдса, де $Y_B W_B$ - масова швидкість руху води у канавці;

$d_{\text{екв}}$ - Еквівалентний діаметр каналу.

Середня температура води в кристалізаторі визначається за формулою [23]:

$$t_B^{\text{cp}} = t_B^{\text{BX}} + \frac{\Delta t_B}{2}; \quad (2.2)$$

де t_B^{BX} - температура води на вході в кристалізатор.

Умови, необхідні визначення довідкових величин отримуємо при розрахунку гідравлічної системи кристалізатора за загальним методикам розрахунку, описаної далі.

Величина q_B визначається за заданою схемою панелі за формулою [23]:

$$q_B = q_{\text{cm}} \frac{F_M^{\text{кр}}}{F_{\text{эф}}} \quad (2.3)$$

де:

$F_M^{\text{кр}}$ - площа поверхні, що сприймає тепло від шлакової ванни;

$F_{\text{эф}}$ - ефективна поверхня охолодження;

q_{cm} - теплове навантаження на стінки кристалізатора.

При прийнятій схемі переплаву визначаємо за такою формулою [23]:

$$q_{\text{cm}} = \frac{\theta_{gm} * \mathcal{Q}_M}{P_M^{\text{кр}}}, \quad (2.4)$$

де:

$\vartheta = 0,7$ – відносна величина втрат від рідкого шлаку до стінки кристалізатора;

θ_{gm} - кількість теплоти, що виділяється під час переплаву.

$$\theta_{gm} = I_p U_p, \quad (2.5)$$

де:

I_p - робочий струм;

U_p - робоча напруга.

Так як в системі охолодження кристалізатора вільний злив, то тиск на ділянці кристалізатора, що цікавить, визначалося, як сума втрат напору у всіх елементах системи охолодження від аналізованих ділянок до вільного зливу і тиску атмосфери [23], тобто:

$$P_{кр} = \sum_{i=1}^n \Delta P_i + P_{атм}, \quad (2.6)$$

Сумарний гідравлічний опір визначається за формулою [23]:

$$\Delta P_{кр} = \xi_{сум} \frac{Y_B * V_B^2}{2_q}, \quad (2.7)$$

Результати теплового розрахунку кристалізатора наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри теплового розрахунку кристалізатора

Величина	Позначення	Одиниця вимірювання	Чисельне значення
Швидкість води в холодних каналах	V_B	м/с	2,57
Витрата води через систему охолодження	G_B	м ³ /с	0,0596

Продовження таблиці 2.2

Температура води на вході в охолодному каналі			30
Підігрів води в охолодному каналі	Δt_B	°C	11,6
Середня температура води в охолодному каналі		°C	35,8
Еквівалентний діаметр охолоджувального каналу	$d_{\text{екв}}$	м	0,008
Коефіцієнт кінематичної в'язкості	ν_B	м ² /см	$0,72 \cdot 10^6$
Число Рейнольдса під час руху води в охолодному каналі	Re	-	$2,85 \cdot 10^4$
Число Прандтля в охолодному каналі	Pr	-	4,7
Число Нуссельта в охолодному каналі	Nu	-	167
Коефіцієнт теплопровідності води в охолодному каналі	λ_B	ккал/м·чх°С	0,54
Коефіцієнт тепловіддачі під час руху води в охолодному каналі	α_B	ккал/м·чх°С	$1,13 \cdot 10^4$
Середня температура поверхні охолоджуючого каналу		°C	127

Згідно з проведеними розрахунками, а також практичними посиланнями роботи [24] був спроектований кристалізатор для електрошлакової виплавки титан-молібденових заготовок для катодів установок PREP. Креслення кристалізатора наведено на рис. 2.7.

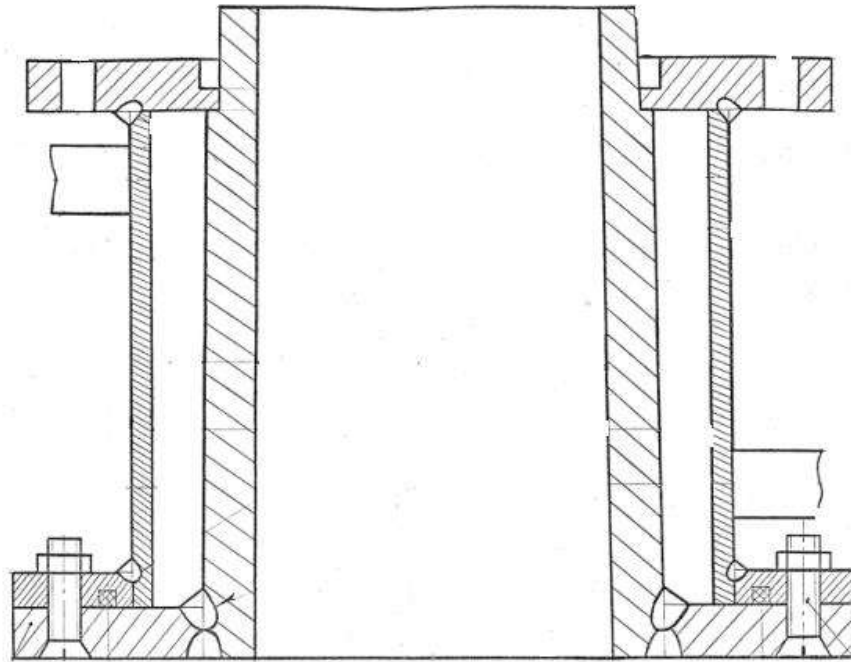


Рисунок 2.7 – Кристалізатор

2.4 Вибір флюсу

2.4.1 Призначення флюсів. Хімічний склад. Технологічні та металургійні властивості

Одним з найважливіших складових компонентів є флюс, який виконує наступні функції [25, 26]:

- є джерелом тепла, яке виробляється при проходженні електричного струму через розплавлений флюс;
- захищає розплавлений метал від взаємодії з атмосферою (кисень, азот, водень);
- є рафінуючою середою, що забезпечують видалення неметалевих включень, сірки, фосфору та кисню;
- забезпечує формування гладкої поверхні зливка за рахунок створення тонкого шару шлаку, що кристалізувався шлаку (гарнісажу), проміж поверхнею зливка та стінкою кристалізатора.

До флюсів електрошлакової технології пред'являють технологічні і металургійні умови.

Технологічні умови:

- можливість виконання твердого старту процесу;
- забезпечення стабільності параметрів електрошлакового процесу вздовж усього періоду плавки;
- оптимальні витрати електроенергії;
- температуру плавлення нижче на 150-200 С°, ніж температура сталей і сплавів, які переплавляються.

Металургійні вимоги:

- висока рафінуюча здатність;
- захист розплавленого металу від атмосфери повітря;

На сьогодні для електрошлакового процесу застосовують флюсові композиції, які наведені в таблиці 2.3 [27]. Як можна побачити з наведеної таблиці, флюси, за винятком флюса АНФ – 1П, містять оксиди металів Al_2O_3 , CaO , MgO , BaO , TiO_2 , ZrO_2 . В залежності від співвідношення CaF_2 та оксидів металів визначаються технологічні та металургійні властивості флюсів.

Для електрошлакової виплавки титану та його сплавів найбільш підходять флюси АНФ -1 та АНФ – 1П. Однак, ці флюси мають дуже високу питому електропровідність. Наприклад, питома електропровідність флюсу АНФ – 6 у розплавленому стані не перевищує $140 - 150 \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$, а флюсу АНФ – 1П – $550 - 600 \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$. Тому витрати електроенергії при ЕШП на даних флюсах складають $2700 - 2800 \text{ кВт*год./т}$, що значно обмежує їх використання [15].

Таблиця 2.3 – Флюсові композиції

Марка флюсу	Масова частка елемента, %											
	фторид кальцію	оксид алюмінію	оксид кальцію	оксид магнію	оксид кремнію (IV)	оксид хрому	оксид марганцю (II)	вуглерод	оксиду заліза (III)	сірки	фосфора	оксид титану (IV)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
АНФ-1	Не менше 90	Не більше 3	Не більше 5	-	Не більше 2,5	-	-	0,10	0,5	0,05	0,02	0,05
АНФ-1-1	Не менше 90	Не більше 3	Не більше 5	-	Не більше 2,5	-	-	0,05	0,5	0,05	0,02	0,05
АНФ-1-2	Не менше 85	Не більше 8	Не більше 8	-	Не більше 1,0	-	-	0,10	0,5	0,05	0,02	0,05

Продовження таблиці 2.3

АНФ-1-3	Не менше 85	Не більше 8	Не більше 8	-	Не більше 1,0	-	-	0,05	0,5	0,05	0,02	0,05
АНФ-6	Основа	25-31	Не більше 8	-	Не більше 2,5	-	-	0,10	0,5	0,05	0,02	0,05
АНФ-6-1	Основа	25-31	Не більше 8	-	Не більше 2,5	-	-	0,05	0,5	0,05	0,02	0,05
АНФ-6-2	Основа	25-31	Не більше 8	-	Не більше 1,0	-	-	0,10	0,5	0,05	0,02	0,05
АНФ-6-3	Основа	25-31	Не більше 8	-	Не більше 1,0	-	-	0,05	0,5	0,05	0,02	0,05
АНФ-6-4	Основа	28-34	Не більше 8	-	Не більше 2,5	-	-	0,10	0,5	0,05	0,02	0,05

Продовження таблиці 2.3

АНФ-6-5	Основа	25-37	Сума кальцію оксиду і магнію оксиду, не більше 9		2-7	0,3-0,9	-	0,10	0,5	0,05	0,02	-
АН-291	10-20	35-45	20-28	17-27	Не більше 2,5	-	-	0,10	0,5	0,05	0,02	0,05
АН-295	11-17	49-56	26-31	Не більше 6	Не більше 2,5	-	-	0,10	0,5	0,05	0,02	0,05
АНФ-25	50-60	12-20	10-15	10-15	2-7	-	-	0,10	0,5	0,07	0,03	-
АНФ-28	41-49	Не більше 5	26-32	Не більше 6	20-24	-	-	0,10	0,5	0,06	0,03	-
АНФ-29	37-45	13-17	24-30	2-6	11-15	-	-	0,10	0,5	0,06	0,03	-

Продовження таблиці 2.3

АНФ-32	34-42	24-30	20-27	2-6	5-9	-	0,3-1,3	0,10	0,5	0,06	0,03	-
АНФ-35	24-30	28-32	20-26	12-16	4-8	-	Не більше 0,5	0,10	0,5	0,06	0,03	-
ВГС	Не більше 8	40-48	44-52	Не більше 5	Не більше 2,5	-	-	0,2	0,5	0,05	0,02	-
ВКС	2-10	Не більше 5	34-52	Не більше 2	40-60	-	-	0,10	0,5	0,08	0,08	-

2.4.2 Вибір флюсу для електрошлакової виплавки титан-молібденових заготовок катодів.

Для обрання флюсу в даному дипломному проекті скористались результатами досліджень Протоковілова І.В., Порохонько В.Б. [15], які запропонували поліпшити технологічні та металургійні показники флюсу сольового типу (100% CaF_2) який доцільно застосовувати для електрошлакової виплавки титану та його сплавів. Спираючись на результати роботи [28], було доведено, що будова рідких сольових флюсів може бути описана моделлю досконалого іонного розчину. Виходячи з цього будова рідких флюсів сольового типу може бути описана моделлю досконалого іонного розчину [28]. Відповідно до цієї моделі речовини, що входять до складу сольового розплаву, повністю електролітично дисоційовані на катіони та аніони. Для галогенідних флюсів це переважно прості однотипні іони: катіони Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} і т.д., і аніони F^- , Cl^- . Крім того, у них можуть бути комплексні аніони типу MgF_2^- , AlF_3^- . Електропровідність сольових флюсів характеризується рухом іонів і залежить від радіусу катіону та його рухливості. Для фторидів лужноземельних металів спостерігається закономірне зменшення питомої електропровідності зі збільшенням радіусу катіону. Аналогічні закономірності мають місце і для в'язкості сольових композицій. У роботі [15] зазначено, що наявність у розплаві різновалентних іонів знижує його електропровідність (системи Me_1^+ , $\text{Me}_1^{2+}/\text{F}^-$, Cl^- у порівнянні з Me^{2+} , $\text{Me}^{2+}/\text{F}^-$, Cl^-). Змішані фторидно-хлоридні композиції мають нижчу електропровідність у розплавленому стані, ніж змішані фторидно-фторидні.

Флюси системи CaF_2 -8...10% SrCl_2 -2...4% Na , AlF_3 , та CaF_2 -8...10% MgF_2 -4% Na , AlF_3 , забезпечували надійний «холодний» старт електрошлакового процесу та стабільні режими протягом усієї плавки, а зливки, виплавлені з їх використанням, характеризувались гарною якістю бічної поверхні.

Використання флюсів системи CaF_2 -8% SrCl_2 -4% Na , AlF_3 , і CaF_2 -8% MgF_2 -4% Na , AlF_3 , дозволяє знизити питому витрату електроенергії, в порівнянні з плавкою під флюсом на основі чистого CaF_2 , на 14,7 і 18,3% (табл. 2.4) [15].

Таким чином, на основі вищезазначених даних в дипломному проекті в якості флюсу для ЕШП титану і сплавів на його основі застосували композицію: основа – CaF_2 , 8% MgF_2 , 4% Na_3AlF_6 , яка забезпечує стабільний електрошлаковий процес з хорошим формуванням поверхні зливка при зниженні питомої витрати електроенергії.

Таблиця 2.4 – Параметри дослідних плавок в залежності від складу флюсу

Параметр	Склад флюсу, %		
	100CaF ₂	CaF ₂ -8SrCl ₂ -4Na, AlF ₃	CaF ₂ -8MgF ₂ -4Na, AlF ₃
Середній струм, А	2683,3	2404,0	2519,6
Середня напруга	32	31,4	31,5
Середня швидкість подачі електрода, м/год	63,8	65,7	72,2
Тривалість плавки, з	310,0	422,8	484,6
Маса зливка, г	4985	3560	4480
Питома витрата ел.енергії, кВт*год/т	2918,7	2490,3	2384,8
Відносна витрата ел.енергії, %	100	85,3	81,7

2.4.3. Обладнання для приготування флюсу.

Як відомо, при довгостроковому контакті металургійних флюсів з атмосферою повітря виникає їх насичення киснем та воднем. В подальшому при їх використанні метал, що переплавляється, має підвищений вміст кисню та водню. При електрошлаковій виплавці титану домішки кисню та водню суттєво погіршують властивості зливків. Тому перед початком проведення плавок необхідно проводити прожарювання флюсів. Для цього застосовуються термічні печі, в яких робоча температура складає не менш 950 С°. В цьому дипломному проекті для прожарювання флюсу обрали муфельну піч СНО-3.6.3/11 І 1 (рис.2.8).



Рисунок 2.8 – Муфельна піч СНО-3.6.3/11 І 1.

Електропіч СНО-3.6.3/11 І 1 в настільному виконанні обладнана системою безпеки та автоматичним регулюванням температури на основі твердотільного безконтактного реле та мікропроцесорного терморегулятора, що задає температуру, час виходу на режим і час знаходження на режимі, та забезпечує захист електропечі від перегріву. В терморегуляторі є вихід на комп'ютер за допомогою інтерфейсу та програмного забезпечення, що додаються. Пульт управління розміщений на лівій боковій стороні печі. Нагрівачі, виконані у вигляді спіралей на керамічних трубках, розташовані на бічних стінках камери та в поду. Футеровка електропечі виконана із вогнетривких та теплоізоляційних матеріалів на основі шамотно-волокнистих плит і базальтового волокна. Двері на завісах відкриваються вручну. В печі є приточний та витяжний (з пробками)

вентиляційні отвори для видалення можливих газових виділень у процесі термообробки.

Технічні характеристики:

- номінальна потужність, кВт	8 ±2;
- параметри електроживлення	2×220 В, 50 Гц;
- максимальна температура в робочому просторі, °С	1100;
- діапазон автоматичного регулювання температури, °С	40...1100;
- розміри робочого простору, ш×д×в, мм	300 × 600 × 300;
- габаритні розміри, ш×д×в, мм	900 × 850 × 700;
- середовище в робочому просторі	повітря;
- стабільність регулювання температури в усталеному тепловому режимі, без садки, °С	± 2.

Флюс необхідно прожарювати при температурі 800 – 850 С° протягом 2 годин. Для прожарювання використовувати ємність із нержавіючої жаростійкої сталі. В період прожарювання флюс необхідно перемішати не менш 4 – 5 разів.

3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТИТАН-МОЛІБДЕНОВИХ ВИТРАТНИХ ЕЛЕКТРОДІВ

3.1 Аналіз конструкції витратних електродів

Витратний електрод повинен містити всі елементи у зазначеному співвідношенні, необхідні для отримання необхідного вихідного матеріалу.

Відповідно, для створення витратного електроду для електрошлакового процесу необхідно було створити електрод, який при переплавленні утворював необхідний сплав титану з молібденом.

Було прийняте рішення зварити такий електрод з пластин молібдену та титану.

Було взято пластини титану довжиною 1 м, шириною 30 мм, товщиною 1 мм та молібдену довжиною 1 м, шириною 25 мм, товщиною 1 мм.

Один електрод буде сформований з трьох пластин молібдену та восьми пластин титану (рис. 3.1).

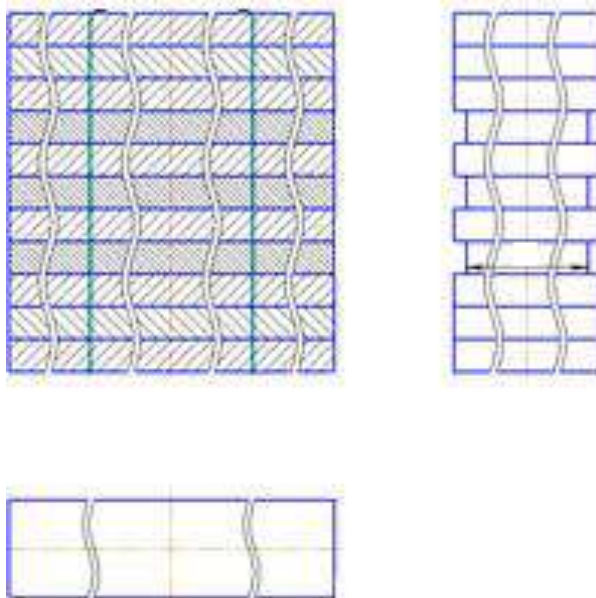


Рисунок 3.1 – Конструкція витратного електроду

Для з'єднання двох пластин між собою можна використовувати швидкий та дешевий метод контактного зварювання (титан – молібден, титан – титан).

3.2 Контактне зварювання титану

Титанові сплави характеризуються хорошою зварюваністю на жорстких режимах. Невисокі теплопровідність і електрична провідність титанових сплавів дозволяють здійснювати зварювання при порівняно невеликій щільності струму[29].

Метод точкового зварювання титану дозволяє отримати негерметичні з'єднання листового металу до 4 мм товщини. Він широко застосовується для корпусів механізмів і захисних кожухом, при збиранні різних опорних рамок і т.д. Електрод повинен бути досить міцним, щоб витримувати велике зусилля стиснення листів. Для зварювання протяжних швів з метою підвищення продуктивності використовується кілька електродів, розташованих з тим же кроком, що і точки шва.

Низька електропровідність титанових сплавів полегшує можливість багатоелектродного зварювання. Режим зварювання чистого титану має параметри, наближені до параметрів режимів, які використовуються для корозійностійких сталей. Режими точкового зварювання титану визначаються товщиною прокату [29]:

- товщина листа 0,8-2,5 мм;
- контактна поверхня 4-8 мм;
- тиск електрода 1,9-6,8 кН;
- тривалість імпульсу 0,1-0,4 с;
- тривалість стиснення 0,1-0,4 с;
- струм імпульсу 7-12 кА.

В ході підготовки до зварювальних робіт кромки заготовок слід відфрезерувати або зачистити абразивними матеріалами. Необхідно також ретельно знежирити як лінію шва, так і навколошовну зону до 20 см. Перед зварюванням рекомендується проводити травлення листів в кислотному розчині, наприклад: 30% азотної кислоти, 3% плавикової кислоти, 67% води (в об'ємних частках) з наступним промиванням у воді, знежиренням і зневодненням ацетоном і спиртом. Після такої обробки контактний опір не перевищує 50-60 мкОм. Подальша витримка на повітрі призводить до зростання товщини оксидів і збільшення контактної опору, тому перерва між травленням і зварюванням не повинен перевищувати 45-50 год.

Оскільки титан має низьку теплопровідність, він схильний перегріватися. Тому значення осадки встановлюється на 10-20% вище, ніж для конструкційних сталей.

Точкове зварювання титанових сплавів може виконуватися на серійному виробництві контактних машинах без будь-яких істотних конструктивних змін.

В таблиці 3.1 наведено параметри зварювання титанових листів в залежності від товщини [29].

Таблиця 3.1 – Параметри контактної зварювання титанових листів

Товщина листа, мм	Діаметр електродів, мм	Струм зварювання, кА	Тривалість імпульсу, с	Тиск, кН	Діаметр зварюваної точки, мм
0,5+0,5	25-40	4,5	0,08-0,10	1,5-2,0	3,0
0,8+0,8	50-75	5,5	0,10-0,15	2,0-3,4	4,0
1,0+1,0	75-100	6,0	0,15-0,20	2,5-2,94	5,0
1,2+1,2	75-100	6,5	0,20-0,25	2,94-3,4	5,5
1,5+1,5	75-100	7,0	0,25-0,30	3,43-3,9	6,0
1,7+1,7	75-100	7,5	0,25-0,30	3,7-4,2	6,5
2,0+2,0	100-150	9,0	0,30-0,35	4,4-4,9	7,0
2,5+2,5	100-150	10,0	0,30-0,35	5,9-7,4	8,0
3,0+3,0	100-150	12,0	0,35-0,40	7,8-8,8	9,0

Оскільки товщина титанових пластин становить 1 мм, то вибираємо наступні параметри зварювання [29]:

- зварювальний струм $I_{зв} = 6$ кА;
- інтервал $t = 0,15$ с;
- зусилля притискання $P = 2,7$ кН;
- радіус електродів – 80 мм.

Очікуваний діаметр зварюваної точки – 5 мм.

Слід також брати до уваги, що контактне точкове зварювання забезпечує високі показники механічних властивостей в широкому інтервалі параметрів режиму навіть без захисту зони нагріву інертними газами. Зварювання треба вести з мінімальними інтервалами часу; інакше можливе утворення дрібногочастої α' -фази, яка знижує пластичні властивості з'єднання. Тому застосовуються жорсткі режими, іноді з повторним нагріванням точки шляхом пропускання через неї струму $(0,7-0,9)I_{зв}$. Це запобігає утворенню гартівних структур і сприяє зняттю залишкових напружень в зварних конструкціях, особливо виготовлених з середньо- і високолегованих титанових сплавів. Залишкові напруження можна знизити і завдяки застосуванню кувального зусилля в момент закінчення дії імпульсу зварювального струму. При цьому крупнокристалічна структура литого ядра точки подрібнюється, наближаючи її до дрібнокристалічної структури основного металу.

3.3 Контактне зварювання молібдену

Хімічно активні тугоплавкі метали (W, Мо та інші) мають високу температуру плавлення, тепло- та електропровідність. Ці властивості значно ускладнюють їх контактне зварювання. Температура їх поверхні досягає $(0,5 - 0,6)T_{пл}$, що призводить до оплавлення електродів на мідній основі. Для

зварювання застосовують багатоімпульсний режим, що знижує температуру нагріву робочої поверхні електродів [29, 30].

Відомий спосіб контактного точкового зварювання молібдену, при якому між зварюються поверхнями поміщають проміжну суцільнометалеву прокладку з титану.

Оскільки товщина молібденових пластин становить 1 мм, шви повинні лише з'єднати пластини, то вибираємо якомога вищі параметри для зварювання тугоплавкого молібдену МЧ:

- зварювальний струм $I_{зв} = 8 \text{ Ка}$;
- інтервал $t = 0,2 \text{ с}$;
- зусилля притискання $P = 3 \text{ кН}$;
- радіус електродів – 30 мм.

Очікуваний діаметр зварюваної точки – 5 мм [29].

3.4 Аргонодугове зварювання титану

Одним з основних способів зварювання титану є аргонодугове зварювання.

Проте зварювання титану та його сплавів непроста задача, що пояснюється рядом їх властивостей:

- висока температура плавлення (1470-1825 °С);
- схильність до збільшення розмірів кристалів і появи пір при температурах понад 880 °С;
- окислення металу атмосферним повітрям, висока хімічна активність всіх зон, температура яких перевищує 400 °С;
- сплави, що містять залізо, хром, марганець, молібден, вольфрам або ванадій, схильні до загартовування і мають низьку пластичність, в ряді випадків після зварювання потрібно робити відпал [30].

Ці чинники зумовили необхідність зварювання титану та його сплавів в захисних газових середовищах, в першу чергу, аргоновому і гелієвому. Крім того, однією з головних задач зварювального обладнання, задіяного в роботі з даними металами, є мінімізація часу і площі термічного впливу як на шов, так і на прилеглі до нього зони.

Незалежно від використаного виду зварювання і технологічного процесу міцність шва по відношенню до міцності основного металу не перевищує 80%, що потрібно враховувати при проектуванні титанових конструкцій.

Проте в нашому випадку аргонодугове зварювання використовується тільки для з'єднання пластин для того, щоб електрод не розпався під час зварювання, тому механічні властивості з'єднання не грають надто важливої ролі.

Аргонодугове зварювання титану та його сплавів придбала найбільшу популярність з огляду на оптимального співвідношення доступності технологічного процесу і якості одержуваних швів. Вона широко використовується як в масовому виробництві деталей з титанових заготовок, так і в окремих випадках.

Технологія допускає використання будь-якого електродугового зварювального апарату, здатного забезпечити жорстку вольт-амперну характеристику (зазвичай сила струму становить не менше 140 А). Використовуються вольфрамові електроди, особливості яких розглянуті нижче. Оскільки властивості металу вимагають безперервної захисту стику інертними газами, особливу складність представляє саме рівномірна подача газу з необхідною інтенсивністю.

Поширені три способи газового захисту [30]:

- струменевий - аргон подається в зону зварювання спрямованим струменем через спеціалізовані сопла і відбивачі, витісняючи атмосферне повітря;
- місцева - припускає використання невеликих герметичних камер, заповнених газом, працювати в яких можна через гнучкі рукава-маніпулятори;

- повна - промисловий спосіб, при якому заготовки розміщуються в камері з контрольованою атмосферою (наприклад, УБС-1, ВКС-1, вуас-1), вимагає використання зварювального костюма-скафандра.

Важливо пам'ятати, що захист має піддаватися не тільки зварювальній ванна, але і зворотний боки стику, а також всі прилеглі до них зони, які нагріваються до високих температур в процесі зварювання.

В нашому випадку буде застосовуватися струменевий захист.

Для аргонодугового зварювання титану та титанових сплавів використовують вольфрамові електроди малого діаметра.

Якщо товщина стику не перевищує 3 мм, застосовуються електроди діаметром 1,5-2,0 мм без присадного матеріалу. У всіх інших випадках товщина електрода відповідає товщині стику, використання присадного дроту обов'язково.

Для титану ВТ1-0 обираємо зварювальний дріт ВТ1-00св.

Наявність і метод оброблення крайок, а також параметри зварювання залежать від товщини стику (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Залежність параметрів зварювання від товщини металу

Товщина металу, мм	Розділення кромки	Сила зварювального струму, А	Напруга на дузі, В	Діаметр зварювального дроту	Кількість проходів
1 – 3	Відсутнє	40 – 90	10 – 14	1,2 – 2,0	1
3 – 10	З однієї сторони, під 45°	120 - 200	10 – 15	1,5 – 2,5	2 – 12
10 – 20	Радіальна ванна	180 – 280	12 – 16	2,5 – 3,0	12 - 26
> 20	З двох сторін, під 30°	230 - 280	13 - 16	2,5 – 3,0	≥ 24

При перших же ознаках зносу або пошкодження електрод замінюють. Робота несправним електродом не тільки негативно позначається на технічних характеристиках зварювальних швів, чутливих до режиму проведення робіт, але і може бути небезпечною для зварника.

Вибір присадного матеріалу залежить від марки титану або сплаву, товщини заготовок, товщини електрода, параметрів зварювання, ефективності прийнятого методу захисту стику від атмосферного повітря.

Зварювання титану та сплавів проводять в нижньому положенні. Техніка мало чим відрізняється від класичної дугового зварювання, загальний алгоритм дій включає наступне:

- закріплення очищених і знежирених заготовок на опорній поверхні з зазором, відповідним конфігурації деталі та режиму зварювання (для листів товщиною 2,0-3,0 мм зазор складає 0,5-1,5 мм);

- подача аргону до місця стику або в захисну камеру. При струменевому методі захисту загальна витрата газу на обдув робочої і зворотного боку шва становить 12-16 л / хв для листів товщиною 2,0-3,0 мм;

- підпалювання дуги на початку шва. Відбувається не раніше, ніж через 15 секунд після початку струменевої подачі аргону або відразу після витіснення атмосферного повітря з захисною камери;

- послідовна проварка шва. Здійснюється шляхом плавного і досить швидкого осьового переміщення, поперечне зміщення слід звести до мінімуму. Зазвичай електрод ведеться кутом вперед, а присадні дріт подають перпендикулярно йому;

- повторна проварка шва в разі потреби. Може проводитися до 40 послідовних проходів;

- обрив дуги і завершення робіт. При цьому подача аргону триває, поки метал в зоні стику не охолоне до 250-300 С° (для виробів невеликої товщини - близько 45-60 секунд).[30]

3.5 Підготовка титану під зварювання

Процес виготовлення будь-яких напівфабрикатів і заготовок з титану і його сплавів пов'язаний з термічною обробкою металу. Це означає, що на поверхні виробів міститься щільна оксидно-нітридна плівка, без руйнування якої зварювальні роботи будуть неможливі або неефективні. Тому процес підготовки до зварювання має таку послідовність:

- вирубування титанових смуг з листа;
- підгонка заготовок;
- механічна обробка (шліфування) крайок, а також прилеглих до них поверхонь;
- хімічна обробка стику. Для розчинення залишкових плівок використовується суміш дистильованої води, соляної кислоти і фториду натрію в пропорції 13:7:1. Час впливу на метал становить 5-10 хвилин, необхідна температура - близько 60 °С;
- остаточна обробка. Безпосередньо перед зварюванням стик і прилеглі до нього зони (шириною до 25 мм) зачищають металевою щіткою до характерного блиску, після чого знежирюють спиртовмісних складами.

Правильно проведені підготовчі операції зводять до мінімуму ймовірність появи порожнин в зварювальному шві, його розтріскування або руйнування під навантаженням, дозволяють сформувати однорідну стійку зварювальну ванну.

3.6 Підготовка молібдену під зварювання

Загальною рекомендацією до зварювання молібдену є використання професійного зварювального агрегату, з гнучким регулюванням сили струму.

Правильне її налаштування полегшить зварювальний процес і не викличе руйнування сполучних ділянок.

Тому процес підготовки до зварювання має таку послідовність:

- кромки, зварювана область навколо них ретельно зачищається;
- поверхня знежирюється хімічними реагентами - фосфорною, сірчаною кислотою, розведеною водою в пропорції 1:1. Остання дія здійснюється кілька разів до повного знищення оксидної плівки, слідів масла і жиру;
- стики затираються наждачним папером до блиску;
- підготовчі роботи закінчуються при отриманні мінімальних відколів і керамічного зміщення.

Правильно проведені підготовчі операції зводять до мінімуму ймовірність появи порожнин в зварювальному шві, його розтріскування або руйнування під навантаженням, дозволяють сформувати однорідну стійку зварювальну ванну.

3.7 Складально-зварювальні роботи при виготовленні витратних електродів

Оскільки пластини титану та молібдену мають різні геометричні розміри, а саме різну ширину (30 мм у титанових і 25 мм у молібденових), то необхідно спочатку зафіксувати пластини молібдену відносно титанових.

Для цього використаємо контактне зварювання та з'єднаємо молібденові та титанові пластини зварними точками з шагом 10 мм (рис. 3.2).

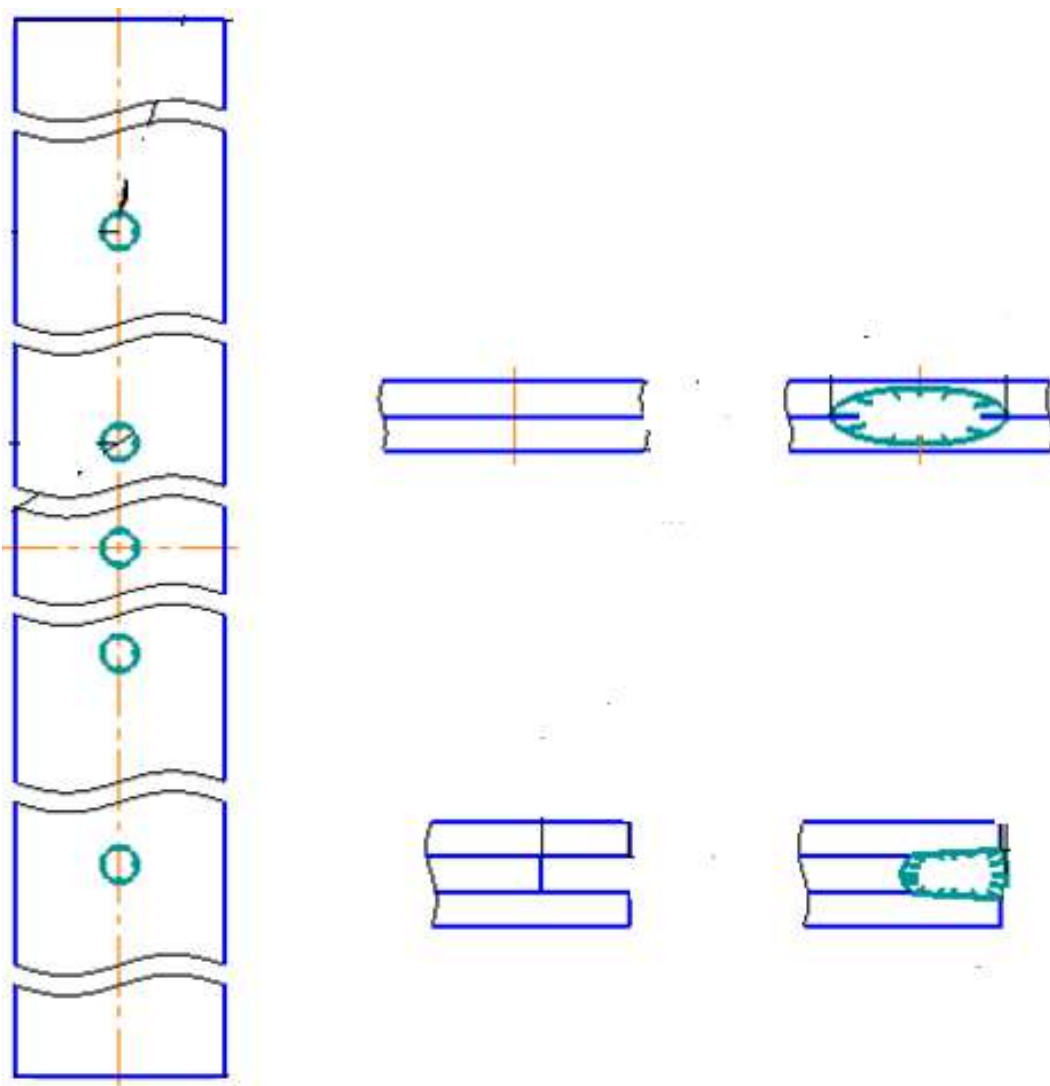


Рисунок 3.2 – Спосіб контактеного зварювання пластин

Таким способом також попарно з'єднуємо титанові пластини, що залишилися.

Наступний етап – зварювання пакетів смуг у єдиний електрод. Для того, щоб отримати електрод з правильними геометричними характеристиками, необхідно зварені у пакети смуги надійно закріпити перед зварюванням. З цією метою буде використовуватися складальне обладнання, в якому електрод буде фіксуватися за рахунок притискання гвинтовими прижимами до уголків.

Можливим застосуванням електроду є виготовлення насадки для плунжера хімічного насоса, який можна сформувати шляхом ЕШП.

Як вихідний матеріал зазвичай застосовується суцільний витрачуваний електрод з первинного металу, який може бути литим, отриманим обробкою тиском або складатися з брухту. Шлакова ванна, що міститься в охолоджуваному кристалізаторі, нагрівається і розплавляється електричним струмом (електричним опором), що проходить між електродами і охолоджуваним піддоном. Коли температура шлаку перевищує температуру плавлення металу, електрод починає оплаватися; краплі, що стікають з кінця електроду, подають у шлакову ванну, яка поступово твердне. Електрод подають у шлакову ванну, при цьому злиток, який служить другим електродом, поступово зростає. Рідкий шлак таким чином безперервно переміщується догори. Там, де шлак зустрічається зі стінками охолоджуваного кристалізатора, він твердне, що забезпечує наявність суцільної скоринки твердого шлаку між кристалізатором і злитком. При затвердінні злитка вона лушиться з поверхні, яка характеризується високою якістю.

В нашому випадку буде застосовуватися електрод, зварений з декількох пластин титану та молібдену.

3.8 Контроль якості виробу

Як вже було зазначено вище, біметалічний набірний електрод призначений для електрошлакової виплавки деталей гарантованого хімічного складу та процес експлуатації електрода являє собою процес переплавлення його у виріб необхідної геометричної конфігурації.

Виріб не призначений для витримування механічних навантажень, розтягувальних, стискаючих, згинальних та навантажень на зріз.

Всі зварювальні шви несуть функцію з'єднання складових частин електрода, щоб він не розпався в процесі транспортування чи експлуатації.

Тому до зварювальних швів не висуваються вимога рівномірності основному металу, а контроль якості можна проводити візуально на предмет:

- відсутності пор, тріщин, не заварених кратерів;
- правильної конфігурації зварного шву;
- відсутності бризок на поверхні деталей.

4 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОШЛАКОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ ЗАГОТОВОК КАТОДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТИТАН-МОЛІБДЕНОВИХ ВИТРАТНИХ ЕЛЕКТРОДІВ

4.1 Вибір параметрів електрошлакового процесу

Основні параметри процесу наступні:

- флюс та його кількість;
- струм плавки та напруга на шлаковій ванні або швидкість подачі витратного електроду;
- коефіцієнт заповнення кристалізатору.

Переплавляли витратні електроду складу 95% титану – 5% молібдену. При такій кількості молібдену його вплив на загальний електричний опір витратного електроду майже незначний. Тому для вибору параметрів електрошлакового процесу були використані результати роботи [31].

4.2 Технологія виплавки

Електрошлакову виплавку заготовки катодів виконували на обладнанні та з використанням флюсу, які наведені у розділі 2 даної роботи.

Послідовність операції виплавки наступна:

- встановити кристалізатор діаметром 85 мм на піддон;
- встановити стартову пластину на піддон;
- встановити витратний електрод у електродотримач електрошлакової установки;
- опустити витратний електрод на стартову пластину;
- увімкнути воду для охолодження кристалізатору та піддону. Тиск води 25Па;

- засипати у кристалізатор 1,2 кг прожареного флюсу;
- увімкнути вентиляцію;
- увімкнути подачу захисного газу – аргону;
- виконати операцію – «твердий старт»;
- подаючи витратний електрод встановити робочі параметри переплаву;
- сплавити витратний електрод до контрольної риски;
- виконати операцію - «виведення усадки»;
- закінчити плавку. Вимкнути трансформатор ТШС 3000-3 та систему подачі аргону;
- охолодити зливоч у кристалізаторі;
- витягти зливоч у кристалізатора.

4.3 Дослідження властивостей титан-молібденового зливка електрошлакової виплавки

Зовнішній вигляд отриманого зливка діаметром 85 мм наведено на рис. 4.1.



Рисунок 4.1 – Титан-молібденова заготовка катода

З рис. 4.1 можна побачити, що поверхня зливка достатньо гладка, без пережимів та гофрів. Це свідчить, що режими плавки обрані правильно та відхилень від їх стабільності не було.

Макроструктуру дослідного зливку вивчали на поперечних темп летах. Встановлено що макроструктура щільна, однорідна та не має дефектів кристалізаційного походження. На рис. 4.2 наведено зовнішній вигляд одного з поперечних темплетів дослідженого зливка.

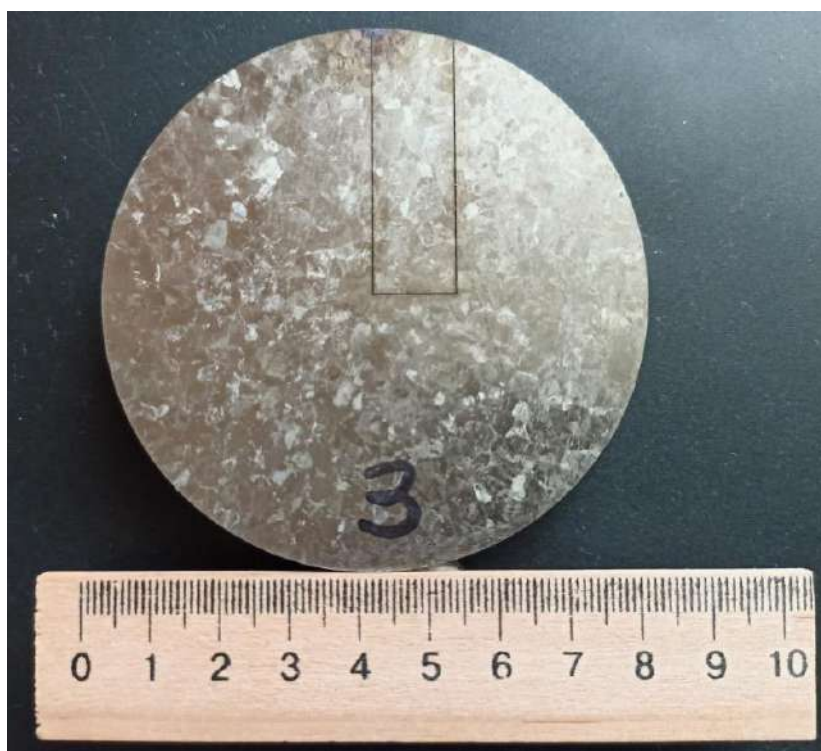


Рисунок 4.2 – Макроструктура зливка

Розмір литого зерна складає 3-5 мм по усьому перерізу зливка, що підтверджує його фізичко-хімічну однорідність.

Хімічний склад отриманого титан-молібденового зливка наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Хімічний склад титан-молібденового зливка та титану ВТ1-0

Сплав	Масова доля елементів, %							
	Ti	Mo	Si	Fe	O ₂	H ₂	N ₂	C
Ti+5%Mo	94,01	4,9	0,52	0,10	0,18	0,007	0,032	0,25
ВТ1-0 (ДСТУ 19807-91)	Основа	-	0,10	0,25	0,2	0,01	0,04	0,07

Таким чином, отримана електрошлакова заготовка титан-молібденового сплаву по хімічному складу задовольняє хімічному складу титанових катодів.

Враховуючи те, що при виготовленні катодів з електрошлакових зливків застосовується токарна обробка, то було проведено дослідження оброблюваності різанням титан-молібденового зливка. На рисунку 4.3 (а – початок обробки, б – завершення обробки) наведено зливки до та після токарної обробки.



а)



б)

а – початок обробки; б – завершення обробки

Рисунок 4.3 – Токарна обробка титан-молібденового зливка

Точіння виконували за рекомендаціями [32] різцями з твёрдосплавними пластинками зі сплаву ВК-8 з наступною геометрією: $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 12^\circ$, $\varphi = 14^\circ$, $\varphi_1 = 45^\circ$. Швидкість різання 30 м/хв., подача 0,5 мм/об, глибина різання – 2,5 мм. Встановлено, що отриманий зливok добре піддається механічній обробці різанням.

При виготовленні деяких катодів, довжина яких перевищує 550 мм, доцільно використовувати зливки діаметром 100 – 125 мм з подальшим їх куванням. Тому, було проведено дослідження можливості обробки тиском отриманого титан-молібденового зливка. Оброблюваність тиском виконали методом гарячого кування на гідравлічному пресі зусиллям 2 МН. На рис. 4.4 наведено деформований титан-молібденова поковка перерізом 35 x 35 мм довжиною 600 мм при ступені деформації 45%. В процесі гарячого кування не було виявлено технологічних труднощів. При зовнішньому огляді не виявлено поверхневих тріщин та інших дефектів поверхні. УЗК не виявило внутрішніх дефектів.



Рисунок 4.4 – Титан-молібденова поковка

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У розділі надані основні заходи з охорони праці при виготовленні титанових електродів методом зварювання неплавким вольфрамовим електродом в середовищі захисних газів Ar та ЕШП.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Можливість ураження електричним струмом. Головними причинами уражень можуть бути не виконання правил з електробезпеки, не використання індивідуальних засобів захисту, відсутність захисного заземлення зварювального обладнання, пробій ізоляції в електричній схемі.

Електрофтальмія, причиною якої є ультрафіолетове випромінювання зварювальної дуги або плазмотрона, що може привести до ураження органів зору (опіків сітківки ока, опіків шкірного покривив особини).

Раптове руйнування судин для зберігання робочих газів під тиском. Основними небезпеками є:

- використання балонів з терміном придатності, який скінчився;
- недбалість поводження з балонами;
- неправильне їх зберігання;
- порушення правил експлуатації судин під тиском, які можуть стати причиною серйозних руйнувань, важким механічним травмам, летальним наслідкам.

Втрата герметичності трубопроводів, які подають робочі гази на робоче місце, причиною яких є використання невідповідних типів шлангів, неправильне їх з'єднання. Механічні пошкодження трубопроводів, які можуть привести до витоку газів, як наслідок отруєння цими газами.

Небезпеки які пов'язані з підготовкою та налаштуванням технологічних пристосувань для проведення зварювання та ЕШП, зокрема: механічні травми, при падінні вихідних частин електродів, порізів гострими крайками які можуть бути через порушення правил охорони праці.

Термічні опіки в результаті випадкового дотику до нагрітих поверхонь обладнання, електродів.

Негативний вплив електромагнітних полів і випромінювань, джерелами яких є зварювальні трансформатори. Негативний вплив електромагнітних полів полягає в зниженні імунітету людини, а відповідно, сприяє розвитку загальних захворювань.

Незадовільні параметри повітряного середовища в робочій зоні, причинами яких є незадовільна робота систем опалення та повітрообміну, що може привести до зниження комфортності праці та загальних захворювань.

Незадовільне освітлення робочої зони, що може бути пов'язано з виходом з ладу освітлювальних приладів або надмірної забрудненості. Це може привести до погіршення зору, погіршення здатності розрізняти об'єкти, а в результаті і до травмування.

Умови праці в надзвичайних ситуаціях, зокрема: можливість загорянь причинами, яких є порушення правил пожежної безпеки, неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій різного характеру, причинами яких є непередбачуваність персоналу до дій в умовах НС.

5.2 Заходи щодо забезпечення техніки безпеки

Електрообладнання зварювальних ділянок, ділянок нанесення наплавлень, повинні відповідати вимогам НПАОН 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», ДСН 3.3.6.096-2002 «Державні

санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів» і іншими чинними нормативними актами з охорони праці.

Експлуатацію і ремонт електроустановок повинні проводити спеціально навчений персонал (вимоги до персоналу повинні відповідати ДНАОП0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»).

Для кожної електроустановки повинні бути зроблені експлуатаційні схеми нормальної та аварійної роботи. В електричних схемах повинні бути передбачені захисні електрозапобіжники від перевантажень і коротких замикань.

Електричне обладнання повинні бути заземлено відповідно до ПУЕ-2015.

Всі неізольовані струмопровідні елементи електрообладнання повинні бути надійно обгороджено суцільними огорожами, зняття або відкриття яких можливо тільки за допомогою спеціальних пристроїв.

При виконанні робіт необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту відповідно до НПАОП 24,9-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів». Зокрема діелектричні килимки та ін.

Проводка для трансформаторів може бути тимчасовою і постійною, але на всій її протяжності вона повинні бути піднята на висоту, яка забезпечує недосяжність (> 3 м). Спуск проводів виконується по колонах для виключення механічних пошкоджень, застосовують шланговий провід.

Зварювальні дроти повинні бути гнучкими, з легкої і міцної ізоляцією. Довжина проводу від електродотримача не повинна перевищувати 3 м. Подвідний провід довше 30 м застосовувати не рекомендується. Підключення гнучкого проводу електродотримача необхідно проводити з використанням мідних кабельних наконечників, з'єднаних болтами і шайбами.

Головна вимога електробезпеки щодо джерел електричного струму полягає в тому, що при перервах в зварюванні зварювальний ланцюг знаходиться під повним вторинному напрузі відносно землі. Тому робота в мокрій брудному одязі не припустима. Необхідно заземлення джерел електроенергії.

Для захисту робітників від випромінювань зварювальної дуги, яке може привести до пошкодження органів зору (опіків сітківки ока, опіків шкірного покриву обличчя) використовують наступне.

Як засіб захисту, передбачено застосування наголовних щитків зі світлофільтрами ГОСТ 12.4.035-78 «ССБТ Щитки захисні лицьові для електрозварників. Технічні умови», захисні окуляри типу ГС-3 і ГС-7 ГС-12 або установці світлофільтрів в камері наплавлення.

Згідно до ГОСТ 12247-80 «Баллоны стальные бесшовные большого объема для газов на Рр 50 и 112 МПа», основними судинами для зберігання робочих газів в зварювальній й наплавочній виробництві є балони з стиснутим до 50 атм – 90 атм. робочими газами, зокрема аргону та вуглекислого газу.

Особливу увагу слід приділяти маркуванні балонів: на верхній сферичній частині горловини маркування номера балона, ємність, завод виробник, дата виготовлення, маса балона, робочий і випробувальний тиск, термін наступного випробування. Експлуатація балонів з простроченим терміном випробування суворо заборонено. Важливе значення має також колір цих балонів. Кольори фарбування балонів: кисень – синій з написом чорною фарбою «кисень», ацетилен – білий з написом «ацетилен», азот – чорний, аргон – сірий.

Балони повинні зберігатися в спеціальних приміщеннях, на відкритому повітрі під спеціальним навісом від впливу прямих сонячних променів і опадів. Не допускається зберігання в одному приміщенні балонів кисню і ацетилену. Заповнені балони повинні зберігатися у вертикальному положенні. Вони зміцнюються спеціальними хомутами. У приміщеннях для зберігання балонів підлога повинна бути рівним, не слизькою, виготовлений з матеріалів, які виключають іскроутворення.

Переміщення балонів дозволяється тільки на спеціальних візках, транспортування вручну суворо заборонено, через можливість падіння, механічного пошкодження. Транспортування балонів повинна здійснюватися тільки при наявності запобіжного клапана на горловині балонів. Ці заходи безпеки посилюються в холодну погоду, коли знижується пластичність

матеріалів, з яких виготовлений балон. Експлуатація балонів в зимовий період вимагає їх витримки в теплій кімнаті.

Технологічна схема виробництва передбачає два варіанти подачі робочого газу для технологічного обладнання: подачу газів з балонів по газових магістралей або установкою в безпосередній близькості від місця роботи, поєднуючи їх гнучкими шлангами. Всі операції комутації балонів з установкою виконуються з використанням обміднених гайкових ключів, щоб уникнути іскроутворення.

Відкриття вентиля має бути плавним, а тиск на манометрі редуктора не повинно перевищувати технологічного. Протікання газу на з'єднаннях не допускається. Виробляти повністю кисень і ацетилен забороняється. Необхідно залишити надлишковий тиск від 1 МПа до 2 МПа. Цей захід запобігає попаданню в балон сторонніх газів.

Щоб виключити пошкодження через надмірне збільшення тиску необхідно стежити за температурою поверхні балона. Підвищення температури понад 40° С є неприпустимим.

На горловині балона встановлюють редуктор.

При експлуатації редуктора можуть виникнути такі несправності:

- самоплив – при відкритті регульовальному вентилю газ надходить в робочу камеру. Це може привести до надмірного підвищення тиску в робочій камері і розриву мембрани, що призведе до потужного викиду газу в систему. Причина: попадання під клапан бруду (стружки, окалини, неметалічних частинок);

- замерзання редуктора роботи на відкритому повітрі в холодний період року – призводить до зниження тиску газу. Відігрівати редуктор за допомогою відкритого вогню категорично заборонено, щоб уникнути займання газу і вибуху. Необхідно використовувати гарячу воду;

- зрив редуктора – призводить до миттєвого викиду великих обсягів газу, що призводить до механічних травм, основною причиною є зношеність різьби на штуцері або накидній гайки. Використання таких редукторів заборонено.

Заходи безпеки для уникнення втрати герметичності трубопроводів, які подають робочі гази на робочому місці:

- шланги повинні бач армованими;
- з'єднання шлангів гладкими з'єднанням неприпустимо. З'єднання шлангів проводиться за допомогою хомута;
- герметизація проривів ізоляцією не допускається – область пошкодження вирізають і з'єднують з'єдначем (йорж) або хомутом.

Використовувати шланги для подачі кисню і ацетилену тільки за призначенням.

Для виключення механічних травм працівники, зварювальних і наплавочних ділянок повинні забезпечуватися захисним спецодягом та індивідуальними захисними засобами відповідно до ГОСТ 12.4.103-83 «Одяг спеціальний захисний, засоби індивідуального захисту ніг і рук».

Класифікація.

Брезентові захисні костюми ГОСТ 12.4.221-2002 «ССБТ Одяг спеціальний для захисту від підвищених температур теплового випромінювання, конвертинової теплоти. Загальні технічні вимоги».

Щитки захисні ГОСТ 12.4.035 78 «ССБТ щитки захисні лицьові для електрозварників. Технічні умови».

Рукавиці брезентові ГОСТ 12.4.010-75 «ССБТ Засоби індивідуального захисту. Рукавиці спеціальні. Технічні умови».

Спеціальне взуття (черевики, напівчоботи) із захисним носком згідно ДСТУ 10998-74 «ССБП Взуття спеціальне шкіряне для захисту від механічних пошкоджень. Взуття зварника повинна бути з глухим коміром.

Для виключення термічних опіків передбачено використання індивідуальних засобів захисту, зокрема, рукавиці брезентові ГОСТ 12.4.010-75 «Засоби індивідуального захисту. Рукавиці спеціальні. Технічні умови».

5.3 Заходи щодо забезпечення промислової санітарії та гігієни праці

Одним із заходів захисту від негативного впливу електромагнітних полів є нормування їх напруженості відповідно ДСН 3.3.6.096-2002 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів», винос потужного технологічного обладнання за межі робочої зони.

Для нормалізації параметрів повітряного середовища необхідно передбачити пристрої технічних систем, які повинні забезпечувати параметри повітряного середовища відповідно до норм, які вказані в таблиці 5.1, згідно з СНиП 23-01-99 «Будівельна кліматологія».

Таблиця 5.1 – Оптимальні фізичні параметри оточуючого середовища цеха

Пори року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість, м/с
Холодний	18 – 22	40 – 60	0,1 – 0,3
Теплий	20 – 23	40 – 60	0,1 – 0,4

У теплий період року для зниження температури повітря в робочому просторі необхідно використовувати природну вентиляцію або загально обмінну припливно-витяжну вентиляцію відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартів безпеки праці. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони ». У холодний період року використовуються системи водяного опалення відповідно до СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

Для забезпечення необхідного рівня виробничого освітлення слід дотримуватися вимог ДБН В.2.5-28-3006 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування» з урахуванням розряду зорової роботи: VII-VIII розряд при Ен не менше 200 лк. Вибір джерел освітлення виконується в залежності від розмірів виробничого приміщення. Можуть використовуватися люмінесцентні лампи і газорозрядні лампи низького і високого тиску.

5.4 Заходи по забезпеченню безпеки в умовах надзвичайних ситуацій

5.4.1 Заходи з пожежної безпеки

Комплекс протипожежних заходів для виробничого приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки України».

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ:

- згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN2: 1992, EN2:1992/A1:2014, IDT) у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класів – А (що супроводжуються горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В);

- відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежної небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення (дослідницької лабораторії конструкторського бюро, тощо) обладнане ПК з ВДТ належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому відповідно до вимог ДБНВ.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості.

У разі виникнення пожежі у приміщенні (дослідницької лабораторії конструкторського бюро, тощо) обладнане ПК з ВДТ для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» передбачені виходи по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого – вхідні двері. Згідно п. 2.29 (табл. 2)

СНиП2.0.9.02-85 «Производственные здания», відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується.

5.4.2 Порядок дій персоналу в умовах НС

Заходи, які пов'язані з безпекою роботи в умовах надзвичайних ситуацій. Порядок дій сил цивільної оборони (ЦО) при ліквідуванні наслідків стихійних лих.

У більшості випадків стихійні лиха супроводжуються загибеллю матеріальних цінностей, а іноді і людськими втратами. Тому при ліквідації наслідків стихійних лих основним завданням сил ЦО є врятування людей і по можливості матеріальних цінностей. Успіх дій формувань багато в чому залежить від своєчасної організації і проведення розвідки й обліку конкретних умов обстановки. Оскільки стихійні лиха виникають раптово, оповіщення о.с. формувань, їх комплектація і створення угруповань сил ЦО повинні проводитися в найкоротший термін. Виступ формувань з районів збору в райони дій повинен здійснюватися з максимально можливою швидкістю. Командири формувань у районах робіт повинні постійно знати обстановку і, у відповідності з її зміною, уточнювати раніше поставлені чи ставити нові завдання підрозділами. Прогнозувати загрози повеней дозволяє своєчасно здійснити комплекс попереджувальних заходів, які значно знижують можливі збитки, а також створити сприятливі умови для проведення рятувальних та інших невідкладних робіт у зонах затоплення. Зміст цих заходів і їх обсяг визначаються часом попередження повені.

Так, масштаби повеней, які викликаються весняними водами, можна прогнозувати за місяць і навіть більше завдяки постійним спостереженням органами гідрометеослужби, визначенню висоти снігового покриву і встановленню залежності виникнення повені від нього від нього, визначенню

запасів вологи в ґрунті, знанню строків скресання річок, температури повітря в період паводку і т.д. Отже, можна заздалегідь провести протипаводкові заходи.

При паводках, які викликаються заторами, час попередження звичайно обчислюється декількома годинами, тобто він значно менший, ніж у розглянутому вище випадку. Але з огляду на те, що місця постійних заторів звичайно відомі, запобіжні заходи можна вжити задовго до льодоходу. Паводки, які викликаються випаданням рясних злив та інтенсивним таненням льдовиків, прогножуються на основі багаторічних спостережень.

Про майбутню небезпеку повені чи селевого потоку оповіщаються всі організації і населення. Начальники, штаби і служба ЦО приводять у готовність формування, які залучаються до ведення боротьби зі стихійним лихом, ставлять їм завдання, вказують послідовність, способи і терміни їх виконання, уточняють питання взаємодії й організують управління.

Для виявлення й уточнення обстановки організуються розвідка. Найбільш оперативною є повітряна, яка д того ж дає можливість одержання інформації про значні території. Більш точний стан поблизу гребель і мостів визначають, використовуючи дані наземної розвідки.

ВИСНОВКИ

З літературних джерел встановлено, що молібден суттєво підвищує корозійну стійкість та механічні властивості титану.

Отримання титан-молібденових порошоків для подальшого використання в АД технологіях доцільно методом PREP.

Розроблена технологія виготовлення титан-молібденових витратних електродів для електрошлакової виплавки заготовок катодів до установок плазмового ротаційного розпилення.

Методом електрошлакової виплавки титан-молібденового витратного електрода отримали зливки та провели дослідження їх властивостей.

Встановлена можливість виготовлення електрошлаковою виплавною не стандартних за хімічним складом титан-молібденових зливок, що використовуються для виробництва катодів до установок плазмового ротаційного розпилення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Джуган, О.А. Адитивні технології і можливості їх застосування в сучасних умовах [Текст] / О.А. Джуган, О.В. Овчинников, В.Ю. Ольшанецький // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2014. - № 2. – С. 96-101.
2. Starovoytenko, Ye.I. Sovershenstvovaniye oborudovaniya dlya proizvodstva metallicheskikh poroshkov tsentrobezhnym raspyleniyem /Yevgen Starovoytenko// Tekhnologiya lyogkikh splavov.- 2020. - № 2. - S. 12–20.
3. Аношкин, Н.Ф. Итоги и проблемы развития металлургии гранул [Текст] / Н.Ф. Аношкин ; В кн. Металлургия гранул. – 1983.-210с.
4. Джуган, О.О. Использование титановых порошков в методах 3D печати изделий [Текст]/ Александр Джуган // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2016. - № 2. – С. 77-81.
5. Янко, Т.Б. Титан в аддитивных технологиях [Текст] / Т.Б. Янко, О.В. Овчинников // Строительство, материаловедение, машиностроение. Стародубовские чтения. – 2018. - № 3. – С. 217-222.
6. Овчинников, О.В. Разработка порошков титановых сплавов для АД технологий применительно к деталям ГТД [Текст] / О.В. Овчинников // Авиационно-космическая техника и технологии. – 2015. - № 8. – С. 14-16.
7. Томашов, Н.Д. Титан и коррозионностойкие сплавы на его основе [Текст] /Н.Д. Томашов.- Металлургия. – 1985. – 80с.
8. Kieffer R., Binder F, Bach H. – Werkstoffe und Korrosion, 1981, Bd 19, №2
9. Fisher W., KnorW., - Z. f. Metallkunde, 1983, Bd. 47, № 8, S. 599
10. Гармата, В.А. Титан [Текст] / В.А. Гармата, А.Н. Петрунько, В.В. Галицкий // Металлургия. – 1983. – 550с.

11. Гисер, Е.Ш. Электрошлаковая отливка заготовок из высокопрочного титанового сплава VT22 [Текст] / Е.Ш. Гисер, Л.В. Чекотило, В.М. Белецкий // Проблемы специальной электрометаллургии. – 1977. – С. 21-23.

12. Гуревич, С.М. Электрошлаковая выплавка титановых сплавов [Текст] / С.М. Гуревич, В.П. Дидковский, Ю.К. Новиков // Автоматическая сварка. – 1963. – С. 37-42.

13. Armantrout, C.E. Properties of electroslag and vacuum arc melted titanium [Text] / C.E. Armantrout, S.L. Ausmus, R.A. Beall, I.T. Dunham // Titanium 99: Science and Tehnolodgy. – 1999. – S. 109-117.

14. Нефziger, Р.Х. Шлаки для электрошлаковой выплавки титана и режимы плавки. Электрошлаковый переплав. [Текст] / Р.Х. Нефziger// Наукова думка – 1971. – С. 202-218.

15. Протоковиллов, И.В. Исследование физических и технологических свойств солевых флюсов для ЭШП титана [Текст] / И.В. Протоковиллов, В.Б. Порохонько, И.А. Гончаров, Д.Д. Мищенко // Современная электрометаллургия. - 2015. - №3. - С.7–12.

16. Рябцев, А.Д. Производство слитков титана, хрома и сплавов на их основе в камерных электрошлаковых печах под «активными» металлосодержащими флюсами [Текст] / А.Д. Рябцев, А.А. Троянский // Проблемы специальной электрометаллургии. – 2001. - № 4. – С. 6-9.

17. Протоковиллов, И.В. Технологические и металлургические особенности выплавки слитков титановых сплавов в электрошлаковых печах камерного типа [Текст] / И.В. Протоковиллов, А.Т Назарчук, Д.А. Петров, В.Б. Порохонько // Современная электрометаллургия. – 2018. - № 2. – С.45-50.

18. Патон, Б.Е. Переплав губчатых титановых расходуемых электродов способами ЭШП и ДШП [Текст] / Б.Е. Патон, Б.И. Медовар, В.Я. Саенко // Проблемы специальной электрометаллургии. – 1994. - №3. – С. 7-11; №-4. – С. 7-11.

19. Рябцев, А.Д. Получение титана повышенной прочности путем легирования кислородом в процессе камерного электрошлакового переплава

[Текст] / А.Д. Рябцев, С.И. Давыдов, А.А. Троянский // Современная электрометаллургия. – 2007. - № 3. – С. 3-6.

20. Овчинников, А.В. Влияние легирования кислородом титана губчатого на структуру и механические свойства литого титана [Текст] / А.В. Овчинников, С.И. Давыдов, В.Г. Шевченко // Ti-2007 в СНГ. Материалы международной конференции, Ялта, Украина, 15-18 апреля. – 2007. – С. 170-173.

21. Моргунова, Н.Н. Сплавы молибдена [Текст] /Н.Н. Моргунова, Б.А. Клыпин, В.А. Бояршинов, Л.А. Тараканов, Ю.В. Манегин // «Металлургия». – 1975. – 390с.

22. Нежурин, В.И. Совершенствование печей ресурсосберегающих технологий в условиях машиностроительного производства. [Текст] / В.И. Нежурин, С.А. Абрамов // Вісник Чернігівського державного технологічного університета. – 2015.- № 1 – С.51-58.

23. Медовар, Б.И. Тепловые процессы при электрошлаковом переплаве [Текст] / Б.И. Медовар, В.И. Шевцов, Г.С. Маринский; Киев, Наукова думка, - 1978. – 302с.

24. Медовар, Б.И. Электрошлаковые печи [Текст] /Б.И. Медовар, Л.М. Ступак, Г.А. Бойко; Киев, Наукова думка, - 1976. – 411с.

25. Дакуорт, У Электрошлаковый переплав [Текст] /У. Дакуорт, Д. Хойл; перевод с английского А.Б. Парцевского; «Металлургия», - 1985. – 191с.

26. Allen, A.G. VIth International Congress on Electro-Heat, /A.G. Allen// Brighton. – 1984. -167s.

27. ГОСТ 30756-2001. Флюсы для электрошлаковых технологий. Общие технические условия. [Текст]. – Киев, Комитет по метрологии, стандартизации и сертификации. – 2001. – 37с.

28. Темкин, М.Н. Смеси расплавленных солей как ионные растворы [Текст] / М.Н. Темкин/ ЖФХ. – Вып.1 – 1980. – С.105-110.

29. Орлов, Б.Д. Технология и оборудование контактной сварки [Текст] /Б.Д. Орлов// «Машиностроение». – 1975.- 536с.

30. Акулов, А.И. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки [Текст] / А.И. Акулов, В.П. Алехин, С.И. Ермаков// «Машиностроение». – 2003. – 540с.

31. Білоник, Д.І Електрошлакова виплавка у відкритому кристалізаторі зливків з відходів листових обрізків титану ВТ1-0 / Д.І. Білоник, О.В. Овчинников, І.М. Білоник, О.Є.Капустян, С.О. Шумікін, Д.В. Распорня, Ю.В. Савонов // Сучасна електрометалургія. – 2022. - № 1. – С. 34-40.

32. Глазунов, С.Г. Применение титана в народном хозяйстве [Текст] / С.Г. Глазунов, С.Ф. Важенин, Г.Л. Зюков-Батырев, Я.Л.Ратнер. Київ. – Техніка. – 1980. – 200с.

