

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

Освітньо-кваліфікаційний рівень

Галузь знань **13 Механічна інженерія**

Шифр і назва галузі знань

Напрямок підготовки (спеціальність): **132 «Матеріалознавство.
Відновлення та технічний сервіс автомобілів»**

Шифр і назва напрямку підготовки (спеціальності)

на тему: **«Вдосконалення технології виробництва високоміцних
сплавів на основі титану для деталей підвіски автомобіля»**

Шифр **MPTAM 24.23606.000 ПЗ**

Виконав: *студент 2-го курсу,
група МТВАм-23-1*


Підпис

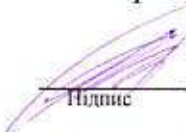
Д. П. Громов
Ініціали, прізвище

Керівник *викладач. каф ТАМ.*


Підпис

А. А. Вичавка
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.


Підпис

О. В. Диха
Ініціали, прізвище

16 12 2024 р.

Хмельницький, 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

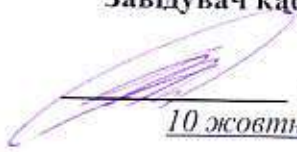
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітній рівень магістр

Спеціальність 132 «Матеріалознавство».

Спеціалізація «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТАМ

 Диха О.В.

10 жовтня 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Громову Даніилу Павловичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: Вдосконалення технології виробництва високоміцних сплавів на основі титану для деталей підвіски автомобіля.

керівник роботи: Вичавка Анатолій Анатолійович, викладач каф. ТАМ.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, п.с.не звання

Затверджено наказом університету від 26.08.2024р. № 60 (Д 28)

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 10.12.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали курсових проектів, переддипломної практики.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) Характеристика титанових сплавів.

2) Формувальні суміші та сполучні матеріали.

3) Розробка технології виробництва вилівка корпусу зворотного клапану пневмопідвіски із сплаву ВТЗ-1Л.

4) Технологічний процес виготовлення виливків.

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 10 жовтня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Характеристика титанових сплавів</i>	<i>30.10.24</i>	<i>вик</i>
2	<i>Формувальні суміші та сполучні матеріали</i>	<i>15.11.24</i>	<i>вик</i>
3	<i>Розробка технології виробництва виливка корпусу зворотного клапану пневмопідвіски із сплаву ВТЗ-1Л</i>	<i>23.11.24</i>	<i>вик</i>
4	<i>Технологічний процес виготовлення виливків</i>	<i>4.12.24</i>	<i>вик</i>
5	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>6.12.24</i>	<i>вик</i>
6	<i>Допуск до захисту</i>	<i>10.12.24</i>	<i>вик</i>
7	<i>Захист дипломної роботи</i>	<i>20.12.24</i>	

Студент


Підпис

Громов Д. П.
Ініціали, прізвище



Керівник роботи


Підпис

Вичавка А. А.
Ініціали, прізвище

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ	6
1.1 Загальні відомості.	6
1.2 Класифікація титанових сплавів та їх застосування.	12
1.2.1 Деформовані титанові сплави.	12
1.2.2 Ливарні титанові сплави.	16
1.3 Ливарні властивості сплавів на основі титану.	26
1.4 Плавильне обладнання для виплавки сплавів на основі титану.	30
1.5 Плавка металу та заливання у форми.	37
2 ФОРМУВАЛЬНІ СУМІШІ ТА СПОЛУЧНІ МАТЕРІАЛИ	47
2.1 Виготовлення стрижнів та форм.	50
2.2 Складання форм.	55
2.3 Властивості матеріалу ВТЗ-1Л	57
3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ВИЛИВКА КОРПУСУ ЗВОРОТНОГО КЛАПАНА ПНЕВМОПІДВІСКИ ІЗ СПЛАВУ ВТЗ-1Л	58
3.1 Характеристика зворотного клапану пневмопідвіски	58
3.2 Конструювання литниково-живильної системи із застосуванням програм моделювання.	62
3.2.1 Розрахунок площ ливникової системи.	62
3.2.2 Розрахунок прибутків ливникової системи.	67
3.3 Моделювання ливникової системи.	69
4 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ	77
4.1 Технологічні операції та устаткування.	77
4.2 Розрахунки норм витрати основних матеріалів	84
ВИСНОВКИ	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89
ДОДАТКИ	92

МРТАМ 24.23606.000 ПЗ				
Зм	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата
Виконав		Громов		
Перевір.		Вичавка		
Н.контр.		Бабак		16.12.24
Затвер.		Диха		
<i>Вдосконалення технології виробництва високоміцних сплавів на основі титану для деталей підвіски автомобіля</i>				
		Літера	Арквш	Аркушів
		4	92	
ХНУ МТВАМ-23-1				

ВСТУП

Титан і його сплави знайшли застосування в багатьох галузях промисловості. До цього часу в світі розроблена і використовується досить широка номенклатура титанових сплавів, що відрізняються по хімічному складу, структурі і властивостям. Титан - унікальний за своїми властивостями метал. Завдяки дивовижним властивостям його називають металом майбутнього. Сфера його застосування досить простора - високоміцні титанові сплави часто відносять до так званих, інтелектуальних матеріалів, що дозволяють створювати принципово нові конструкції і технології в різних галузях машинобудування, авіакосмічної і ракетної техніки, приладобудування, енергетики, медицини тощо [1].

Найважливішим завданням сучасного виробництва з напівфабрикатів і виробів з титанових сплавів є зниження його трудомісткості і збільшення коефіцієнта використання металу. Одним з способів збільшення коефіцієнта використання металу, є використання програм моделювання ливарних процесів при виробництві литих заготовок.

Мета роботи: Модернізація технології виробництва вилівка корпусу зворотного клапана пневматичної підвіски вантажівки зі сплавів з високою питомою міцністю на основі титана з використанням програми моделювання «LWMFlowCV».

Завдання роботи:

- 1) Виконати аналіз властивостей титанових сплавів, що мають високу питому міцність.
- 2) Виконати аналіз особливостей коефіцієнта використання матеріалу та шляхи його збільшення.
- 3) Дослідити можливість використання програми моделювання ливарних процесів для забезпечення зниження витрат матеріалів.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ.

1.1 Загальні відомості.

Титан (titanium) має атомний номер 22 і атомну масу 47.88. Це метал, що входить в IV групу періодичної таблиці Менделєєва. Його основним ізотопом є 48, а також існують ізотопи 46, 47, 49 і 50. Щільність титану становить $4,5\text{г/см}^3$, температура плавлення - $1665\pm 5\text{ }^\circ\text{C}$, температура кипіння - $3572\text{ }^\circ\text{C}$. На рисунку 1.1 показаний кристал титану. Чистий титан має відносно низьку міцність, але характеризується високою пластичністю і простотою обробки тиском, в тому числі холодним пресуванням.

Титан відомий своєю високою корозійною стійкістю в різних агресивних середовищах (луги, кислоти, лужні та некіслі розчини) та інших активних речовинах. Його застосування багато в чому визначається високою стабільністю, особливо в природних умовах океанічного повітря і морської води. Завдяки своїм привабливим теплофізичним властивостям титан знайшов застосування в технічних областях.



Рисунок 1.1 – Кристали титану

Ефективність використання титану в різних середовищах можна суттєво підвищити завдяки легуванню та методам термічної обробки. Ці

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підходи значною мірою залежать від його поліморфних властивостей [2].

Для створення різноманітних сплавів титан легують такими елементами, як Al, Mo, V, Mn, Cr, Sn, Fe, Zr, Nb. Питома міцність (S_b/ρ) титанових сплавів перевищує аналогічний показник легуваних сталей. На рисунку 1.2 показано схему класифікації легувальних елементів та домішок за групами [3].

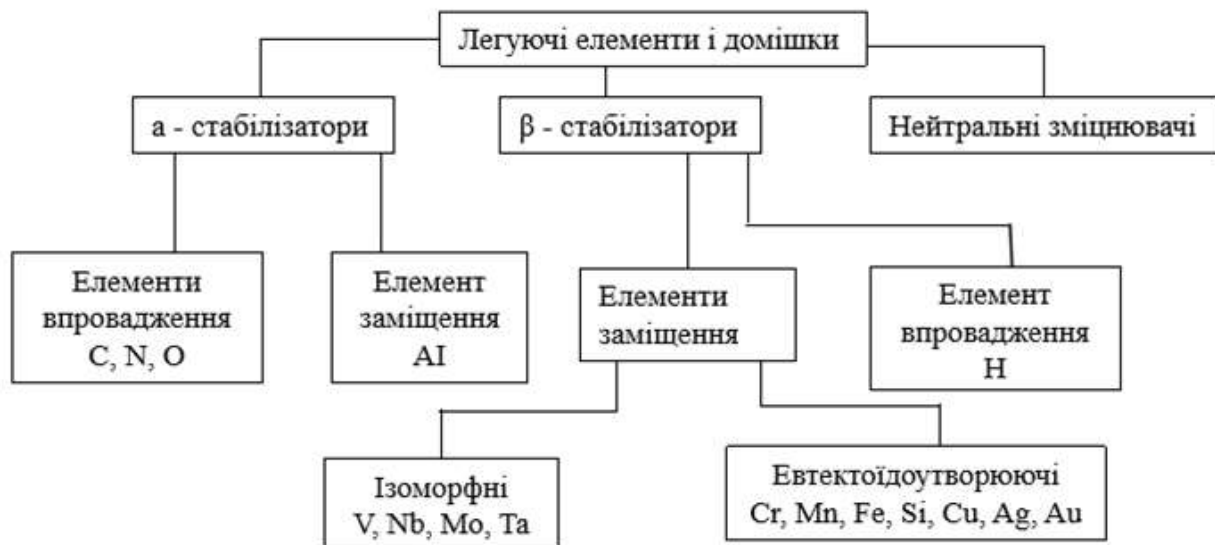


Рисунок 1.2 – Схема поділу легуючих елементів та домішок на групи.

Усі легуючі елементи щодо впливу на поліморфізм титану поділяються на три групи:

1) α - стабілізатори – елементи, що підвищують тип титану (рисунок 1.3, а). З металів до α - стабілізаторів відносяться Al, Ga, In, з неметалів - C, N, O.

2) β - стабілізатори - елементи, що знижують тип титану. Їх можна розбити на три підгрупи. У сплавах титану з елементами підгрупи 1 при досить низькій температурі відбувається евтектоїдний розпад β - фази $\alpha+\gamma$ (рисунок 1.3, б); до них відносяться Si, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, так звані евтектоїдоутворюючі стабілізатори.

У сплавах титану з елементами 2 підгрупи (рисунок 1.3, в). - розчин

									Арк.
									7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 24.23606.000 ПЗ				

зберігається до кімнатної температури. До цих елементів належать V, Mo, Mb, Ta. Оскільки вони утворюють безперервні тверді розчини з β -титаном, їх назвали ізоморфними β -стабілізаторами.

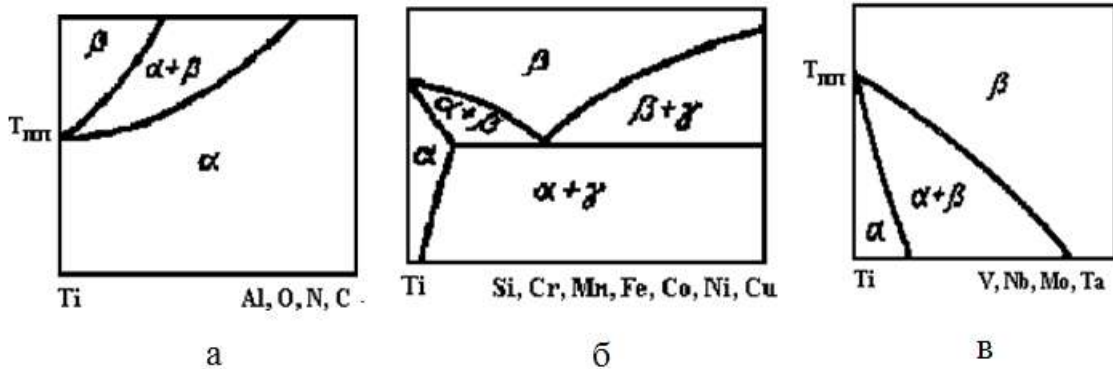


Рисунок 1.3 – Вплив легуючих елементів на температуру поліморфного перетворення титану:

а - α - стабілізатори - елементи, що підвищують тип титану; б - β - стабілізатори - елементи, що знижують тип титану; в - ізоморфні - стабілізатори.

3) У сплавах 3 підгрупи рівноважна β -фаза також стабілізується при кімнатній температурі, але безперервних твердих β -розчинів не утворюється. До елементів цієї підгрупи належать Re, Ru, Rh, які в області, багатій на титан, дають з ним таку саму діаграму стану, як ізоморфні β -стабілізатори. Їх можна назвати квазіізоморфними β -стабілізаторами.

Третя група представлена легуючими елементами, які мало впливають на тип титану Це олово, цирконій, германій, гафній і торій, їх називають нейтральними зміцнювачами.

Технічний титановий сплав отримують із титанової губки. Титанова губка, представлена на рис. 1.4 - це пориста сіра речовина з насипною масою $1,5-2,0 \text{ г/см}^3$ і дуже високою в'язкістю Залежно від вмісту домішок технічний титан підрозділяють на кілька сортів.

Загальна характеристика титанових металів. Практично всі титанові

									Арк.
									8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 24.23606.000 ПЗ				

сплави, за рідкісним винятком, легують алюмінієм, який має такі переваги перед рештою легуючих компонентів:

- а) доступність, вартість;
- б) щільність алюмінію значно менша за щільність титану, тому введення алюмінію підвищує питому міцність сплавів;

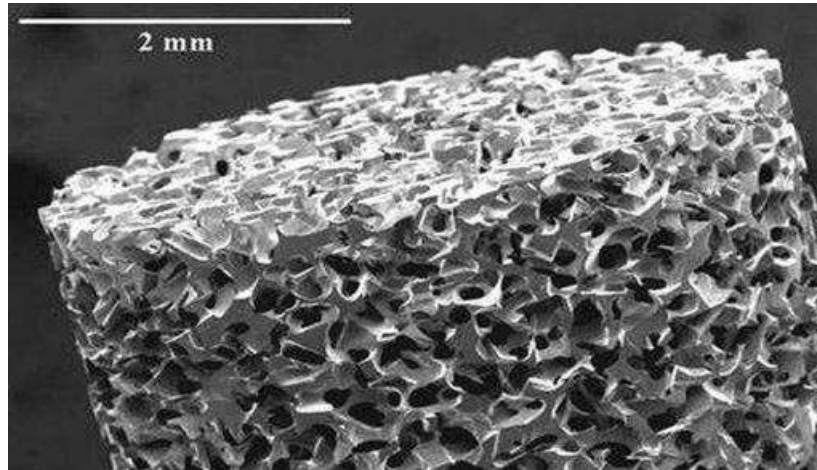


Рисунок 1.4 – Губка титанова.

- в) алюміній ефективно зміцнює α -, $(\alpha+\beta)$ - та β -сплави при збереженні задовільної пластичності;
- г) зі збільшенням вмісту алюмінію підвищується жароміцність сплавів;
- д) алюміній підвищує модулі пружності;
- е) зі збільшенням вмісту алюмінію у сплавах зменшується їх схильність до водневої крихкості.

Однак збільшення вмісту алюмінію має свої недоліки:

Сольова корозія. Температура титанового сплаву становить 250...550 °С. Приконтатні з сіллю поверхня столу схильна до корозії.

Знижується технічна пластичність. Високий вміст алюмінію погіршує оброблюваність матеріалу. Тому в умовах, коли потрібна висока пластичність або існує ризик сольовий корозії, вміст алюмінію в сплаві має бути обмежена.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На додаток до алюмінію, титанові сплави легуються нейтральними затверджувачами, такими як олово (Sn) і цирконій (Zr).

Титанові - сплави, крім Al, легують нейтральними зміцнювачами (Sn і Zr). Дуже цінною властивістю - сплавів титану є їх хороша зварюваність; ці сплави навіть при значному вмісті алюмінію однофазні, тому не виникає хрущення шва і навколошовної зони. До недоліків - сплавів відноситься їх порівняно невисока міцність, сплави цього класу термічно не зміцнюються. При вмісті понад 6 % (за масою) Al технологічна пластичність сплавів невелика. Зі збільшенням вмісту алюмінію підвищуються робочі температури титанових - сплавів.

Таким чином, алюміній відіграє важливу роль у виробництві ефективних титанових сплавів, але його зміст вимагає оптимального контролю в залежності від умов експлуатації.

У псевдо- α -сплави для покращення міцності та жароміцності, зберігаючи при цьому задовільну технологічність і зварюваність, поряд із алюмінієм додають β -стабілізатори. Завдяки переходу від α - до ($\alpha+\beta$)-структури, псевдо- α -сплави мають на 10...20 % вищу міцність, ніж α -сплави, зберігаючи аналогічну пластичність. Це зумовлено значним подрібненням зерна.

При кімнатній температурі псевдо- α -сплави демонструють кращу технологічну пластичність порівняно з α -сплавами. Вони також вирізняються високою термічною стабільністю та доброю зварюваністю. Основний недолік псевдо- α -сплавів – висока схильність до водневої крихкості. Більшість α - і псевдо- α -сплавів використовують у відпаленому стані.

Найбільш оптимальне поєднання властивостей мають двофазні сплави, що включають α -, β - і $\alpha+\beta$ -фази. Вони відзначаються високою міцністю, покращеною технологічною пластичністю у відпаленому стані, здатністю до термічного зміцнення (загартуванням і старінням), а також меншою схильністю до водневої крихкості порівняно з α - і псевдо- α -сплавами.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На відміну від α - і псевдо α -сплавів, $\alpha+\beta$ - сплави значно покращують свої властивості завдяки загартуванню і старінню.

Механічні властивості відпалених $\alpha+\beta$ сплавів в основному визначаються типом мікроструктури. Найбільш помітна різниця спостерігається між сплавами із зернистою та шаруватою структурою. Зерниста структура забезпечує високу циклічну міцність, хорошу пластичність і технологічність.

Сплави з пластинчатою структурою вирізняються високою в'язкістю руйнування, ударною в'язкістю, жароміцністю за знижених характеристиках пластичності та циклічної міцності. Висока в'язкість руйнування титанових сплавів із такою структурою зумовлена сильним розгалуженням тріщин під час їхнього розповсюдження.

Псевдо - β - сплави відносяться до високолегованих титанових сплавів, у яких сумарний вміст легуючих елементів доходить до 20 % і більше. Хоча під час загартування з β - області в цих сплавах фіксується лише β -фаза, вона термонестабільна і під час старіння розпадається з виділенням дисперсної α - фази.

Розроблені, до теперішнього часу, псевдо - β - титанові сплави можна розділити на дві групи: а) леговані алюмінієм, β - стабілізаторами, а в деяких випадках - нейтральними зміцнювачами, б) леговані β стабілізаторами і нейтральними зміцнювачами.

Титанові β - сплави з термодинамічно стійкою β фазою можна отримати лише на основі таких систем, у яких легуючі елементи мають ОЦК решітку при кімнатній температурі та утворюють з β - титаном безперервний ряд твердих розчинів. До таких елементів належать ванадій, молібден, ніобій і тантал. Однак стабільні β - фази в цих сплавах утворюються за таких високих концентрацій компонентів, що титанові сплави втрачають основну їхню перевагу, а саме порівняно малу щільність. Тому титанові сплави зі стабільною β фазою не отримали широкого промислового застосування [4].

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Класифікація титанових сплавів та їх застосування.

Титанові сплави поділяються на деформовані (оброблювані тиском) та ливарні.

1.2.1 Деформовані титанові сплави.

Більшість титанових сплавів легована алюмінієм, що підвищує жорсткість, міцність, жароміцність і жаростійкість матеріалу, а також знижує його щільність (табл. 1.1).

Титанові сплави, з α - структурою, термічною обробкою не зміцнюються, їхнє зміцнення досягається за допомогою легування твердого розчину і пластичною деформацією. Широке застосування знайшов сплав ВТ5-1, що має гарну зварюваність, жароміцність, кислотостійкість, пластичність при криогенних температурах; він обробляється тиском у гарячому стані і термічно стабільний до 450 °С.

Зі сплаву ВТ5-1 виготовляють листи, поковки, труби, дріт, профілі, рисунок 1.5. Псевдо- β -сплав ОТ4 (поряд з α – фазою в структурі є β – фаза в кількості 1...5 %) добре зварюється, обробляється тиском (як у гарячому, так і в холодному станах), проте схильний до водневої крихкості.

Титанові сплави ($\alpha+\beta$), характеризуються змішаною структурою (α - і β -тверді розчини) і зміцнюються термічною обробкою, що складається із загартування та старіння [5, 6].

Типовий представник ($\alpha+\beta$) - сплавів - це сплав ВТ6, що характеризується оптимальним поєднанням технологічних та механічних властивостей. Він зміцнюється термічною обробкою. Зменшення вмісту алюмінію і ванадію в сплаві (ВТ6С) дозволяє його використовувати в

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зварних конструкціях. Сплав ВТ14 системи Ti-Al-Mo-V має високу технологічність у загартованому стані (добре деформується) і високою міцністю - в зістареному; він задовільно зварюється усіма видами зварювання. Сплав ВТ14 здатний довго працювати при 400 °С і короткочасно при 50 °С.

Таблиця 1.1 – Середній хімічний склад (у %) та механічні властивості титанових сплавів, що деформуються.

Сплав	Al	Mn	Mo	V	Si	Sn	Cr	δ , %	σ_B , МПа
ВТ15	3	-	8	-	-	-	11	6	1300 - 1500
ВТ8	6,4	-	3,1	-	0,3	-	-	9-11	1000 - 1250
ВТ5-1	5	-	-	-	-	2,5	-	10-15	800 - 1000
ВТ6	6	-	-	4	-	-	-	6	1100 - 1250
ВТ14	4,9	-	3,1	1,4	-	-	-	6-10	1150 - 1400
ВІД4	4,2	1,4	-	-	-	-	-	10-12	700 - 900



Рисунок 1.5 – Труби, виготовлені з титанового сплаву VT5-1.

Сплав VT8 відноситься до жароміцних, він призначений для тривалої роботи при 450...500 °С під навантаженням. Сплав добре деформується у гарячому стані, але погано зварюється. З нього виготовляють поковки, штампування, прутки.

Широке поширення набув псевдо- β -сплав VT15 (містить у рівноважному стані невелику кількість α -фази), що володіє великою пластичністю (5-20%) і невисокою міцністю в загартованому стані. Однак після старіння при 450 °С його міцність досягає 1500 МПа (при пластичності 8...6 %). Сплав VT15 призначений для роботи при температурі до 350 °С. З нього виготовляють прутки, поковки, смуги, листи [7].

Незважаючи на гетерофазність структури, сплави, що розглядаються, мають задовільну зварюваність всіма видами зварювання, що застосовуються для титану.

Згадані вище деформовані титанові сплави мають високу корозійну стійкість в відпаленому і термічно зміцненому станах у вологій атмосфері, морській воді, в багатьох інших агресивних середовищах, як і технічний титан [7].

Високоміцні титанові сплави застосовуються для виготовлення деталей

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та вузлів відповідального призначення: зварні конструкції (BT6, BT14), турбіни (BT5-1), штампосварні вузли (BT14), високонавантажені деталі та штамповані конструкції (BT15), для виготовлення соплових лопаток авіадвигунів (BTI-2) рисунок 1.6. Ці сплави можуть тривалий час працювати при температурах до 400°C і короткочасно до 750°C [8].



Рисунок 1.6 – Турбінний авіадвигун.

У будівництві титан використовується для зовнішньої обшивки будівель, покрівельних матеріалів, облицювання колон, софітів, карнизів, навісів, внутрішньої обшивки, легких кріпильних пристроїв. Крім того, титан використовується у скульптурі та для виготовлення пам'ятників.

Особливістю високоміцних титанових сплавів як конструкційного матеріалу є їхня підвищена чутливість до концентраторів напруги. Тому при конструюванні деталей цих сплавів необхідно враховувати ряд вимог (підвищена якість поверхні, збільшення радіусів переходу від одних перерізів до інших і т. п.), аналогічних тим, які існують при застосуванні високоміцних сталей.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.2 Ливарні титанові сплави.

У порівнянні з деформованими, ливарні сплави мають меншу міцність, пластичність та витривалість. Складність лиття титанових сплавів обумовлена активною взаємодією титану з газами та формувальними матеріалами. Ливарні сплави VT5Л, VT14Л і VT3-1Л за складом в основному збігаються з аналогічними сплавами, що деформуються (у той же час сплав VT14Л додатково містить залізо і хром). Ливарні титанові сплави маркуються так само деформуються, але в кінці марки ставлять букву Л.

У ливарних сплавах допускається більший вміст домішок. Механічні властивості ливарних сплавів нижчі, ніж у сплавів, що деформуються. Недоліком титанових ливарних сплавів є схильність розплавленого титану до швидкого поглинання газів, що містяться в атмосфері. У зв'язку з цим, плавка та розливання ведеться у вакуумі, а форми виготовляють із графіту, корунду або магнезиту – матеріалів, що мінімально взаємодіють з розплавленим металом.

Особливістю високоміцних титанових сплавів як конструкційного матеріалу є їхня підвищена чутливість до концентраторів напруги. Тому при конструюванні деталей цих сплавів необхідно враховувати ряд вимог (підвищена якість поверхні, збільшення радіусів переходу від одних перерізів до інших і т. п.), аналогічних тим, які існують при застосуванні високоміцних сталей.

Ливарні характеристики всіх титанових металів досить близькі. Для фасонного лиття застосовують, як правило, сплави, які за основними легуючими елементами збігаються зі складом сплавів, що деформуються. Виняток становить лише сплав VT21Л. Водночас у них вміст домішок може бути трохи більшим, оскільки ливарні сплави не потрібно деформувати.

У таблиці 1.2 наведено хімічний склад вітчизняних ливарних сплавів із зазначенням структурних еквівалентів з алюмінію та молібдену. Сплави типу

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВТ розташовані в порядку збільшення їхнього еквівалента по молібдену. Оскільки середній вміст домішок у ливарних сплавах більше, ніж у деформованих, «домішний» еквівалент з алюмінію був прийнятий рівним 2 для титану ВТ1Л і сплаву ВТ5Л і 1,5 для інших сплавів, а не одиниця, як для сплавів, що деформуються [9, 10].

Таблиця 1.2 – Середній хімічний склад титанових ливарних сплавів

Сплави	Легуючі елементи, % за вагою						[Mo] _{екв} ,	[Al] _{екв} ,
	Al	V	Zr	Mo	Cr	Інші	% за вагою	% за вагою
ВТ5Л	5	-	-	-	-	-	0	7
ВТ1Л	-	-	-	-	-	-	0	2
ВТ20Л	6,5	1,3	2,0	1,3	-	-	2,3	8,3
ВТ21 Л	6,5	1,2	5,0	0,7	0,3	-	2,1	8,8
ВТ8Л	6,4	-	-	3,3	-	0,30Si	3,3	8,0
ВТ6Л	6,0	4,0	-	-	-	-	2,9	7,5
ВТ14Л	5,3	1,4	-	3,3	-	-	4,3	6,8
ВТ9Л	6,3	-	1,5	3,3	-	0,30Si	3,3	8,0
ВТ35Л	3	15	0,5	0,6	3	3Sn	16,3	5,6
ВТ3- 1Л	2,5	-	-	2,5	1,5	0,3Si; 0,5Fe	6,0	7,7
ТЛЗ	3,0...4,5	1,5... 2,5	-	-	-	-	0	4,8
ТЛ5	3,5...5,0	1,5... 2,5	-	-	-	-	1,4	5,3

Для фасонного титанового лиття застосовуються α – сплави (BT1Л та BT5Л), псевдо – α – сплави (BT21Л та BT20Л), ($\beta+\alpha$) – сплави з порівняно невеликою кількістю β – фази (BT6Л, BT8Л, BT9Л, BT14 1Л) та псевдо – β – сплав BT35Л. Сплави TL3 та TL5 – спеціальні сплави «морського» призначення, що застосовуються переважно у суднобудуванні. Виливки з титанового сплаву BT1Л і сплаву BT5Л зазвичай не піддають будь-якої термічної обробки.

Псевдо – α – та ($\beta+\alpha$) – сплави відпалюють для стабілізації структури та зняття залишкової напруги. Відпал проводять за тими ж режимами, які рекомендовані для титанових сплавів, що деформуються [10].

Сплав BT35Л має однофазну структуру, представлену метастабільною - фазою, і має низьку міцність. Для зміцнення виливки зі сплаву BT35Л старіють.

Найбільш широко використовують α – сплав BT5Л, що обумовлено високими ливарними властивостями, простотою технології отримання з нього виливків, поширеністю та не дефіцитністю єдиного в ньому легуючого елемента алюмінію, задовільною пластичністю та ударною в'язкістю виливків, більш високою циклічною витривалістю порівняно з титаном та ($\beta+\alpha$) – сплавами. Структура сплаву BT5Л представлена в основному пластинчастими зернами - фази всередині вихідного - зерна.

Сплав не схильний до утворення гарячих тріщин добре зварюється. Він призначений для виготовлення фасонних виливків, які тривало працюють при температурах до 400 °С. Його застосовують також для створення складних зварних конструкцій з підвищеною надійністю експлуатації. Виливки з - сплаву BT5Л іноді піддають повному або неповному відпалу для стабілізації структури і зняття залишкових напруг.

Сплав BT6Л відрізняється більш високими характеристиками міцності в порівнянні зі сплавом BT5Л при майже такій же пластичності. Сплав BT6Л добре зварюється. Його застосування забезпечує створення надійних зварних

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструкцій у поєднанні з деформованими напівфабрикатами із того ж сплаву. Для зняття залишкової напруги виливки піддають відпалу, (краще, якщо вакуумному) при 750 °С протягом 1...2 годин.

Для фасонного лиття досить часто застосовують сплав ВТ20Л. Виливки з цього металу за міцністю перевершують метал ВТ5Л. Цей сплав добре зварюється, та також має гарні ливарні властивості. Сплав ливарний ВТ21Л спеціально розроблений і поступається іншим сплавам за ливарними властивостями та застосовується значно рідше для деталей простих конфігурацій.

Загальну характеристику ливарних титанових сплавів наведено у таблиці 1.3.

Механічні властивості титанових ливарних сплавів суттєво залежать від способу лиття: у оболонкові форми, форми, що ущільнюються, за виплавленими моделями, лиття в кокіль, тощо. При будь-якому способі лиття властивості виливків залежать від їх перерізу, тому що цей фактор впливає на швидкість охолодження та затвердіння вилівка і визначає розміри структурних складових. Також, спосіб лиття суттєво впливає на коефіцієнт використання матеріалу так як передбачає виготовлення виливок певного класу точності, що має свої допуски, припуски, тощо.

Таблиця 1.3 – Загальна характеристика вітчизняних ливарних титанових сплавів.

Сплав	Загальна характеристика	Область застосування	Технологічні властивості
ВТ6Л	Легування Al і V забезпечує підвищені властивості міцності при прийнятній пластичності	Елементи конструкції літаків та авіаційних двигунів	Має хороші ливарні властивості, добре зварюється

BT9Л	Легування Al, Mo, Zr та Si забезпечує підвищені характеристики жароміцності при 500-550 ° C; знижена пластичність	Деталі, що працюють при підвищених температурах	Має задовільними ливарними властивостями; рідкотіркість гірша, ніж у сплаву BT5Л
BT8Л	Легування Al, Mo і Si забезпечує підвищені характеристики жароміцності при 500-550°C	Деталі, що працюють при підвищених температурах	Має задовільними ливарними властивостями
BT35Л	Через високий зміст β -стабілізаторів сплав при охолодженні після затвердіння зберігає метастабільну β -структуру; подальше старіння забезпечує високу міцність при задовільній пластичності ($\sigma_{\text{в}} \geq 1100$ МПа; $\delta \approx 9\%$; $\psi \approx 7\%$) після газостаткування та старіння	Високоміцні литі деталі аерокосмічної техніки	Має задовільними ливарними властивостями
BT20Л	Легування Mo, V і Zr забезпечує більш високі властивості міцності в порівнянні зі сплавом BT5Л	Елементи конструкції авіаційних деталей (кільця, фланці, обойми, корпуси,	Має хороші ливарні властивостями, рідкотекучість трохи вища, ніж у $(\beta+\alpha)$ сплавів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 24.23606.000 ПЗ

Арк.
20

		деталі складною конфігурації); деталі та вузли літаків; ракетно-космічна техніка	Добре зварюється, у тому числі з іншими сплавами
BT5Л	Підвищений рівень міцності, високі характеристики пластичності та ударної в'язкості	Елементи конструкції літаків (кронштейни, фітинги, гойдалки тощо); деталі газотурбінних двигунів (кронштейни, фланці, циліндри, деталі складної форми), ракетно-космічна техніка	Найкращі характеристики рідинно текучості, що обумовлено малим інтервалом кристалізації сплавів системи Ti-Al (з боку титану); не схильний до утворення гарячих тріщин, добре зварюється усіма видами зварювання
BT21Л	Високий рівень міцності, знижені характеристики пластичності	Деталі простої конфігурації	Через легування Zr, Cr і Mo має значний інтервал кристалізації і, як наслідок, знижену рідинну плинність і підвищену схильність до утворення пористості

BT1Л	Низькі властивості міцності; найвищі показники пластичності	Корозійностійка арматура у хімічному виробництві	Хороші ливарні властивості; добре зварюється усіма видами зварювання
------	---	--	--

В даний час титанові виливки широко застосовуються в суднобудуванні, літакобудуванні, хімічній та космічній галузях промисловості, а також у медицині. Комплекс механічних властивостей виливків титанових трохи відрізняється від властивостей напівфабрикатів деформованих. За деякими характеристиками, литий матеріал перевищує деформований, за іншими - поступається йому. Ця різниця у властивостях визначається в основному більшим зерном у литих деталях і наявністю неруйнованої сітки міжкристалітної речовини, що ускладнює проходження дифузійних процесів, що визначають ефективність термічної обробки. Наприклад, у разі необхідності роботи при високих температурах литий матеріал матиме високий опір повзучості та більш високу жароміцність, ніж деформований.

Втомні характеристики виливків значно нижчі, деформованого металу, причому це зниження залежить не тільки від величини зерна, але і від наявності субмікроскопічної і мікроскопічної пористості, що неминує присутня у фасонних виливках.

Однією з переваг титанових виливків є високі в'язкість руйнування і ударна в'язкість, значення яких не поступаються, а нерідко перевершують відповідні величини для деформованого матеріалу.

Титанові виливки широко використовуються в ракетному і авіаційному двигунобудуванні для деталей типу корпусів і крильчаток, різного роду кронштейнів, а також великої кількості різних дрібних арматурних деталей, виготовлення яких з прутків механічною обробкою є трудомістким (пов'язане

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з великими втратами металу в стружку). Приклади складних конфігурацій виливків для авіаційної промисловості показані на рис. 1.7 [8].

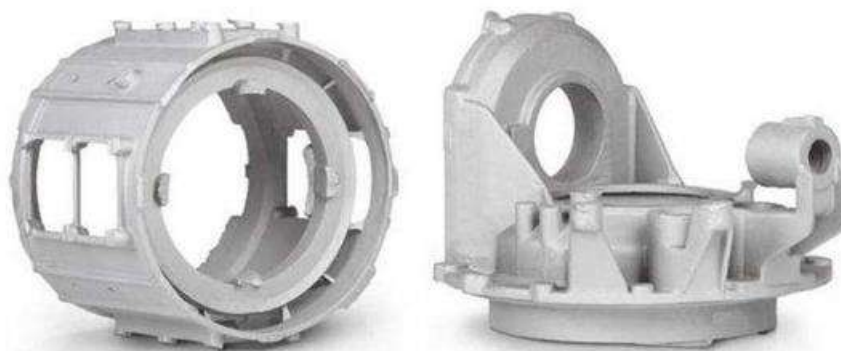


Рисунок 1.7 – Корпусні виливки, виготовлені з титанового сплаву VT5L, для авіаційної промисловості.

Найбільшу кількість виливків застосовують для деталей керування типу качалок і кронштейнів, а також різного роду корпусних та арматурних деталей, фітингів.

Застосування титанових виливків для великих деталей шасі важких транспортних літаків може бути дуже вигідним. Попередні випробування цих відповідальних виливків, в умовах експлуатації показали не погані результати. Вирішальним чинником успіху став високий опір виливків до ударних навантажень. Також досягається значна економія металу і зниження трудомісткості виготовлення зазначених деталей, не технологічних для виготовлення методом штампування.

Виливки з титанових сплавів володіють ще одною суттєвою властивістю, це дуже високий опір корозії в соленій морській воді (вище, ніж у нержавіючої сталі). Тому застосування таких титанових виливків у суднобудуванні доцільне і економічно вигідно (підвищені витрати на виготовлення окупаються за рахунок дуже високого терміну служби деталей). Приклади виливків титанових для суднобудування показано на рисунку 1.8.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а



б

Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд виливків для суднобудування, що виготовлені з титанового сплаву ТЛЗ:

а – колесо робоче; б – крильчатка

Основною номенклатурою титанових виливків для гідрометалургії, хімічної промисловості, чорної та металургії та інших галузей машинобудування, що мають справу з агресивними технологічними реагентами і середовищами, є арматура, крильчатка відцентрових насосів для перекачування хімічно активних рідин та корпуси. Приклад титанового виливку для хімічної промисловості зображено на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Виливка «корпус насоса» для хімічної промисловості, виготовлена з титанового сплаву ВТ1Л

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Техніко-економічні переваги застосування титанових виливків у цих областях з надлишком виправдовують їхню високу вартість. Економічний ефект від застосування титанової апаратури виходить за рахунок збільшення терміну служби.

Сдіж зауважити, що титан володіє цінною властивістю, він досить легко «приживається» в організм людини, наприклад суглоби, рисунок 1.10. Титанові медичні конструкції (внутрішньокісткові фіксатори, імплантанти, внутрішні та зовнішні протези) абсолютно безпечні для людських кісток та м'язів. Вони не руйнуються при взаємодії з рідинами і тканинами організму, не викликають алергію на медичні препарати. Крім цього, протези, що виготовлені з титанових сплавів мають високу міцність та зносостійкість, хоча постійно знаходяться під впливом високих навантажень [11].



Рисунок 1.10 – Титановий протез суглоба зі сплаву
Ti-12Mo-6Zr

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Ливарні властивості сплавів на основі титану.

Титан і його сплави володіють хорошими ливарними властивостями - низькою схильністю до газової пористості, високою рідкотекучістю, малою об'ємною і лінійною усадкою (2...3 %). У той же час титан володіє високою хімічною активністю у розплавленому стані, що сприяє його забрудненню домішками, котрі, в свою чергу, знижують в'язкість і пластичність металу в процесі плавки та при взаємодії з матеріалом форми і тигля. Таким чином, при фасонному литті можуть виникати проблеми: 1) з розробкою способів плавки в захисних атмосферах; 2) з вибором матеріалу для тиглів та форм. В даний час першу проблему практично вирішено за рахунок використання вакуумної дугової плавки гарнісажною. Однак недорогий та технологічний матеріал для тиглів і форм досі не знайдено. Для цього найбільш широкого розповсюдження знайшов графіт: 80 % всього лиття проводиться за моделями, що виплавляються в коксові і графітові форми або форми на основі електрокорунду з піровуглецевим покриттям. Використання таких форм забезпечує досить високу якість поверхні виливків із низьким газонасиченим шаром. Інші матеріали, такі як рекристалізовані окиси торію і кальцію, карбід титану, також здатні забезпечувати тривалий контакт з розплавленим титаном, але вони мають високу ціну.

Для невеликих за габаритами та вагою і складних за конфігурацією тонкостінних виливків в основному застосовують лиття титанових сплавів у форми, що виготовляються за моделями, що виплавляються. Цей метод дозволяє значно знизити вартість і трудомісткість виготовлення деталей, оскільки виливки в більшості випадків не потребують додаткової механічної обробки.

В цілому процес виготовлення моделей, що виплавляються, і оболонкових форм для лиття титанових сплавів схожий на аналогічний процес для виготовлення сталевих виливків. Однак через сильну реакційну

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здатність титану при високих температурах до ливарних форм пред'являються особливі вимоги:

1) висока термічна стійкість, оскільки форма заливається у холодному стані і має витримувати тепловий удар у момент заливання. На рисунку 1.11 представлені виливки, що виконані з титанового сплаву за виплавлюваними моделями.

2) висока міцність оболонок, тому що заливка в більшості випадків проводиться відцентровим способом.

3) підвищена хімічна інертність стосовно титану.

Для виготовлення форм за моделями, що виплавляються, призначених для титанового лиття, використовують двоокис цирконію, графіт, електрокорунд, кокс.



Рисунок 1.11 – Виливки для суднобудування, що виготовлені з титанового сплаву.

За рідкотекучістю титан знаходиться приблизно на рівні з вуглецевою сталлю, проте через швидке остигання і затвердіння металу, насправді отримувати великогабаритні тонкостінні виливки з титану значно важче, що пояснюється невисокою ентальпією титану рідкого і труднощами отримання високого перегріву при існуючих способах.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Титанові сплави евтектичних складів на відміну алюмінієвих, магнієвих та інших ливарних сплавів не застосовуються через низькі фізико-хімічні, технологічні властивості титану. Хімічний склад, та допустимий вміст домішок промислових ливарних титанових сплавів представлені в таблицях 1.4 – 1.5.

Можливість застосування фасонних виливків для деталей відповідального призначення визначається їх механічними властивостями, які, у свою чергу, залежать від комплексу ливарних властивостей обраного сплаву, пов'язаних з температурним інтервалом кристалізації.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад та гарантовані механічні властивості титанових сплавів [12].

Сплав	Середній хімічний склад сплаву, маса, %	Механічні властивості				
		$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	Δ , %	α_H , МДж/м ²	ψ , %
BT1Л	Технічний титан	294	343	10	0,49	20
BT20Л	Ti-5,5Al-2Zr-1Mo-1V	823	932	5	0,25	13
ТЛ-3	Ti-4,5Al	539	588	8	0,4	16
BT18УЛ	Ti-6,5Al-4Zr-3Sn-1Nb-0,7Mo-0,2Si	821	905	12	0,3	24
BT5Л	Ti-5,2Al	627	686	6	0,3	14
BT21Л	Ti-6Al-5Zr-0,7Mo-1V-0,35Cr-0,2W	902	981	4	0,25	8
BT3-1Л	Ti-6Al-2,5Mo-1Cr-0,2Si-0,5Fe	814	932	4	0,25	8
BT-6Л	Ti-6Al-1V	804	882	5	0,25	12
BT-9Л	Ti-6Al-3,3Mo-1,5Zr-0,3Si	855	932	4	0,2	8
BT-23Л	Ti-5,5Al-2Mo-4,5V-1Cr-	880	990	4	0,25	8

	0,7Fe					
ВТЛ1	Ti-5Al-1Si	736	835	5	0,15	12
ВТ-14Л	Ti-5Al-3,5Mo-1,5V- 0,3Cr-0,4Fe	785	883	5	0,25	12
ВТ-35Л	Ti-3Al-15V-3Cr-3Sn- 1,2Zr-1Mo	980	1110	6	0,25	6

Таблиця 1.5 – Допустимий вміст домішок у титанових ливарних сплавах

Сплав	C	W	O ₂	Fe	N ₂	Zr	H ₂	Si
ВТ5Л	0,2	0,2	0,2	0,35	0,05	0,8	0,015	0,2
ВТ21Л	0,2	0,2	0,2	0,35	0,05	0,8	0,015	0,2
ТЛ-3	0,15	-	0,15	0,3	0,05	-	0,015	0,15
ВТЛ1	0,2	0,2	0,2	0,35	0,05	0,8	0,015	-
ВТ20Л	0,15	-	0,15	0,3	0,05	-	0,015	0,15
ВТ6Л	0,1	0,2	0,15	0,3	0,05	0,3	0,015	0,15
ВТ9Л	0,15	0,2	0,15	0,3	0,05	-	0,015	-
ВТ1Л	0,2	0,2	0,2	0,35	0,05	0,8	0,015	0,2
ВТ3-1Л	0,15	0,2	0,18	-	0,05	0,5	0,015	-
ВТ18УЛ	0,15	-	0,15	0,3	0,05	-	0,015	0,15
ВТ14Л	0,12	0,2	0,15	0,6	0,05	0,3	0,015	0,15
ВТ23Л	0,2	0,2	0,2	-	0,05	0,8	0,015	0,2
ВТ35Л	0,15	-	0,15	0,3	0,05	-	0,015	0,15

1.4 Плавильне обладнання для виплавки сплавів на основі титану.

Титан і його сплави в рідкому стані мають дуже високу реакційну активність (всі відомі вогнетривкі матеріали не витримують впливу розплавленого титану). До того ж титан дуже чутливий до впливу домішок (вуглець, азот, кисень, водень), що при контакті з футеровкою печі можуть опинитися в розплаві.

Ці обставини висувають низку вимог до плавильних агрегатів для плавки титанових сплавів:

1) відсутність контакту рідкого металу з елементами конструкції печі за рахунок застосування гарнісажу – шару твердого титану (того ж хімічного складу, що й розплав) на внутрішній поверхні тигля;

2) створення в печі вакууму або захисної атмосфери на етапах нагріву, плавлення, заливки металу в ливарну форму, затвердіння та охолодження виливки;

3) використання джерел тепла, що забезпечують високу температуру розплавленого металу шляхом підведення безпосередньо до нього теплових потоків великої щільності і не вносять в атмосферу печі або безпосередньо в розплав сторонніх елементів.

Гарнісаж повинен залишатися твердим (не повинен розплавлятися) протягом усього періоду плавки та захищати тигель від контакту з розплавом. Усі існуючі різноманітні конструкції печей для плавки чавуну, сталі, магнієвих, алюмінієвих, мідних та інших сплавів не задовольняють переліченим вище вимогам. Тому для плавки титанових сплавів було розроблено спеціальні конструкції печей.

В даний час найбільшого поширення набули вакуумні дугові гарнісажні печі. У таких печах як джерело тепла використовується електрична дуга прямої дії, що горить між витратним електродом і металом, що розплавляється в тиглі, а потім між електродом і дзеркалом рідкого

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

металу.

Витратний електрод виготовляється зі сплаву, з якого потім буде виготовлено виливок. Тому забруднення рідкого металу сторонніми домішками, які могли б утримуватись у шихті, практично виключається.

На рисунку 1.12 представлена схема дугової гарнісажної плавки з витратним електродом.

У гарнісажній печі розплавлений титан знаходиться в контакті з шаром твердого титану товщиною 5...50 мм, що називається гарнісаж і постійно підтримується на стінках і дні тигля, котрі мають водяне охолодження. При плавці виключається взаємодія розплаву матеріалом тигля і з атмосферою, що підвищує однорідність металу та запобігає появі відливання тугоплавких включень.

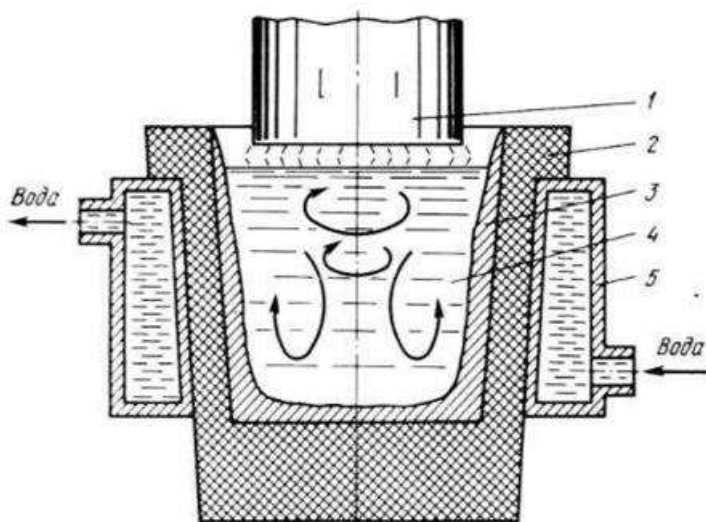


Рисунок 1.12 – Схема дугової гарнісажної плавки з витратним електродом:
1 – витратний електрод (катод); 2 – тигель; 3 – гарнісаж; 4 – ванна рідкого металу (анод); 5 – система водяного охолодження тигля.

Витратні електроди отримують пресуванням губки на пресах або шляхом спікання в електричній дуговій печі. Конструкції печей для плавки титану з витратним електродом можуть бути двох типів: перший коли електрод виготовляється наплавленням металу у водоохолоджуваному

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кристалізаторі з зливком, що опускається; другий тип коли електрод виходить шляхом наплавлення металу в нерухому виливницю при рівні ванни, що безперервно піднімається.

Процес отримання злитків ведеться шляхом подвійної плавки - перша плавка для отримання витратного електрода ведеться з невитратним графітовим електродом, а друга - з витратним. Як витратний електрод використовують титановий злиток, отриманий при першій плавці. Початковий процес плавки ведеться так: на піддон виливниці встановлюються відходи (обрізки злитків, темплети тощо). У печі утворюють вакуум до 50 мм рт. ст. та після перевірки герметичності починається плавка. Запалювання дуги відбувається при опусканні електродотримача з електродом до встановленого на піддоні титану. Після того, як дуга запалена та відрегульована її довжина, з бункера подається шихта. У процесі плавки підтримується стала ванна рідкого металу при довжині дуги 150...200 мм. Відлитий злиток переплавляється в такій же печі, але вже як витратний електрод, що встановлюється замість графітового. Витратний титановий електрод приварюється до титанового наконечника електродотримача.

Існує два способи виготовлення пресованих титанових електродів з губки: брикетування та безперервне пресування або пресуванням у глухій матриці.

Електроди з кращою якістю виходять методом брикетування при розташуванні осі електрода горизонтально, тобто перпендикулярно докладеному зусиллю. Питомий тиск при брикетуванні має становити щонайменше 1000...15000 кг/см² площі перерізу електрода. Щільність електродів знаходиться в межах 3,8...4 г/см³. Однак цей метод має обмежене застосування, тому що при виробництві великих зливків вагою понад 500 кг потрібні вертикальні преси дуже великої потужності. Пресування довгої осі брикету дає брикети нерівномірної щільності по висоті. Застосовується другий метод - так зване безперервне пресування на вертикальному пресі

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виготовлення брикетів цим методом ведеться безперервно і можна отримувати електрод будь-якої довжини.

На рисунку 1.13 показана схема безперервного пресування електрода. Так як зусилля преса при цьому методі направлено вздовж осі електрода, це дозволяє створювати дуже великі питомі тиски - до $10000...12000 \text{ кг/см}^2$ і забезпечує можливість здійснення безперервного процесу пресування. Такий процес виконується наступним чином: у матрицю, що має довжину циліндричної частини, рівною 50 мм, і конусний вихід на дні з кутом конусності 2° засипається губка. Вона спресовується при закритій матриці, після цього пробка, що закриває отвір, видаляється і при подальшій додаванні губки і пресування електрод виходить в нижню частину матриці, процес може продовжуватися безперервно для отримання необхідної електроди довжини.

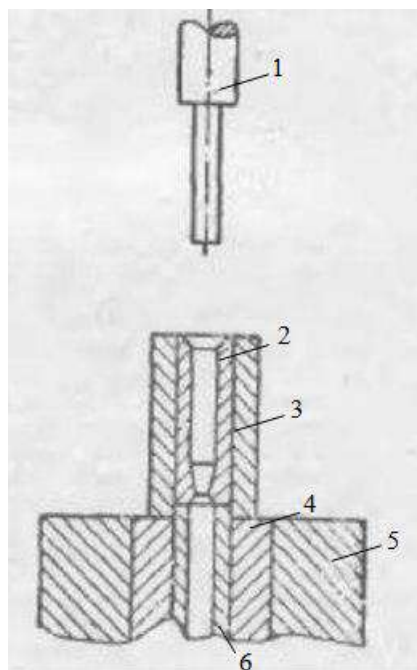


Рисунок 1.13 – Схема безперервного пресування витратного електрода:

1 - пуансон; 2 - матриця; 3 - корпус матриці; 4 - обойма; 5 - корпус;

6 - напрямна.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для такого пресування, щоб отримувати електроди діаметром до 300 мм із питомою вагою 3,3...3,4, необхідні преси потужністю до 3500 т. Пресування можна вести як на горизонтальному так і вертикальному пресі.

При дуговій плавці освоєно використання відходів титанового виробництва, тобто обрізків стружки, тощо. Обрізки перетворюються на витратні електроди шляхом пресування або переплавкою. Окислені відходи обробляють водним розчином NaF або HCl. Кількість відходів, що підшихтуються до губки, визначається складом вихідної губки і якістю необхідного металу.

Від режиму технологічного процесу залежить якість злитків дугової плавки. Дворазове плавлення, що застосовується в даний час, покращує якість, проте процес дугової плавки не завжди дає однорідну структуру виливка.

Конструкції дугових вакуумних печей дозволяють проводити плавку в атмосфері інертного газу, однак, плавку титанових сплавів зазвичай проводять у вакуумі з розрядженням 0,13...1,30 Па, оскільки при цьому відбувається дегазація металу і здійснюється захист титану від потрапляння до нього домішок з навколишнього середовища.

Залежно від способу розливання металу дугові вакуумні гарнісажні печі поділяються на:

- 1) печі з розливом металу через отвір, що затоплюється;
- 2) печі з розливом металу з-під дуги, що горить;
- 3) печі з розливанням металу при вимкненій дузі.

Залежно від ступеня механізації печі можуть бути: безперервної дії; напівбезперервної дії, за цикл роботи печі заливається кілька форм; і періодичної дії, коли одночасно для заливання металу в піч завантажується лише одна форма. Особливістю вакуумної плавки є випаровування практично всіх елементів, інтенсивність якого визначається глибиною вакууму і природою матеріалу. Іноді випаровування дозволяє очистити

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріал, що переплавляється, від шкідливих домішок.

Наприклад, при плавці титану вихідним продуктом є так звана титанова губка, що отримала назву внаслідок того, що зовнішнім виглядом вона нагадує звичайну губку.

Метод плавки титану за допомогою електронного променя вважають дуже перспективним. Електронним променем високої потужності створюється рідка ванна. Цим методом одержують метал високої якості, оскільки з титану ефективно видаляються гази, такі як азот, кисень і водень. Однак є ще ряд невирішених питань, які ускладнюють широке застосування зазначеного методу. Ведуться дослідження щодо вдосконалення гарнісажної плавки титану шляхом заміни водяного охолодження тиглю іншими холодоагентами, а також щодо пошуку засобів та методів для вторинного охолодження злитків у процесі лиття.

При експлуатації вакуумно-дугових печей істотним є забезпечення безпеки персоналу, особливо при плавці титану. Крім заходів пасивного захисту таких як розташування печі в сталевий, залізобетонний бокс та застосування дистанційного спостереження за дугою, велику роль відіграє також система автоматичного регулювання режиму печі в частині пристрою для автоматичного придушення бічної дуги та іонізації, а також автоматична система відключення печі та водоохолодження у разі падіння тиску лінії подачі води.

Плавка в гарнісажній печі має свої особливості [13]: щоб уникнути аварії, товщина бічного гарнісажу повинна бути не менше 50 мм, а донного 100 мм. Вітчизняні заводи електротермічного обладнання опанували серію печей ВДП. Ця серія включає печі типів: ДНВ – для плавки ніобію; ДСВ – для плавки сталі; ДДВ – для плавки молібдену та інших тугоплавких металів; ДТВ – для плавки титану.

Умовні позначення для цих типів печей, наприклад типу ДТВ-14-Г26, означають [13]: Д - дугова, Т - для плавки титану, В - вакуумна, 14 - діаметр

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кристалізатора 1400 мм, Г - з глухим кристалізатором, 26 - максимальна вага зливка 26 т; ДДВ-2,5В-0,6: Д - дугова, Д - для плавки тугоплавких металів, В - вакуумна, 2,5 - діаметр кристалізатора 250 мм, В - витягування зливка, 0,6 - максимальна маса зливка 0,6 т.

Печі типів ДНВ, ДТВ та ДДВ забезпечуються вибуховими камерами. За сучасними уявленнями при пропалі кристалізатора в результаті перекидання дуги на його стінку вода, що охолоджує кристалізатор, потрапляє на розплавлений метал. При цьому вода або з швидкістю випаровується, що відбувається при плавці сталі, або ще частково розкладається на кисень і водень, що відбувається при плавці титану та інших високореакційних металів.

При пресуванні губки у витратні електроди можна вводити легуючі елементи, необхідні для утворення сплаву. Як не витратний електрод, застосовується мідний, порожнистий, водо охолоджувальний електрод, кінець якого виготовлений з вольфраму. Хоча тугоплавкий метал не плавиться в зоні дуги, він все ж таки, частково потрапляє в титан, змінюючи його властивості. Плавку ведуть на пустотілому мідному водоохолоджуваному піддоні з титановою настиллю. Мідь тут не взаємодіє із титаном. Розплавлений титан, що потрапляє на піддон, на ньому твердне. Подальша плавка титану ведеться на цьому настилі, тому метал виходить чистим. Для легування титану поряд із введенням легуючих добавок у витратні електроди, в рідкий метал додають певні лігатури, що представляють собою сплави титану з легуючими елементами.

Тиглі гарнісажних печей виготовляють із графіту або металу. Металеві мідні тиглі або тиглі із нержавіючої сталі обов'язково забезпечують системою потужного охолодження. Графітові тиглі поміщають в обойму з нержавіючої сталі, що охолоджується водою.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5 Плавка металу та заливання у форми.

Підготовка шихти. В якості шихти для плавки в дугових вакуумних гарнісажних печах використовуються витратні електроди наступних марок: ВТ1-00, ЕТ5, ЕТ3 та інші, одержувані переплавою пресованих з губки брикетів або штабиків у звичайних дугових вакуумних печах, а також очищених ливарних відходів.

Хімічний склад електродів повинен відповідати хімічному складу виливків, що виготовляються. У вітчизняних дугових гарнісажних печах застосовуються витратні електроди діаметрами 520, 470, 420, 350, 280 мм. Найкраще співвідношення діаметра електрода до діаметра тигля становить 0,5, тобто для тигля з внутрішнім діаметром 460 мм потрібен електрод діаметром 280 мм. Таке співвідношення забезпечує отримання якісного металу та збереження гарні сажу. У випадку якщо діаметр електрода буде занадто великим, то збільшується ризик перекидання дуги на стінку тигля. Якщо занадто малий електрод, то важко буде забезпечити необхідний перегрів розплаву.

Поверхня електродів має бути ретельно очищена від забруднень. До того ж поверхневий шар електродів, як правило, сильно насичений газами, які при подальшому переплаві можуть потрапити в метал виливки. Тому часто електроди поставляють у вигляді обточених циліндричних заготовок. Ливарні відходи є шматковою шихтою (центральні стояки, литники, тощо) Частка відходів у балансі металу під час виробництва виливків може становити 80 %, що значно скорочує вартість лиття.

Найбільшу частку (близько 75...80 %) у загальному балансі ливарних відходів цеху становлять литники та центральні стояки. Брак виливків знаходиться в межах 3...5 %. До ливарних відходів також відносяться настиль у заливальних лотках та метало приймачах, а також гарнісаж тиглів, що вийшли з ладу (їх сумарна кількість становить 13...15 %). Стружка після

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

первинної механічної обробки виливків зазвичай не перевищує 2%.

Усі ливарні відходи сплавів титанових за ступенем забрудненості поділяють на несортові та сортові.

Сортові відходи класифікують на перший та другий сорт. До відходів першого сорту належать: настиль у металопріймачах та заливальних лотках, елементи литникових систем та прибутків, браковані за геометрією та рентгеноконтролем, але не за хімічним складом, виливки.

До другого сорту відносяться виливки, забраковані за хімічним складом, та відходи, що утворилися при їх виробництві.

Несортовими відходами вважають використані гарнісажи, скрап у печі, дрібнокускові відходи, переплутані марками сплавів, а також стружку від чорнової механічної обробки виливків.

Регенерація несортових відходів дуже тривала і трудомістка, тому при виробництві фасонних виливків економічно вигідно використовувати лише сортові відходи.

У сортових відходів забруднений в основному тонкий поверхневий шар глибиною 0,5...0,8 мм такими сторонніми домішками як водень, вуглець, азот, кисень. При подрібненні або різанні відходів відбувається додаткове забруднення металу в місцях різку. Так, у зоні ацетиленокисневого різку, утворюються різного виду сполуки титану з азотом, киснем, воднем та вуглецем. При оптимальному режимі різання товщина газонасиченого шару знаходиться в межах 0,1...0,15 мм.

При анодно-механічному різанні поверхня металу насичується продуктами взаємодії розплавленого металу з атмосферними газами на глибину до 0,2 мм і більше.

Механічне та хімічне очищення застосовують з метою видалення залишків матеріалу ливарної форми з поверхні сортових відходів, а також видалення поверхневого забрудненого шару.

Перед очищенням відходи подрібнюють до розмірів, що забезпечують

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компактне укладання при переплаві.

Механічне очищення виконують у дробоемних та галтувальних барабанах, у дробоемних та дробоструминних камерах. Дробометна або дробеструминна обробка очищує литу поверхню титанових відходів ефективніше, ніж галтування. Тривалість очищення відходів у галтувальних барабанах на глибину близько 0,1 мм становить 8...10 годин.

Тривалість аналогічного очищення в в дробоструминних камерах і дробоемних барабанах складає 1...1,5 години. Галтівкою, дробоструминною обробкою та дробомлітною практично не очищуються закриті та важкодоступні поверхні, тому такі ділянки відходів зачищаються на наждачних колах або видаляються різкою.

Після механічного очищення проводять обробку окислених поверхневих шарів відходів розчинами NaNO_3 (200...250 г/л), NaOH (600...650 г/л); NaNO_2 (50...60 г/л) або NaOH (500...700 г/л) чи NaNO_2 (150...250 г/л). Температура розчину складає 140 °С, час обробки становить від 30 хв до 2 год.

Потім відходи промивають у теплій та холодній воді і трують у кислотному розчині наступного складу: S_4OH_2 (60...70 мл/л; щільність 1,84 г/см³) та HF (60...140 мл/л; щільність 1,13 г/см³). Температура розчину має бути кімнатна, орієнтовно 20 °С. Швидкість травлення знаходиться в межах 0,2...0,5 мм/год. Очищені відходи промивають у холодній воді та сушать при температурі 110...150 °С.

Залізо та абразив з поверхні титанових відходів видаляється лише хімічним травленням. Відходи після травлення набувають характерного сріблястого кольору. Відходи в шихту можуть вводитися у вигляді задалегідь виготовленого електрода або завантаженням безпосередньо в тигель перед плавкою. Витратні електроди з одних відходів виготовляють зварюванням у середовищі інертного газу, укладаючи шматки таким чином, щоб отриманий електрод мав у поперечному перерізі правильну геометричну

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

форму. Щоб уникнути руйнування електрода в процесі плавки зварні шви виконують досить великого перерізу.

Схема дугової вакуумної гарнісажної печі представлена на рис. 1.14 [14]. Перед кожною новою плавкою підготовку печі проводять у такому порядку: перевіряється справність усіх механізмів та систем печі (вакуумної системи, випрямного агрегату, відцентрової машини тощо), проводиться очищення внутрішніх елементів печі від пилу та конденсатів за допомогою пилососа. Вузол тигля, траверсу, державку, усі гумові ущільнення через кожні 10 плавок необхідно протирати бяззю, змоченою у спирті чи авіаційному бензині Б-70.

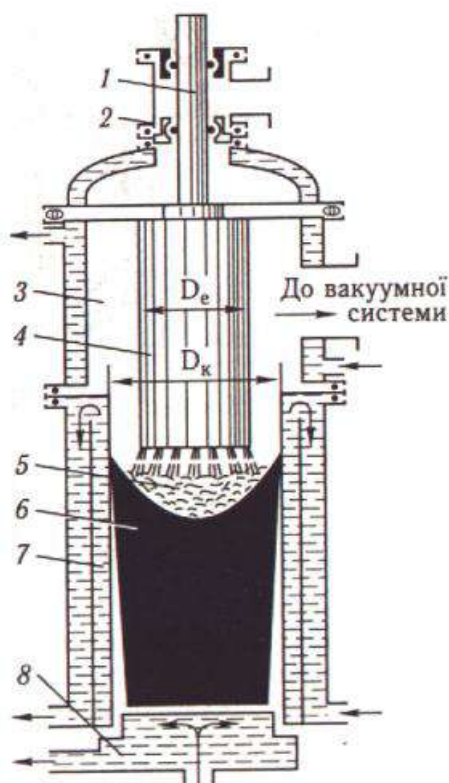


Рисунок 1.14 – Загальна схема вакуумної дугової гарнісажної печі з витратним електродом:

- 1 - електродотримач (шток); 2 - ущільнення вакуумне; 3 - камера робоча; 4 - електрод; 5 - розплавлений метал; 6 - виливок; 7 - кристалізатор з водяним охолодженням; 8 - піддон з водяним охолодженням

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип роботи наступний:

- 1) Метал поміщають у тигель у вакуумній камері.
- 2) Запускається система вакуумування, яка видаляє гази.
- 3) Електроди підключають до джерела живлення, створюється електрична дуга.
- 4) Метал плавиться, а домішки випаровуються завдяки високій температурі та низькому тиску.
- 5) Очищений метал стікає у форму для затвердіння.

Мідний тигель (графітової вставки) для плавки титанових сплавів показаний на рисунку 1.15.



Рисунок 1.15 – Мідний тигель (графітової вставки) для плавки титанових сплавів.

Стан плавильного тигля ретельно перевіряється. Тигель підлягає заміні у разі появи в ньому тріщин, надмірного потовщення або окислення гарнісажу. Руйнування графітової вставки відбувається в основному через недбале завантаження електродів в тигель, а також теплового впливу при плавці і розливанні металу. Новий графітовий тигель перед установкою в піч

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сушати в термостаті або печах при температурі 200...250 ° С протягом 8...10 годин. Тигель завжди встановлюють із зазором від 3 до 6 мм на кожен сторону. Зазр заповнюють графітовою крихтою із зернами від 0,3 до 2 мм та сильно втрамбовують.

Метал гарнісажу за хімічним складом повинен відповідати сплаву, який плавиметься в тиглі. Для наведення гарнісажу на дно тигля укладають очищені кускові відходи відповідного сплаву, які оплавляють електродом, що витрачається. Через 20...30 хв у тиглі виконують плавку для наведення гарнісажу, метал якої зливають у виливницю. Наморожений на стінки та дно тигля метал утворює рівномірний первинний гарнісаж, товщиною приблизно 15 мм, та плавний перехід до донного гарнісажу. Нормальна товщина донного гарнісажу для кожної печі різна і складає: для печі марки ОКБ-935 – 30...60 мм., марки ОКБ-956: 30...40 мм [13].

Під впливом наступних плавок відбувається зміна форми гарнісажу за рахунок збільшення товщини донної частини, тобто донна частина гарнісажу набуває вигляду конусоподібної лунки. Наступні плавки призводять до рівномірного наростання гарнісажу. При правильному дотриманні параметрів плавки товщина донного гарнісажу за одну плавку зазвичай збільшується на 10...15 мм. Таким чином, через 10...12 плавок об'єм тигля зменшується настільки, що виникає необхідність оплавлення металу гарнісажу.

Злив металу у форму виконується через графітовий носик тигля, що має форму усіченого конуса, зображено на рисунку 1.16.

Після першого розливання рідкого металу на жолобі носика утворюється тонка кірка металу, яка прогресивно збільшується при наступних зливах. Приблизно через десять плавок носик повністю заростає металом і виникає необхідність його очищення.

Для вирівнювання місцевих напливів та чищення носика проводять допоміжні плавки графітовими електродами різної конфігурації (дивись рис.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.17). Оплавлення донного гарнісажу тигля проводиться прямим графітовим електродом (рис. 1.17, а). Торць електрода має округлену форму, на іншому торці зроблено різьбове нарізування для кріплення його до траверси. Якщо об'єм тигля після першого оплавлення недостатній, процес повторюють доти, доки цей об'єм не збільшиться до заданої величини.

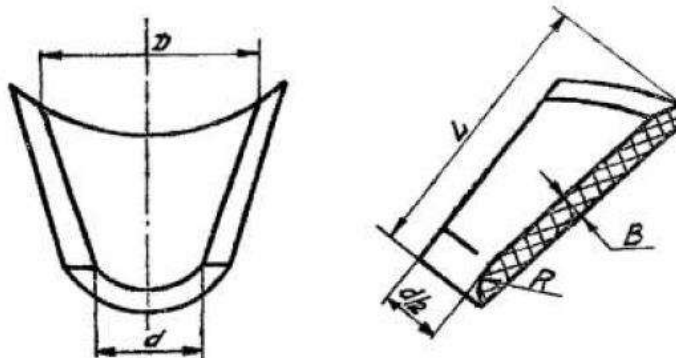


Рисунок 1.16 – Носик тигля з графіту.

Дуже часто гарнісаж тигля у верхній частині має потовщення по всьому периметру. Іноді це потовщення настільки велике, що електрод, що витрачається, неможливо встановити в тигель. У цьому випадку оплавлення стінок гарнісажу роблять фігурним графітовим електродом, що має форму гриба (рис. 1.17, б).

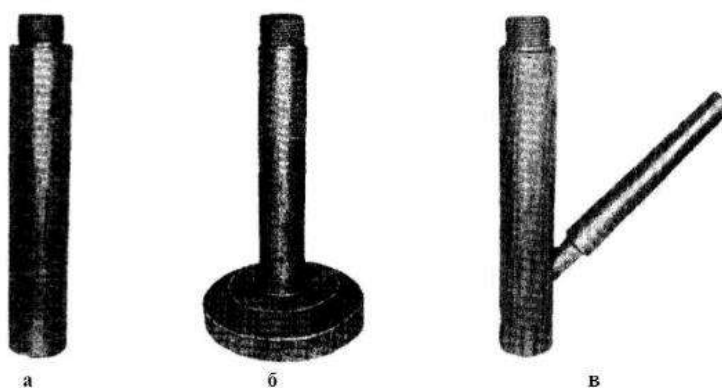


Рисунок 1.17 – Графітові електроди різної конфігурації:

а- електрод прямий; б - електрод для оплавлення стінок гарнісажу; в - електрод для оплавлення металу в заливальному носику

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Між фігурним графітовим електродом та виступами гарнісажу запалюють дугу, яка розплавляє поясок гарнісажу. Рідкий метал стікає на дно тигля. Потім фігурний графітовий електрод глибше опускають в тигель і оплавляють всі виступи гарнісажу. Після операції оплавлення бічного гарнісажу слід оплавити донний гарнісаж прямим графітовим електродом.

Оплавлення металу, намерзлого на носок тигля, виконують спеціальним графітовим електродом, що має похилу циліндричну частину за формою носика (рис. 1.17, в). Тигель нахиляють в горизонтальне положення, на дно камери заливки встановлюють графітову або сталеву виливницю і запалюють дугу між електродом і настиллю носика. Метал плавиться і стікає у виливницю.

У тигель можна також встановлювати гарнісаж, заздалегідь відлитий у спеціальну виливницю.

Після перевірки тигельного вузла приступають до приварювання витрачається електрода. Приварювання електрода до недогарка роблять наступним чином. Витратний електрод встановлюють у тигель вертикально. Щоб уникнути перекидання дуги на стінку бічного гарнісажу, відхилення від осьової лінії тигля не повинно бути більше 10 мм.

Після включення живлення печі огарок використаного електрода повільно опускають до верхнього торця витратного електрода до виникнення дугового розряду.

Якщо електрод погано приварений до недогарка, то в процесі плавки може відірватися і впасти в рідку ванну. Далі в камеру заливки печі встановлюють контейнер з формами. Форми, що заливаються відцентровим способом, центрують щодо випускного отвору проміжної лійки та закріплюють на столі відцентрової установки. Пічку герметизують і виконують її вакуумування.

Плавлення металу виконують за режимами, встановленими для конкретної печі.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Режими плавки можуть коригуватися в залежності від стану гарнісажу, діаметра витрачається електрода, кількості металу, що виплавляється, та інших факторів. У процесі плавки плавильник стежить (а за потреби регулює) за показаннями приладів за такими параметрами роботи печі:

- світловою сигналізацією, що характеризує нормальну роботу основних вузлів печі;
- величиною сили струму та напруги дуги;
- величиною розрідження у печі;
- величиною сили струму соленоїда;
- температурою води (охолодження тигля).

Під час плавки необхідно ретельно стежити за збереженням бічного та донного гарнісажу, спостерігати за процесом горіння дуги для запобігання короткому замиканню та перекиданню дуги на стінки тигля. Якщо метал починає розмивати бічний гарнісаж, що визначається за допомоги термопар встановлених в графітовому облицюванні тигля або візуально, необхідно збільшити силу струму соленоїда і частоту перемикачів полярності струму соленоїда. Якщо цього недостатньо, слід зменшити силу струму дуги. У разі перекидання дуги на конструкцію вузла тигля або корпус печі дугу необхідно погасити, а потім знову запалити.

Кількість рідкого металу в тиглі визначають візуально або за часом плавлення. В даний час немає приладів, що дозволяють точно визначати об'єм рідкого металу перед зливом у форму, тому визначення кількості наплавленого металу в основному залежить від майстерності плавника. Помилка у визначенні ваги рідкого металу призводить або до дефектів у виливках через неповне заповнення форми, або перевитрати металу.

Корисний вихід рідкого металу при плавці в гарнісажному водоохолоджуваному тиглі залежить від електричних параметрів плавки: чим більше сила струму дуги, тим швидше проводиться плавка, і тим більше рідкого металу може бути отримано в тиглі. При недостатній силі струму в

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

результаті плавки вийде лише невелика кількість рідкого металу, оскільки більша частина металу, що розплавляється, буде застигати на дні тигля. У сплави, що модифікуються, за 1...2 хв до розливу за допомогою спеціального пристрою вводять модифікатор (карбід бору або бор). Кількість модифікатора розраховується в залежності від ваги рідкого металу, що виплавляється.

Перед заливанням металу у форми струм соленоїда вимикають. Метал із печі розливають без відключення дуги. Для запобігання зануренню електрода рідкий метал при повороті тигля його піднімають. Перед зливом останніх порцій металу дугу гасять. Після закінчення заливання тигель повільно повертають у вертикальне положення.

Заливання форм проводять, не перериваючи струменя рідкого металу. Тривалість заливки залежить від маси металу, що переливається, переважає товщини стінки виливки, способу підведення металу у форму і т.д.

Після заливання форм протягом 5...10 хв з печі відкачують гази, що виділяються з форми, потім перекривають вакуумну систему і для прискорення охолодження виливків і тигля в піч подають інертний газ (аргон або гелій) до тиску 2...4 кПа [13].

Після охолодження виливків протягом 2...3 годин у піч вводять атмосферне повітря, розкривають її, вивантажують залиті форми та приступають до підготовки печі до наступної плавки. При тривалій перерві між плавками, або більше 8 год простоювання, піч герметизується та вакуумується.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ФОРМУВАЛЬНІ СУМІШІ ТА СПОЛУЧНІ МАТЕРІАЛИ

Ливарні форми, що зазвичай застосовуються (виготовлені з вогнетривких матеріалів) не можуть бути застосовані для отримання виливків з титану з зазначених раніше причин. Широке застосування набули графітові форми. Їх виготовляють із сумішей, до складу яких входять як основа графіт, а як зв'язуючий компонент використовують смолу. Суміші ущільнюють на стресових або пресових машинах під тиском 0,2...0,8 МПа. Виготовлені форми після витримки на повітрі від 8 годин до 3 діб піддають сушінню при температурі 120 °С і випалюванню в відновлювальній атмосфері при 700...980 °С тривалістю від 1 години до доби [13].

Застосовуються і оболонкові графітові форми з енолоформальдегідною смолою як зв'язуючий компонент. Дрібні складні тонкостінні виливки з титанових сплавів отримують у нероз'ємних формах, виготовлених за моделями, що виплавляються. До складу суспензії входить високодисперсний графітовий порошок і зв'язуючий компонент на основі фенолоформальдегідних смол, як обсипальний матеріал використовують зернистий графіт.

В даний час розробляються процеси виготовлення форм на основі використання звичайних вогнетривких матеріалів таких як MgO або Al₂O₃, із застосуванням захисних металевих, карбідних та вуглецевих покриттів, що підвищують інертність форм до розплавленого титану та його сплавів.

Як матеріали для форм при литті титану використовуються тугоплавкі оксиди такі як двоокис цирконію, магнезит, електрокорунд, також підходить кокс або графіт, або металеві матеріали (переважно сталь). Зв'язуючим компонентом служать розм'якшені смоли, етил силікат або рідке скло.

Для отримання виливків, що мають значні габаритні розміри та виливків складної конфігурації використовують форми зібрані з окремих

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елементів, так званих стрижнів. Стрижні виготовляють переважно шляхом пошарового ущільнення формувальної суміші в дерев'яних або металевих ящиках. Найбільша ефективність при виготовленні форм пресування досягається при отриманні деталей виливків нескладної конфігурації з відношенням їх висоти до максимального розміру в поперечному напрямку не більше 0,8. Зазвичай такі виливки одержують у двох напівформах із двома (не більше) стрижнями.

Процес виготовлення форм пресуванням має переваги порівняно із струшуванням та ручним набиванням. Він дозволяє підвищити чистоту робочої поверхні та збільшити міцність форм, що важливо при відцентровому способі лиття виливків. Висока продуктивність та досить хороші санітарно-гігієнічні умови праці це характерні особливості процесу.

Процес виготовлення ущільнюваних формувальних сумішей включає наступні операції [15]:

- 1) приготування зв'язуючої речовини та інших допоміжних матеріалів;
- 2) приготування порошку графіту та його розсівання на фракції;
- 3) перемішування графітового порошку в змішувачах та додавання зв'язуючої речовини;
- 4) контроль властивостей суміші у сирому стані;
- 5) витримка сумішей гарячого затвердіння (суміші холодного затвердіння подаються після введення каталізатора на формування).

Суміші гарячого затвердіння після приготування направляються або на формування з попередньою витримкою від 1 до 3 годин, або у закритий бункер, де вони можуть зберігатися до трьох діб. Форми та стрижні, виготовлені з холоднотвердіючих сумішей, після ущільнення витримують в оснастці до затвердіння протягом від 20 хвилин до 1 години, а потім витягують. Після затвердіння, форми та стрижні направляють на теплову обробку, що включає в себе сушіння та випал для повного видалення вологи

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та підвищення міцності. Сушіння та випал стрижнів і форм виконують в електричних печах. Нагрів здійснюють лише за певним режимом. Після випалу стрижні та форми охолоджують до температури 200 °С разом із піччю, а потім на повітрі. Після контролю зібрану форму направляють на заливку.

Формувальні суміші, що застосовуються для виготовлення разових ливарних форм, складаються з вогнетривкої основи, зв'язуючої речовини та допоміжних матеріалів. До вогнетривкої основи формувальної суміші пред'являються наступні вимоги:

- мінімальна зміна розмірів форм під час випалу;
- висока хімічна стійкість та вогнетривкість по відношенню до рідкого титану;
- стійкість до теплового удару під час заливання;
- низька випаровуваність при нагріванні у вакуумі;
- висока міцність механічна;
- доступність для промислового використання;
- хороше вибивання форм;
- безпека для довкілля;

Поверхневі шари форми, що контактують при заливці з металом, нагріваються до температури, що дорівнює температурі рідкого металу, що заливається у форму. Внаслідок цього температура плавлення матеріалу форми повинна бути вище температури металу, що виливається, тобто формувальна суміш повинна мати високу вогнетривкість. Стрижневі суміші повинні мати ще більшу вогнетривкість, оскільки стрижні оточені рідким металом з усіх боків і прогріваються майже на всю товщину.

Найбільшу хімічну стійкість і вогнетривкість по відношенню до титану мають форми на основі вуглецевих матеріалів. Вони знайшли широке застосування як у вітчизняній, так і в зарубіжній практиці.

У зв'язку з тим, що рідкий титан має високу реакційну здатність і високу температуру лиття (1850 °С) до зв'язуючих матеріалів пред'являються

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

такі вимоги [15]:

- здатність добре змочувати вогнетривку основу суміші;
- здатність протистояти жолобленню форм.
- вогнетривкість та хімічна інертність до рідкого титану;
- здатність твердіти при тепловому або хімічному сушінні;
- здатність після високотемпературного випалення форм зберігати міцний зв'язок між частинками вогнетривкої основи суміші;
- здатність до незначних об'ємних змін у процесі високотемпературного випалу;

Зв'язуючі речовини, що застосовуються у формувальних сумішах для лиття титанових виливків, поділяються на два класи: органічні та неорганічні.

2.1 Виготовлення стрижнів та форм.

Стрижні застосовують в основному для виконання у виливках отворів та порожнин, а також зовнішніх поверхонь виливків складної конфігурації. При заливанні форми стрижні зазвичай бувають з усіх боків оточені рідким металом. Тому вони повинні мати високою міцністю, газопроникністю, вибиваністю, податливістю, що забезпечується конструкцією стрижня і вибором відповідної стрижневий суміші.

Стрижні ділять на п'ять класів [15]: за конфігурацією, геометричними розмірами, умовами роботи в ливарній формі та вимогами до якості литої поверхні.

I клас – стрижні складної конфігурації, ажурні, що мають малі знаки, що утворюють у виливках необроблювані порожнини, до чистоти яких висувають високі вимоги, наприклад, стрижні стрічкового типу для виливків корпусів двигунів внутрішнього згоряння.

II клас – стрижні складної зміни, мають поруч із масивними частинами

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тонкі виступи, перемички. Вони утворюють у виливку повністю або частково оброблювані поверхні.

III клас – стрижні середньої складності, з масивними знаками, що не мають особливо тонких частин, але виконують у виливках порожнини, до чистоти поверхні яких пред'являють підвищені вимоги.

До IV класу відносять стрижні не дуже складної форми з оброблюваними та не оброблюваними поверхнями де чистота поверхні особливо не враховується.

До V класу належать стрижні дуже масивні стрижні, що утворюють де які порожнини у виливках.

Суміш для стрижнів I класу повинна мати високу поверхневу твердість, міцність, мінімальну газотворність, високу пластичність у вологому стані і хорошу здатність до вибивання.

Суміш для стрижнів II класу повинна задовольняти тим самим вимогам, але бути більш міцною у вологому стані, щоб високі і масивні частини стрижня не руйнувалися під дією власної ваги.

Суміш для стрижнів III класу повинна мати високу міцність у вологому стані, хорошу податливість та вибивання.

Суміш для стрижнів V і IV класів повинні мати високу міцність у вологому стані, хорошу здатність до вибивання.

Стрижні отримують у ящиках вручну або на машинах за допомогою тих самих прийомів, що і при формуванні. Відділення ливарного цеху, у якому виготовляють стрижні, називають стрижневим.

Виготовлення форм графітових.

Форми з графітових порошків можуть бути виготовлені шляхом пресуванням, пошарового набивання вручну, по виплавлених моделях, методом оболонки, що тверднуть на гарячій моделі, тощо.

Для виготовлення набивних графітових форм за металевими або дерев'яними моделями можна застосовувати так звану суміш Фалда, це

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

суміш з водорозчинними сполучними речовинами. Вона складається з графітового порошку (63 %), злакового крохмалю (5 %), графітового пилу (7 %), розчину кам'яновугільного пеку в ацетоні у співвідношенні 1:1 або смоли або (10 %), деревного дьогтя (8 %) та чистої води (7 %). Крохмаль та графіт перемішують у змішувачі протягом 2 хвилин, потім додають смолу, суміш перемішують ще 2 хвилини, додають деревний дьоготь і воду, після чого перемішування ведуть протягом 4 хвилин. Готова суміш у сирому стані має газопроникність 190 одиниць, вологість 6,9 %, міцність на стиск 70 кПа або 0,7 кгс/см². Після сушіння міцність на розрив такої формувальної суміші становить 700 кПа, або 7 кгс/см². [15].

Графітові формувальні суміші з водорозчинними сполучними речовинами знаходять обмежене застосування. За своїми технологічними та експлуатаційними властивостями вони суттєво поступаються графіто-смоляним. Їх основні недоліки: недостатня міцність у сирому стані, низька пластичність, велика усадка, тощо. Форми, виготовлені з цих сумішей викликають підвищене забруднення металу виливка домішками за рахунок недостатньої термохімічної стійкості.

Більш широке застосування у промисловості знайшли графітові формувальні суміші з органічними сполучними такими як синтетичні смоли. Основна перевага цих сумішей це досить хороші технологічні властивості (плинність, міцність у сирому стані, формуваність тощо). Але головна перевага полягає в тому, що форми, виготовлені з таких графітових сумішей, мають високу вогнетривкості термохімічну стійкість.

У промисловості застосовуються різні за складом графітові формувальні суміші, що відрізняються за типом та кількістю введеної в суміш сполучної речовини, гранулометричним складом графітового порошку, тощо. Графітові формувальні суміші для виготовлення форм, що ущільнюються, класифікують в залежності від способу ущільнення і методу їх затвердіння. За способом ущільнення вони поділяються на суміші, що

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ущільнюються пресуванням, типові представники АТМ, СФТ-1П; на формувальних машинах, що струшують, і вручну, типові представники БДУ-1 і СФТ-1; та на універсальні, такі як СГУ-3, СГУ-2, СГУ-1.

За методом затвердіння графітові формувальні суміші поділяються на суміші холодного та гарячого затвердіння. До формувальних сумішей холодного затвердіння належать: СГУ-3, СГУ-1, БДУ-1 та інші, гарячого затвердіння такі як АТМ, СГУ-2, СФТ-1П, СФТ-1 та інші. У сумішах першого типу затвердіння відбувається в результаті полімеризації сполучної речовини, викликаного введенням в суміш каталізатора. У сумішах другого типу полімеризація сполучної речовини здійснюється нагріванням формувальної суміші [15].

Нагрів виконують у нагрівальних печах, куди завантажуються виготовлені елементи ливарної форми (суміші СФТ-1П, СГУ-2, СФТ-1) або в нагрітому металевому оснащенні в період пресування елементів ливарної форми - суміш АТМ.

Процес виготовлення форм пресуванням має переваги порівняно зі струшуванням та ручним набиванням. Він дозволяє підвищити чистоту робочої поверхні та збільшити міцність форм, що важливо при відцентровому способі лиття виливків. Графітові формувальні суміші, які застосовуються для виготовлення форм пресуванням, містять меншу кількість сполучної речовини в порівнянні з іншими способами одержання форм. Тому хімічна інертність таких форм є вищою. Крім того, ці форми зазнають менших об'ємних змін у процесі теплової обробки, що підвищує точність лінійних розмірів виливків. Технологічний процес виготовлення графітової формувальної суміші складається з наступних основних етапів:

- приготування сполучних матеріалів;
- приготування порошку графіту та його поділ на фракції;
- перемішування графітового порошку зі сполучним у змішувачі;
- вилежування сумішей гарячого затвердіння (суміші холодного затвердіння

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подаються на формування після введення каталізатора).

Перед приготуванням формувальної суміші порошок графітовий просушують на металевих піддонах в електричних печах опору. Температура сушіння не перевищує 300 °С, тривалість сушіння складає 2...3 години. Після просушування порошок розсіюють на вібраційних установках та відбирають необхідну кількість графітового порошку кожної фракції.

Технологічний процес виготовлення форм із графітових сумішей складається з наступних основних операцій [15]:

- приготування формувальної суміші;
- виготовлення напівформ і стрижнів одним з відомих способів;
- витримка повітря протягом 8 годин;
- сушіння стрижнів та форм;
- високотемпературний випал;
- складання форм та підготовка їх до заливання.

В процесі сушіння форм і стрижнів волога, що міститься у формувальній суміші, і розчинники смол такі як уайт-спірит чи спирт видаляються, а також відбувається полімеризація і твердіння смол.

Сушіння форм може проводитися за різними технологічними режимами, наприклад: повільне нагрівання зі швидкістю 10 °С на годину до 120 °С; і витримка при цій температурі протягом 16 годин. Інший варіант сушіння полягає в наступному: витримка виготовлених форм на повітрі протягом 20 годин, повільне нагрівання до 220...250 °С, витримка в печі при даній температурі протягом 2 годин, охолодження форм разом із піччю до температури 50...60 °С та вивантаження з печі.

Випалення графітових форм і стрижнів проводиться в контейнерах із жаростійкої сталі у відновлювальній атмосфері, що створюється газами, що виділяються при термодеструкції сполучної речовини. Застосовувані режими випалу можуть різнитися між собою залежно від складу суміші та методів ущільнення та затвердіння. Приблизно технологію випалу можна

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

представити так: нагрівання форми здійснюється ступінчасто, а саме: спочатку до 450...500 °С та витримка протягом 2...3 годин, а потім нагрівання до 900 – 950 °С та витримка протягом 3 – 4 год; для запобігання окисленню графітових форм і стрижнів при охолодженні після випалу і зниження їх газотворності контейнери з формами і стрижнями видаляють з печей при температурі 850...900 °С і охолоджують в дегазаційних камерах, які перед вивантаженням контейнерів з формами заповнюють сухим аргоном. Для підвищення термохімічної інертності форм випал можна проводити у вакуумних печах; після випалу стрижні та напівформи обдувають стисненим повітрям і відправляють на складання, зібрані форми допускається зберігати при температурі 100 °С; далі форми поміщаються в заливальну камеру плавильної установки, де вони вакуумуються протягом 1 години [16].

2.2 Складання форм.

Складання форми є відповідальним процесом, що вимагає уваги та акуратності. Складання включає операції: підготовки напівформ і стрижнів, установки стрижнів (зазвичай нижню напівформу), контролю положення стрижнів, накриття нижньої напівформи верхньої, установки випірних і литникових чаш, скріплення підлоги форм або їх навантаження.

Напівформи та стрижні, що надійшли на складання, ретельно оглядають; до складання не допускаються стрижні та напівформи, що мають будь-які пошкодження або дефекти. Перед складання форми продувають стисненим повітрям, щоб видалити з неї частинки суміші або сторонні тіла.

Стрижні встановлюють у форму в послідовності, вказаній на складальному кресленні або в технологічній карті. При цьому необхідно стежити, щоб знаки стрижнів точно ставали у відбитки знаків моделі. Якщо знак стрижня чомусь не підходить до свого гнізда у формі, то припасування його обпилюванням не допускається. Тільки у виняткових випадках, в

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умовах одиничного або дрібносерійного виробництва, допускається припасування знаків стрижня, але спеціальним контрольним шаблонам. Положення кожного стрижня щодо форми та інших стрижнів перевіряють контрольними шаблонами, а в потоково-масовому виробництві - кондукторами.

Розміри тіла виливки, утворені стрижнями та формою або лише стрижнями, перевіряють товщиномірами. В умовах одиничного виробництва при складанні складних форм використовують контрольне перекриття форми, якщо товщину тіла виливки, що утворюється формою та стрижнями, не можна перевірити контрольним чи вимірювальним інструментом. Перед контрольним перекриттям на поверхню форми або стрижнів у необхідних місцях встановлюють шматки глини мушки. Потім роблять контрольне перекриття форми, у процесі якого шматки глини стискаються до товщини просвіту між формою та стрижнем, що має відповідати товщині тіла виливки. Після розкриття форми "мушки" виймають, вимірюють їхню товщину і таким чином визначають можливу товщину стінки виливки.

Зазвичай стрижні встановлюють нижню напівформу на знаках, проте іноді, в умовах одиничного виробництва, стрижень кріплять у верхній напівформі. Ця операція повинна бути виконана, особливо ретельно, так як недостатньо надійне кріплення стрижня може призвести до відриву його від форми при складанні, поломці форми стрижня, і навіть до нещасних випадків.

В окремих випадках для більшої стійкості стрижня у формі при її заливанні металом стрижень встановлюють на так звані жеребки, тобто жорсткі металеві опори. Висота жеребків відповідає товщині тіла виливки. Сплав для виготовлення жеребків зазвичай вибирають відповідно до заливається у форму сплавом.

Поверхня жеребків повинна бути чистою, без слідів олії, іржі та вологи. При підготовці жеребки піскострумлять, часто фарбують алюмінієвою

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фарбою, іноді лудять. Чисті жеребки добре зварюються з основним металом виливки і не викликають утворення раковин або інших неполадок. Однак для виливків, що працюють під тиском газу або рідини, застосовувати жеребки небажано, а іноді неприпустимо.

2.3 Властивості матеріалу ВТЗ-1Л

Виливки із сплаву ВТЗ-1Л використовуються для [3, 4]:

- 1) хімічної, харчової промисловості, це центрифуги, насоси, цистерни, сепаратори;
- 2) нафто - газовидобуванні та транспортуванні, це бурильні труби, перфоратори, тощо;
- 3) суднобудуванні, це гвинти, деталі пристроїв, обшивка бортів;
- 4) космічна техніка, ракетобудування, це основні конструктивні елементи частини приладів
- 5) авіабудування, це складники крил, корпусів, приводи та несучі гвинти літальних апаратів.

Хімічний склад матеріалу ВТЗ-1Л, його механічні та фізичні властивості наведено в таблицях 2.1 – 2.2.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад ВТЗ-1Л, у %.

С	Fe	Cr	Si	W	Mo	Ti	N	Zr	Al	H	O	домішки
До 0,15	0,2- 0,7	0,8- 2,3	0,15- 0,40	До 0,2	2,0- 3,0	85,2- 91,55	До 0,05	До 0,5	5,3- 7	До 0,15	До 0,18	0,3

Таблиця 2.2 – Механічні та фізичні властивості ВТЗ-1Л при 20 °С.

Е 10 ⁵ , МПа	S _B , МПа	δ, %	КСУ, кДж/м ²	термообробка
1,14	990	4	300	немає

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ВИЛИВКА КОРПУСУ ЗВОРОТНОГО КЛАПАНА ПНЕВМОПІДВІСКИ ІЗ СПЛАВУ ВТЗ-1Л

3.1 Характеристика зворотного клапана пневмопідвіски.

Традиційне компонування пневматичної підвіски вантажівок чи автобусів передбачає наявність компресора, зворотного клапана, ресивера, розподільника, редукційного клапана, та пневмобалонів або пневмоподушок, рис. 3.1. [17]. Компресор, через зворотній клапан накачує повітря і направляє його в ресивер, де воно утримується під тиском. Редукційний клапан знижує тиск повітря до необхідного рівня. Далі розподільник керує напрямком потоку повітря до клапанів, через які повітря подається у пневмобалони. У підвісці відкритого типу використане повітря викидається в атмосферу, а у підвісці замкнутого типу, надходить назад у систему.

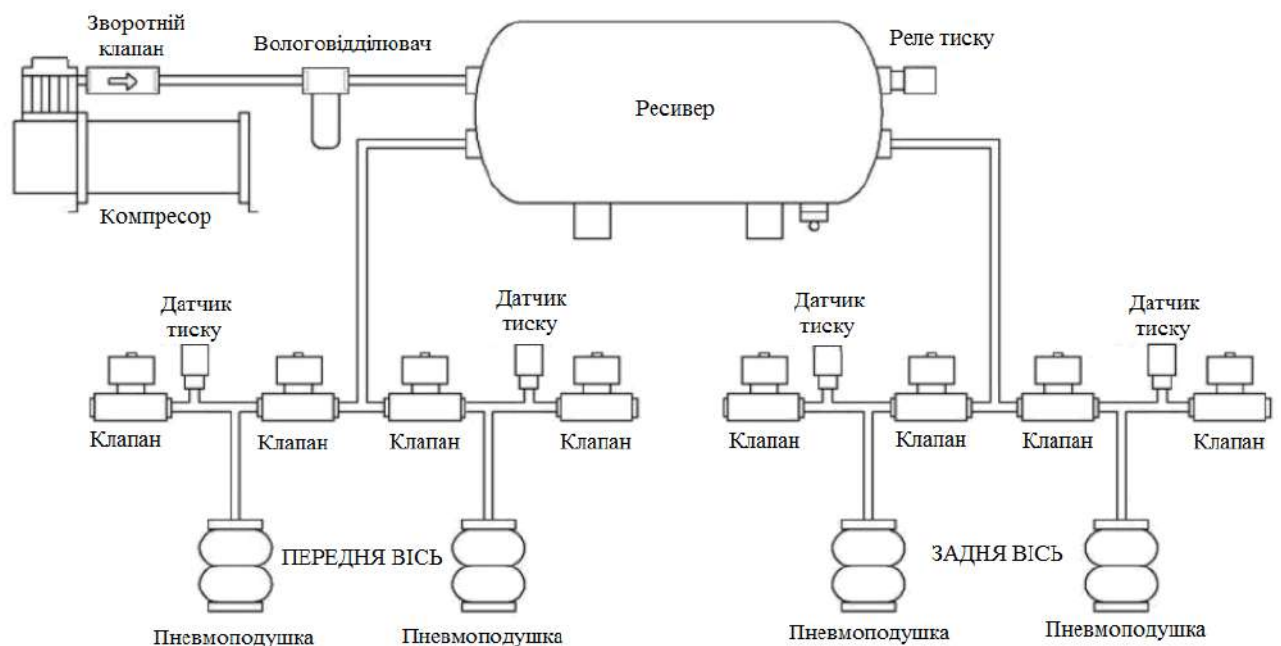


Рисунок 3.1 – Традиційна система пневмопідвіски вантажівок і автобусів.

Зворотний клапан, що встановлюється на вихідному отворі головки компресорного пристрою, пропускає стиснене повітря тільки в одному

										Арк.
										58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

напрямку - до ресивера або іншого резервуару. Таким чином, даний клапан запобігає поверненню стисненого повітря, що знаходиться в ресивері або інших елементах пневмосистеми, назад у компресор. Найбільший ризик повернення стисненого повітря з пневмосистеми у внутрішню частину компресора в моменти перерви в роботі пристрою (якщо нагнітальні клапани компресора нещільно прилягають до сідла), а також у момент його запуску в роботу.

Принцип роботи повітряного зворотного клапана наступний. Якщо тиск повітря в робочій камері в той момент, коли компресор відключають, перевищує допустиме значення, спрацьовує запобіжний клапан, також встановлений на виході з пристрою. У конструкції зворотного клапана компресора як замикаючий елемент використовується круглі диски, що і під дією власної ваги і тиску середовища блокують зворотний потік середовища. Він відноситься до автоматичних клапанів, також відомих як зворотні клапани, односторонні клапани, зворотні клапани або запірні клапани. За способом руху диска вони поділяються на підйомні та поворотні. Підйомні зворотні клапани за своєю структурою схожі на кульові, в них відсутній тільки шток, що приводить диск у рух. Газ або рідина надходить через вхідний отвір (рис. 3.2) та виходить через вихідний отвір [18].

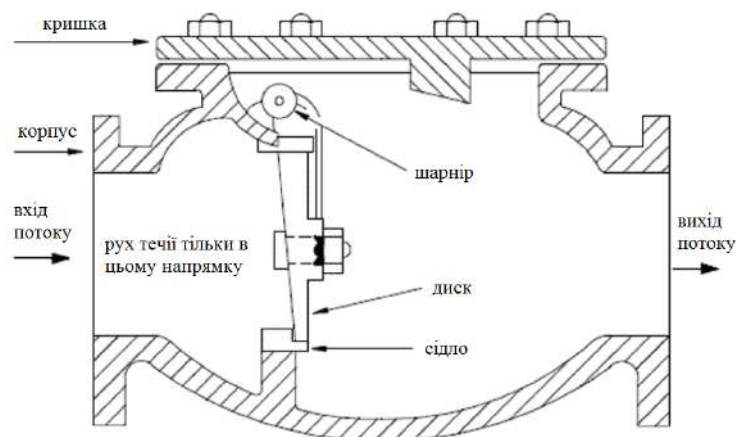


Рисунок 3.2 – Схема роботи зворотного клапана пневмосистеми.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Коли тиск на вході перевищує вагу диска та його опір потоку, клапан відкривається. І навпаки, клапан закривається, якщо коли газ намагається рухатись назад. Поворотні зворотні клапани мають похилий диск, який може обертатися навколо осі, та працюють аналогічно підйомним зворотним клапанам.

Зворотний клапан складається з корпусу, диска, кільця сідла, кришки, шарнірного штифта та інших елементів зображених на рисунку 3.3 [18].

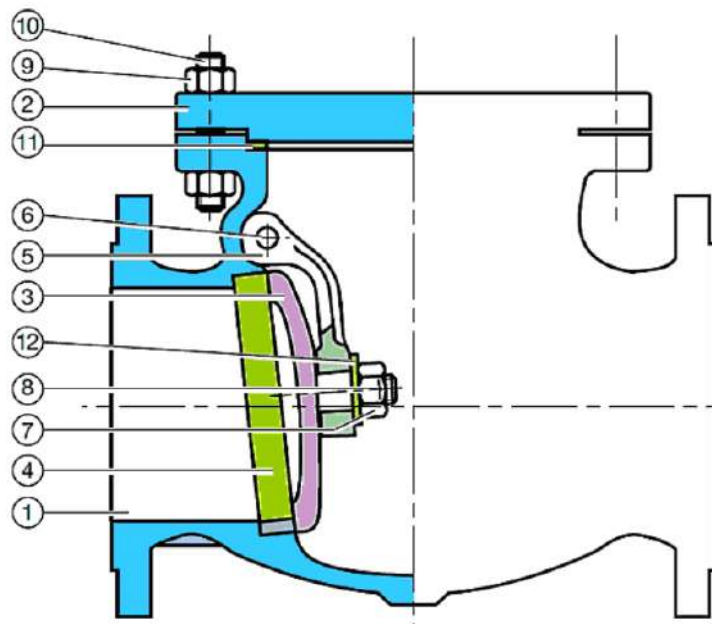


Рисунок 3.3 – Конструктивні елементи зворотного клапана.

1 – корпус, 2 – кришка, 3 – диск, 4 – сідло, 5 – шарнір, 6 – штифт, 7 – гайка, 8 – шплінт, 9 – зовнішня гайка, 10 – шпилька, 11 – манжета, 12 – шайба.

Диск у клапані поворотного типу некерований, тому що він повністю відкривається або закривається. Такий клапан працює за наявності потоку лінії і повністю закривається за відсутності потоку. Турбулентність та перепад тиску в клапані дуже низькі. Диск та сідло можуть бути виконані в парі: метал і метал або метал і композит.

Кут між сідлом та вертикальною площиною називається кутом нахилу

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сидіння і варіюється від 0 до 45 градусів. Зазвичай кути сидла перебувають у діапазоні від 5 до 7 градусів. Великі кути сидла зменшують хід диска, що призводить до швидкого закриття, а значить мінімізує можливість гідроудару. Вертикальне сидло має кут 0 градусів.

Поворотний зворотний клапан пропускає повний безперешкодний потік і автоматично закривається при зниженні тиску. Зазвичай встановлюються у комбінації із засувками, оскільки забезпечують відносно вільний потік.

У цій випускній роботі розглянуто виливок – корпус зворотного клапану пневматичної підвіски вантажівки DAF 45 LF (рис. 3.4), зі сплаву ВТЗ-1Л.



Рисунок 3.4 – Вантажівка DAF 45 LF.

Титанові клапани для використання в енергетичних системах розраховані на більш високий тиск, ніж у звичайних магістралях. Габаритні розміри корпусу зворотного клапана пневмопідвіски вантажівки, та побудована комп'ютерна модель представлені на рисунку 3.5.

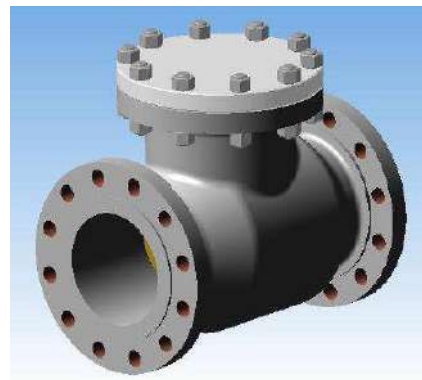
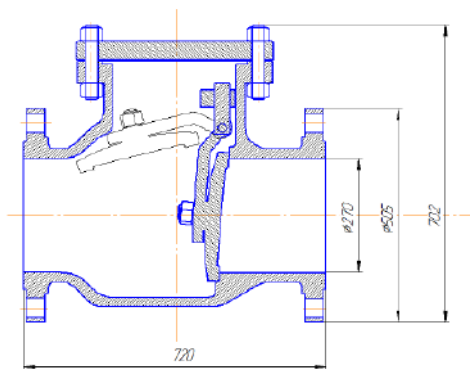


Рисунок 3.5 – Габаритні розміри корпусу та модель зворотного клапана.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Тип приєднання та матеріал прокладки вибирають залежно від умов роботи клапана таких як: робоча температура, тиск та корозійні властивості середовища.

Титанова арматура коштує дорожче, ніж арматура з нержавіючої сталі, проте застосування її здебільшого економічно виправдане завдяки високому ресурсу вузла та забезпеченню надійності пневматичної підвіски автомобілів.

3.2 Конструювання литниково-живильної системи із застосуванням програм моделювання.

3.2.1 Розрахунок площ ливникової системи.

При розрахунку площ елементів литниково-живильної системи необхідно враховувати утворення настилів на стінках форми, таблиця 3.1, що зменшують їхній фактичний переріз.

Таблиця 3.1 – Значення товщин настилу для різних пічок.

№	Елементи системи литникової	Товщина настилу на одну сторону, мм	
		Піч «Consarc» VAR-24	Піч ОКБ-956
1	Носок тигля:		
	Після першого зливу	5...7	4...6
	Після другого зливу	12...16	8...12
	Після третього зливу	20...26	12...18
2	Стояк і литникові відходи	5...7	3...5
3	Ливникова втулка	7...10	5...7

Схема типової литниково-живильної системи для стаціонарної заливки показана на рисунку 3.6. При стаціонарній заливці метал з плавильного тигля

надходить у литникову лійку (залівальний жолоб), а потім через литникову втулку (насадку) в литникову чашу, далі у стояк, литникові ходи, живильники і в самому кінці в порожнину форми.

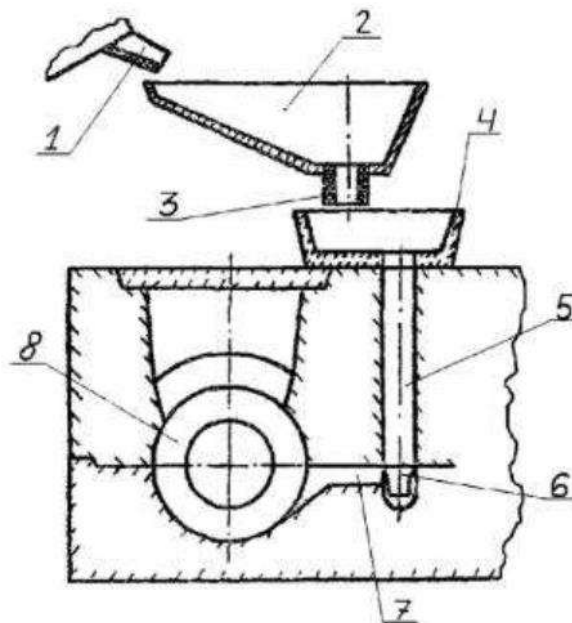


Рисунок 3.6 – Схема литникової системи для стаціонарного заливання титанових сплавів:

1 - залівальний носик тигля; 2 - залівальний жолоб; 3 - литникова втулка; 4 - литникова чаша; 5 - стояк; 6 - литниковий хід; 7 - живильник; 8 - порожнина форми.

В залежності від прийнятої технології виготовлення виливки окремі елементи литникової системи можуть бути виключені, наприклад, литникова вирва при стаціонарній заливці або литникові ходи при щілинних живильниках.

Литникова вирва (залівальний жолоб) виготовляється з титанових сплавів або нержавіючої сталі марки 12Х18Н9ТЛ з листа за допомогою зварювання, або методом лиття.

Литникова втулка виготовляється з графіту, переважно з марки ГМЗ.

Стаціонарне заливання форм може проводитися за такими основними схемами:

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 1) заливання кількох форм одночасно через центральний стояк;
- 2) заливання однієї форми через литникову чашу;
- 3) заливання форми безпосередньо через литникову чашу без литникової вирви.

Литникова чаша виготовляється за аналогічним процесом виготовлення форм. Обсяг чаші рекомендується приймати рівним 30...40 % від об'єму металу, що заливається.

Конфігурація і розміри литникових чаш встановлюються в залежності від типу плавильно-заливального агрегату і розмірів форм, що заливаються при розробці технологічного процесу.

Стояк для стаціонарного заливання рекомендується застосовувати круглого перерізу з необхідним ливарним ухилом. У нижній частині стояка повинен бути передбачений зумпф для створення «подушки» рідкого металу, що гасить енергію падаючого струменя. При заливанні великих виливків на дно зумпфу встановлюють графітову пластину або склянку. Поєднання елементів літниково-живильної системи має бути плавним з радіусом переходу не менше ніж половина діаметра литникового ходу.

Для уловлювання перших порцій надходить у форму металу, що містять підвищену кількість включень (неметалевих і газових) і мають знижену температуру, наприкінці литникових ходів передбачають тупикові відводи, довжина яких приймається рівною або більшою за діаметр літникового ходу.

Розрахунок литниково-живильної системи виконано виходячи з наступних умов:

- вага виливки корпусу зворотного клапана, з урахуванням припусків, для виливків, що виготовляються в формах, що ущільнюються складає 300 кг.
- число виливків у формі - один.
- переважна товщина стінки виливки: 20 мм.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок елементів литниково-живильної системи при стаціонарній заливці здійснюється у такому порядку:

1) Визначається оптимальна тривалість заливання форми в залежності від переважаючої товщини стінки вилівка за формулою [19]:

$$\tau_{zal} = \mu\tau_0(1+n), \quad (3.1)$$

де τ_0 - тривалість заповнення форми без врахування прибутків, визначається за емпіричною формулою:

$$\tau_0 = 0,273(1,15\delta + 0,25), \quad (3.2)$$

δ - переважна товщина стінок вилівки, мм; μ - коефіцієнт гідравлічних втрат (найчастіше приймається рівним 0,8); n - коефіцієнт заповнення прибутків та литниково-живильної системи, тоді $\tau_0 = 0,273(1,15 \cdot 0,20 + 0,25) = 6,3$.

Коефіцієнт n розраховується за такою формулою:

$$n = \frac{100}{K} - 1, \quad (3.3)$$

де K - вихід якісного металу, %. Тобто $K = \frac{300}{750} 100\% = 40\%$, тоді $n = \frac{100}{40} - 1 = 1,5$, і

відповідно $\tau_{zal} = 0,8 \cdot 6,3(1+1,5) = 12,6$ с.

2) Визначається вагова швидкість заливання за формулою:

$$G = \frac{M_R}{\tau_{zal}}, \quad (3.4)$$

де M_R - маса рідкого металу на форму, кг. $G = \frac{750}{12,6} = 59,52$ кг/с.

3) Визначається площа поперечного перерізу втулки у литниковій чаші

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(залежно від прийнятої схеми заливки) за формулою [19-21]:

$$F = \frac{G \cdot 10^3}{\mu \rho \sqrt{2gH}}, \quad (3.5)$$

де μ - коефіцієнт витрати, що дорівнює 0,97; H - напір рідкого металу в заливному жолобі.

Обчислюємо площу поперечного перерізу литникової втулки (напір приймаємо рівним 500 мм). $F = \frac{59,5 \cdot 10^3}{0,97 \cdot 7,48 \sqrt{2 \cdot 980 \cdot 50}} = 43,74 \text{ см}^2$

4) За формулою (3.6) визначаються значення площ поперечних перерізів решти елементів литниково-живильної системи. Для стаціонарної заливання форм рекомендуються наступні співвідношення площ перерізів елементів літниково-живильної системи:

$$\sum F_{зв} : F_{lx} : F_c = 1 : 1,2 : 0,95, \quad (3.6)$$

де $\sum F_{зв}, F_{lx}, F_c$ - сумарні площі поперечних перерізів литникової системи живлення та литникових ходів. Площа ливникової чаші:

$$F_{lch} = 0,95 \cdot F_0 = 41,5 \text{ см}^2; \text{ площа ливникового стакану: } F_{lct} = 0,95 \cdot F_0 = 41,5 \text{ см}^2;$$

$$\sum F_{lx} = 1,2 \sum F_0 = 1,2 \cdot 43,74 = 52,48 \text{ см}^2; \sum F_p = 1,2 \sum F_0 = 1,2 \cdot 43,74 = 52,48 \text{ см}^2;$$

Діаметри ливникової чаші та стояка рівні, тоді визначимо радіус стояка

$$\text{за площею: } R = \sqrt{\frac{F_{st}}{2\pi}} = \sqrt{\frac{41,4}{6,28}} = 7,27 \text{ см.}$$

Оскільки загальний переріз трьох живильників для виливки становить:

$$\sum F_p = 52,48 \text{ см}^2; \text{ знайдемо перетин для одного живильника:}$$

$$F_p = 52,48 / 3 = 17,49 \text{ см}^2;$$

Далі знайдемо радіус живильника за площею:

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_z = \sqrt{\frac{F_p}{\pi}}, \quad (3.7)$$

$R_z = \sqrt{\frac{17,49}{3,14}} = 2,36$ см, тоді діаметр складає $D = 4,72$ см. Загальний переріз

литникового ходу для вилівки становить: $\sum F_{ix} = 52,48$ см²; тоді

$F_{ix} = \frac{\sum F_{ix}}{2} = \frac{52,48}{2} = 26,24$ см²; далі визначимо радіус: $R = \sqrt{\frac{26,24}{3,14}} = 2,82$ см.,

відповідно діаметр діаметр $D = 5,64$ см.

Остаточню маємо: $F_{zyw} = 4,72$ см²; $F_{ix} = 5,64$ см²; $F_{zyw} = 41,5$ см².

Готова литникова система даної вилівки представлена на рисунку 3.7.

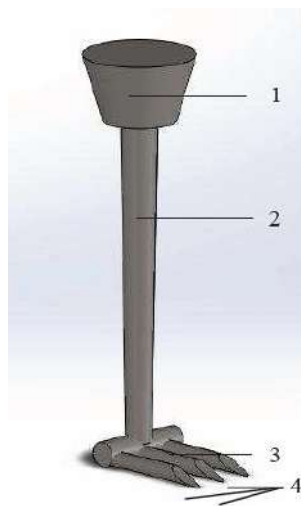


Рисунок 3.7 – Литниково-живильна система:

1 - литникова чаша; 2 - стояк; 3 - литниковий хід; 4 - живильники

3.2.2 Розрахунок прибутків ливникової системи.

Основним призначенням прибутків є живлення термічних вузлів та стінок вилівок, а також спрямоване видалення газів з форм та рідкого металу в процесі їх заливки та затвердіння. При розробці технологічного процесу та розміщення прибутків повинні бути передбачені всі заходи для

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечення вільного виходу газів та спрямованого спливання газових включень у прибуток, оскільки видалення газів з титанових сплавів через пори форми утруднено внаслідок швидкого утворення кірки затверділого металу.

Для живлення виливків із титанових сплавів рекомендується встановлювати прибутки наступних типів:

- бічні (відвідні);
- верхні (закриті та відкриті);
- напівкульові.
- горизонтально-циліндричні;

Для прибутків, що встановлюються на фланцях, рекомендуються такі розміри [19-21]:

- ширина прибутку «В» - 0,4 - 0,8 від діаметра живлення фланця;
- висота прибутку – 0,4 - 0,8 від діаметра фланця, але не менше 1,2 від товщини фланця (менші значення ширини та висоти прибутків відносяться до виливків, що заливаються відцентровим способом);
- товщина прибутку "Т" - 1,2 - 1,5 від товщини фланця (у зоні сполучення з фланцем);
- ухил для прибутків висотою до 150 мм - до 10 °, для прибутків висотою більше 150 мм – 6...7 °.

Виходячи з цього, визначаємо розміри прибутку:

Діаметр бічних вузлів виливки – 500 мм;

Ширина прибутку $500 * 0,8 = 400$ мм;

Товщина прибутку (під підставою) $52 * 1,2 = 62,4$ мм; висота прибутку $500 * 0,6 = 300$ мм;

Маса прибутку була визначено в програмі Solid Works по вибраним розмірам, і вага її становила 78,28 кг;

Діаметр середньої частини виливка – 414 мм;

Ширина прибутку $414 * 0,5 = 207$ мм;

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Товщина прибутку $414 * 1,2 = 496,8$;

Висота прибутку $414 * 0,6 = 248,4$ мм

Маса була визначена у програмі Solid Works за обраними розмірами, і вага її склала 114,73 кг;

Маса літниково-живильної системи 50,43 кг;

Металоемність виливки становить:

$$G = G_{\text{п}} + G_{\text{л}} + G_{\text{о}}$$

$$G = 78,28 * 3 + 114,73 + 300 + 50,43 = 700 \text{ кг}$$

Технологічний вихід придатного металу: $K = \frac{G_0}{G} 100 = \frac{300}{700} 100 = 42,75 \%$.

3.3 Моделювання ливникової системи.

Виливка з литниково-живильною системою, виконана в Solid Works, представлена рисунку 3.8.

Для визначення правильності розробленої литниково-живильної системи застосуємо програму моделювання «LVMFlowCV».

Застосування «LVMFlowCV» дозволяє:

- оптимізувати режими заливки сплаву та затвердіння виливки;-
- аналізувати процеси лиття при використанні різних матеріалів (вуглецеві сталі; леговані сталі; чавуни сірі, білі, ковкі та високоміцні; алюмінієві, титанові, бронзові, магнієві сплави, а також сплави на нікелевій та мідній основі та ін.)
- оптимізувати літникову систему.

Також «LVMFlowCV» суттєво прискорює дослідницьку роботу з проектування виливків, забезпечуючи хороший збіг результатів розрахунку з експериментальними даними.

Аналіз технологічного процесу виготовлення виливків у системі комп'ютерного моделювання ливарних процесів «LVMFlowCV» складається з наступних прийомів та етапів:

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Конвертація геометрії виливки у формат «LVMFlowCV».
 2. Створення розрахункової кінцево-об'ємної сітки.
 3. Завдання властивостей матеріалів.
 4. Завдання граничних умов.
 5. Розрахунок температурних полів.
 6. Контролює зміни розрахункових параметрів.
- Розрахунок напруг та деформацій у виливку.

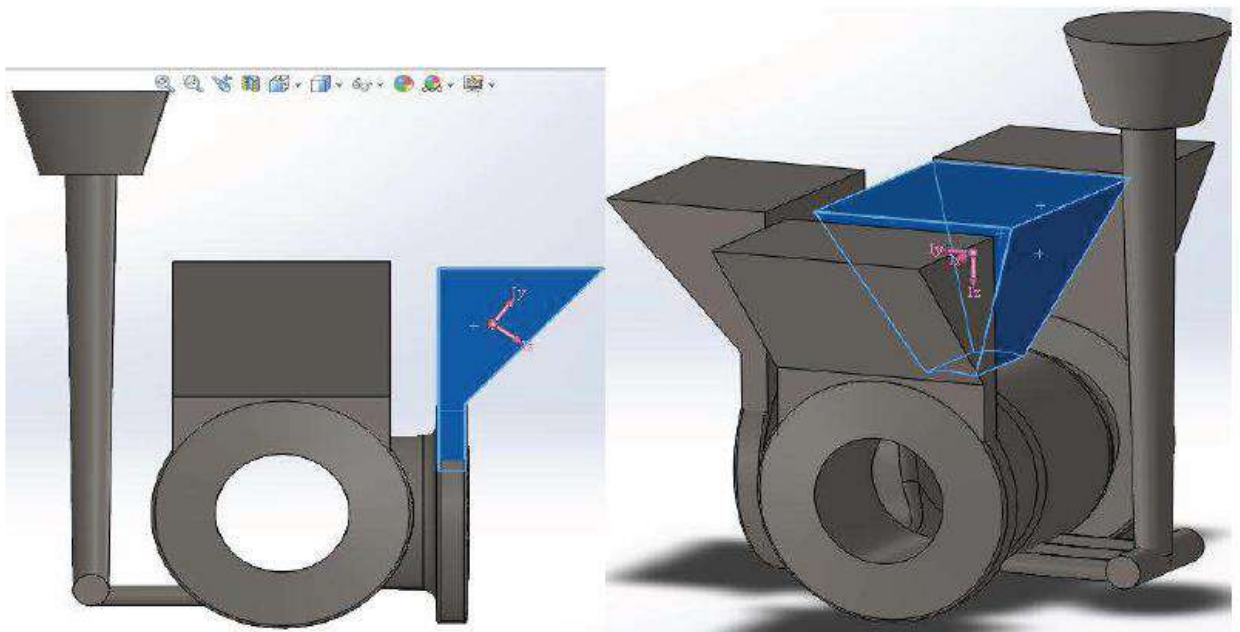


Рисунок 3.8 – Виливка з литниково-живильною системою, виконана в «Solid Works».

На рис. 3.9 наведено креслення виливки, з елементами литниково-живильної системи

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

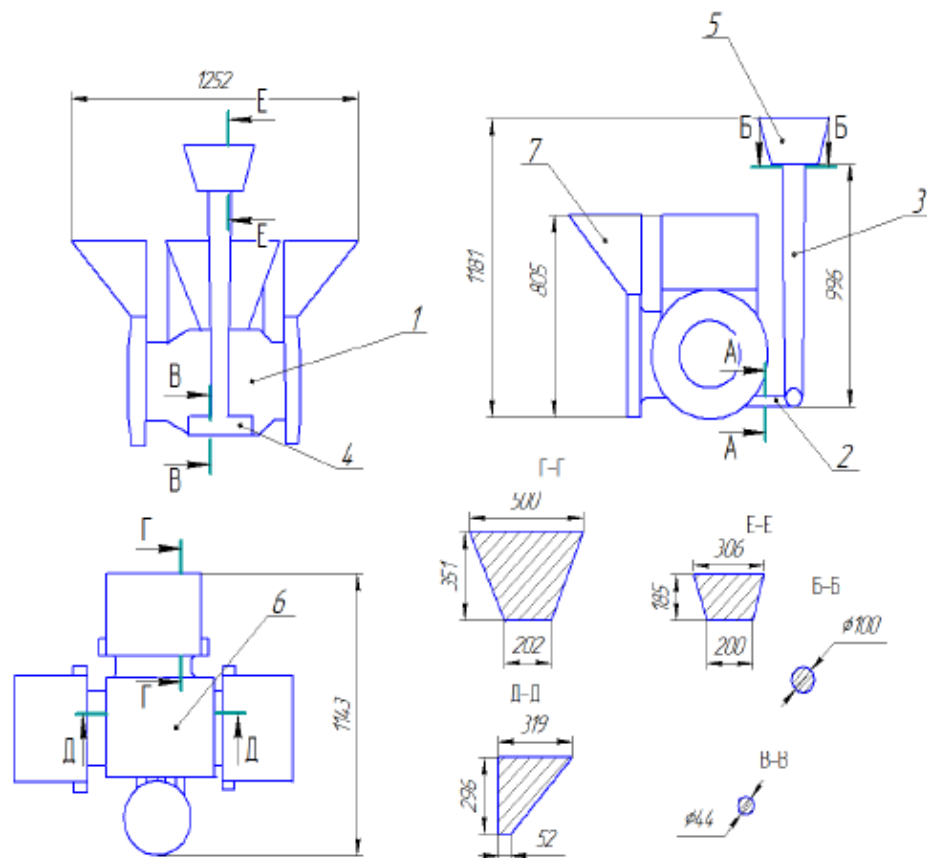


Рисунок 3.9 – Креслення вилівки, з елементами литниково-живильної системи.

Комп'ютерне моделювання дозволяє простежити всі процеси, які відбуваються в металі при заповненні форми, затвердінні та виникненні усадкових дефектів.

У «LVMFlowCV» є три розрахункові модулі: «Кристалізація», «Моделювання течії розплаву», «Повне завдання».

У модулі «Моделювання течії розплаву» моделюється заповнення форми розплавом, що розглядається як перебіг ідеальної рідини без урахування процесів теплопередачі.

У модулі «Кристалізація» форма спочатку вважається миттєво заповненою розплавом і моделюється процес затвердіння сплаву. В основі моделі лежить нерівноважна теорія кристалізації багатокомпонентного металу.

									Арк.
									71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 24.23606.000 ПЗ				

Одночасне моделювання процесів заповнення форми розплавом та його затвердіння здійснюється у модулі «Повне завдання».

За механізмом утворення виділяють два типи усадкових дефектів:

- 1) Макропористість (раковини);
- 2) мікропористість.

Мікропористість утворюється при нестачі тиску нижче за дзеркало в області теоретично достатнього живлення. Падіння тиску в глибині зони з формально хорошими умовами живлення відбувається з таких причин: велика об'ємна усадка, утруднений рух рідкого металу у твердорідкій зоні, ізоляція від зовнішнього тиску при формуванні твердої фази на межі застосування тиску.

Макропористість утворюється при нестачі живлення вище за дзеркало розплаву, коли відсутня необхідний його обсяг для компенсації усадки. Для прогнозування макропористості моделюється виникнення та рух дзеркала розплаву. Переміщення дзеркала обумовлено об'ємною усадкою, яке виникнення відбувається через формування при затвердінні ізолюваних один від одного обсягів розплаву.

Для виконання етапу попереднього моделювання у програмі «SolidWorks» було створено кілька варіантів виливків, щоб на стадії моделювання перевірити, який із варіантів (розміщення виливків у формі, технологічних факторів) є найбільш підходящим [22].

Результати моделювання, наведені на рисунку 3.10, показують, у яких місцях можливе утворення дефектів усадочного характеру.

За цим зображенням можна провести аналіз дефектів у виливку. Є види виливки збоку, зверху, спереду та в ізометрії. Всі види є рентгенівської прозорості, і всі дефекти проєктуються на даний вид. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що виливок є непридатним, оскільки вміст дефектів досить великий. Необхідно проводити нове дослідження.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

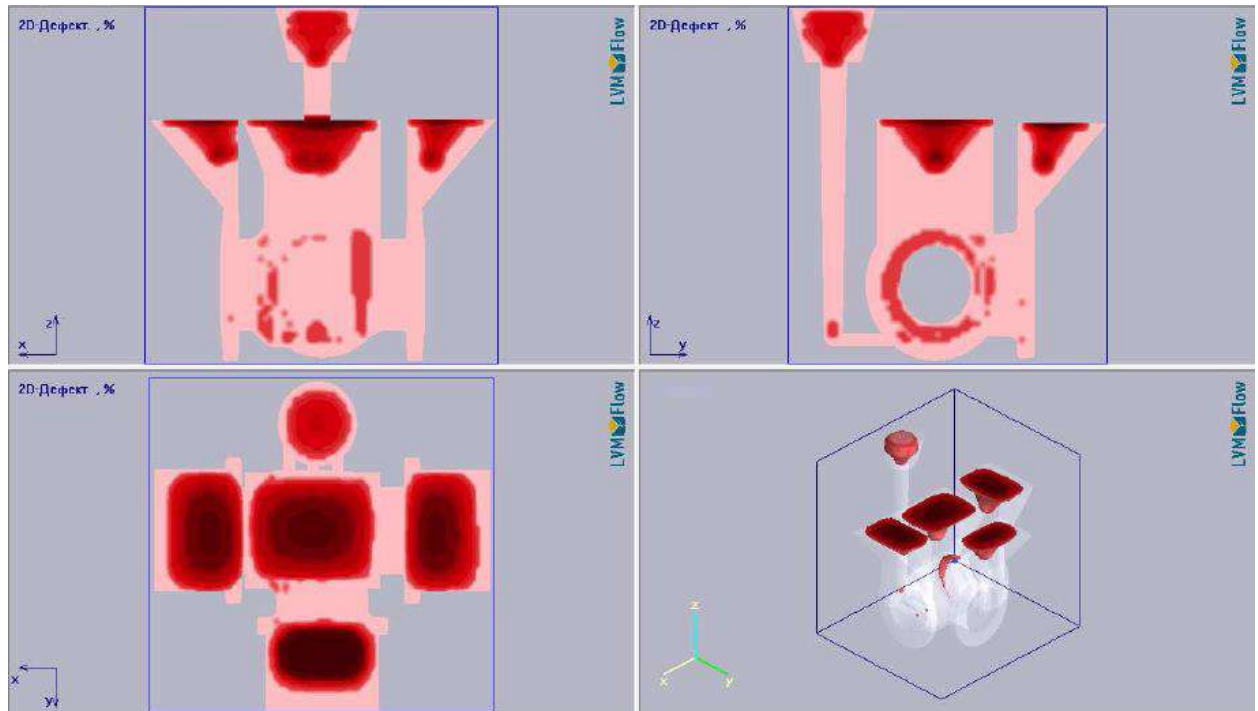


Рисунок 3.10 – Результат моделювання розробленої літничково-живильної системи

Виходячи з цього, визначаємо нові розміри прибутку:

Діаметр бічних вузлів виливки – 500 мм;

Ширина прибутку $500 * 0,9 = 450$ мм;

Товщина прибутку (під підставою) $52 * 1,5 = 78$ мм; Висота прибутку $500 * 0,7 = 350$ мм;

Вага прибутку була побудована в програмі «Solid Works» по обраним розмірам, і становила 85,91 кг;

Діаметр середньої частини виливка – 414 мм; Ширина прибутку $414 * 0,6 = 248$ мм; Товщина прибутку $414 * 1,3 = 538$; Висота прибутку $414 * 0,7 = 290$ мм.

Вага була побудована в програмі «Solid Works» по обраним розмірам, і становила 116,43 кг;

Вага літничково-живильної системи 75,43 кг;

Металоемність виливки складає: $G = G_{\text{п}} + G_{\text{л}} + G_{\text{о}}$

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

$$G = 85,91 * 3 + 116,43 + 300 + 75,43 = 749,6 \approx 750 \text{ кг}$$

Технологічний вихід придатного матеріалу: $K = \frac{G_0}{G} 100 = \frac{300}{750} 100 = 40 \%$.

Виливка з літничково-живильною системою, виконана в «Solid Works», представлена на рис. 3.11 [22].

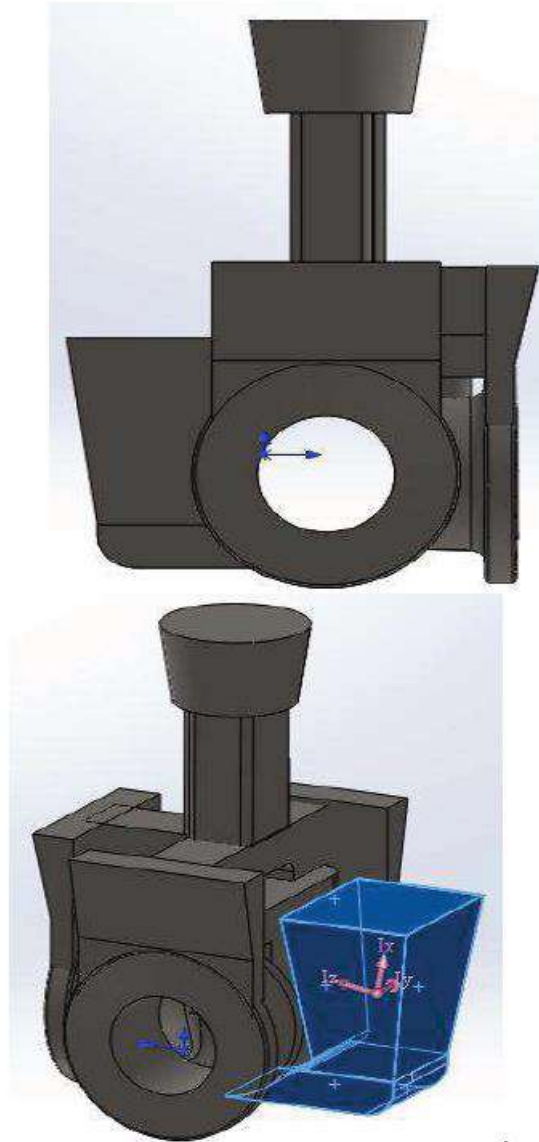


Рисунок 3.11 – Виливка з литничково-живильною системою, виконана в «Solid Works».

На рис. 3.12 показане креслення виливки з новою литничково-живильною системою.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

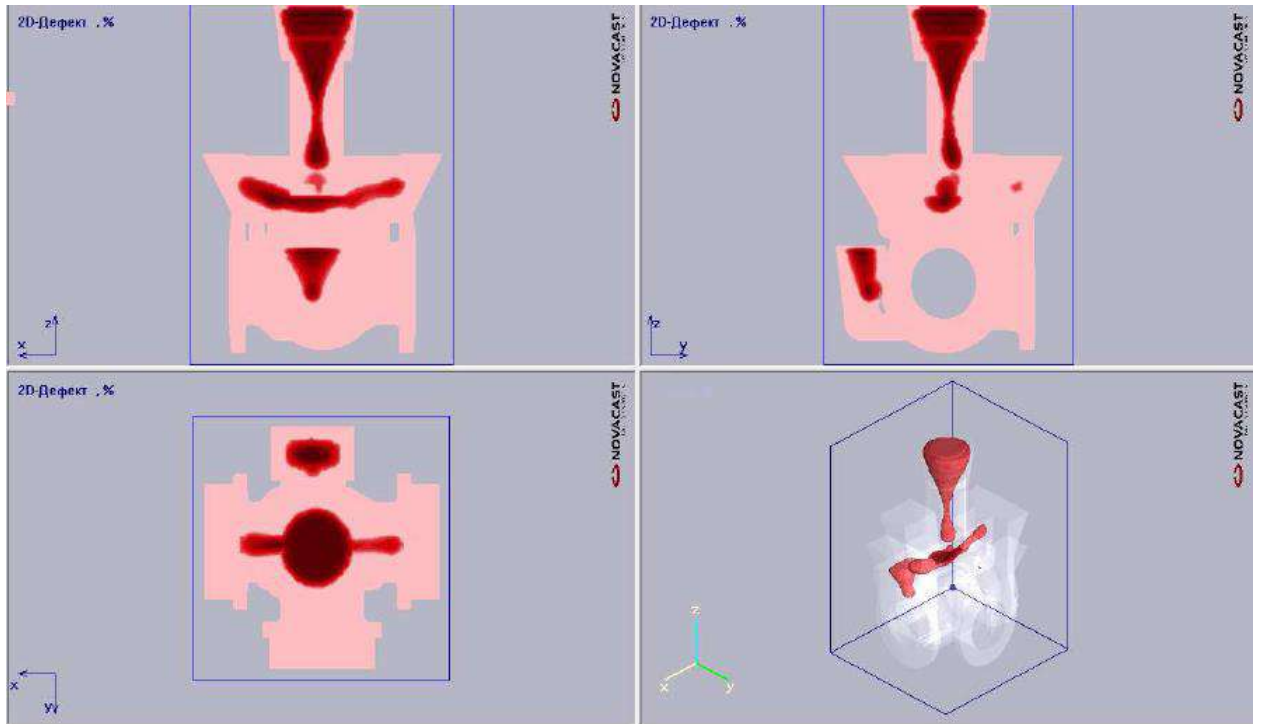


Рисунок 3.13 – Підсумковий результат моделювання.

Отриманий результат можна використовувати для виготовлення оснастки та підбору технологічного обладнання.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

4 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ

4.1 Технологічні операції та устаткування.

Розроблена схема технологічного процесу виготовлення виливків корпусу клапана наведена на рисунку 4.1. Необхідно виконати вибір технологічного устаткування з врахуванням отриманих даних в розділі 3.

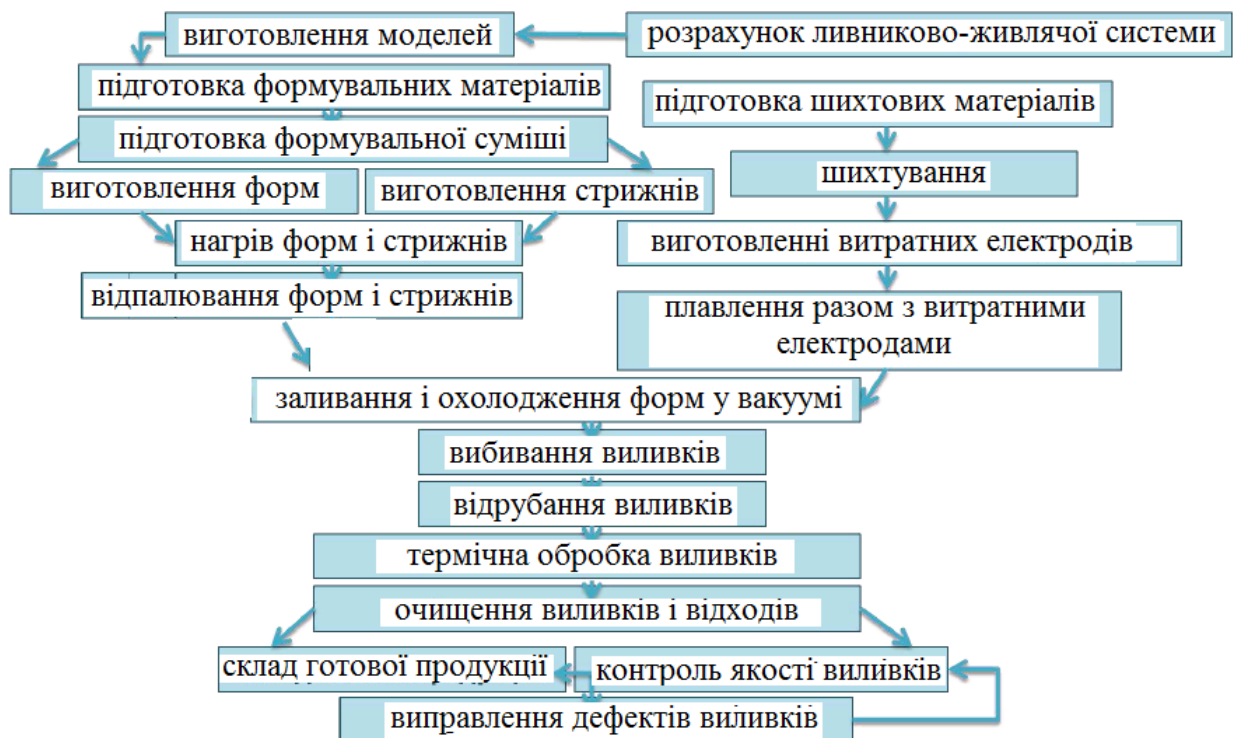


Рисунок 4.1 – Схема технологічного процесу виготовлення виливків "корпус клапана"

Виходячи з отриманої металоємності та характеристик плавильних печей, вибираємо вакуумно-дугову піч «Consarc» VAR-24, представлену на рисунку 4.2. Вибір цієї печі обумовлюється тим, що вона має достатню ємність тигля та відповідає необхідній потужності. Печі «Consarc» VAR доступні в стандартних моделях, технічні характеристики яких наведено в таблиці 4.1 [21].

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики печей «Consarc» VAR

Параметр	VAR 24	VAR 28	VAR 36	VAR 42
Максимальна вага злитку, т	6	9	16	27
Максимальний діаметр тигля, мм	610	711	914	1057
Керована потужність, кВт	12-15	15-20	20-25	25-30
Діаметр фланця тигля, мм	914	1117	1257	1524
Максимальний хід головки, мм	1270	1270	1270	1270
Максимальний хід штоку, мм	1778	1778	1778	1778

Деякі особливості сучасної печі «Consarc» VAR:

1) Однорідність розплаву завдяки коаксіальному дизайну: печі «Consarc» забезпечують коаксіальні шляхи струму, які замикають електричне коло струму катод-анод.

2) Контроль якості за допомогою позиціонування електрода по осі X-Y: дистанційний перегляд екрана та регульований електрод, позиціонування використовується для досягнення та підтримки центрування всередині тигля.

3) Точний контроль розплавлення за допомогою тензодатчиків: ці високоточні датчики постійно контролюють вагу електрода протягом усього процесу плавлення. Підтримуються оптимальні умови плавлення автоматизованою системою керування.

4) Постійна продуктивність від електрода до злитка завдяки гарячій начинці на основі тензодатчиків: «Consarc» включає процес гарячого доповнення в кінці циклу плавлення. Це підвищує відтворюваність і є повністю автоматизованим, усуваючи необхідність втручання оператора.

5) Простота експлуатації завдяки повній автоматизації: після того, як оператор ініціює розплавлення VAR, процес повністю автоматизований до завершення гарячого верху.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

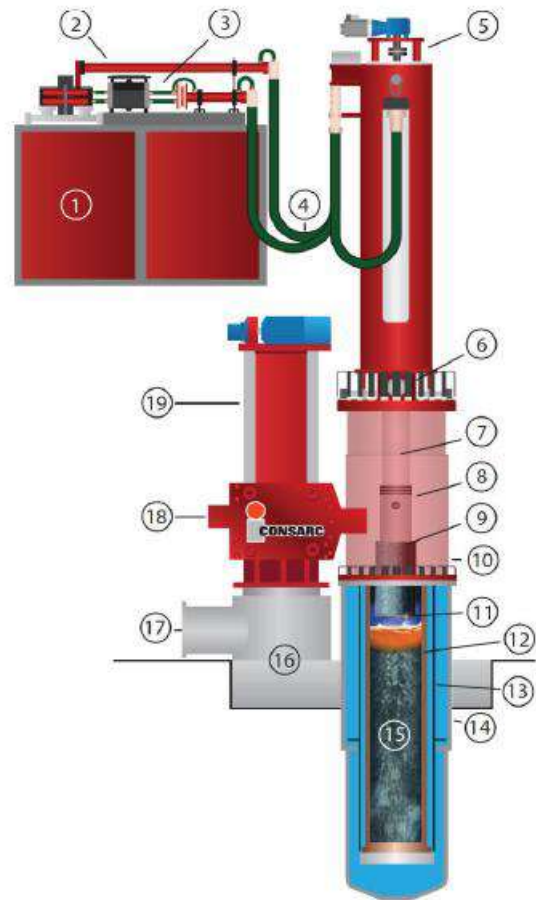


Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд і схема печі «Consarc» VAR:

1. Джерело живлення постійного струму, 2. Вихідна шина, 3. Регулятор напруги, 4. Проводи живлення, 5. Одномоторний привід, 6. Навантажувальні балки, 7. Барабан, 8. Заглушка, 9. Електрод, 10. Вакуумна камера, 11. Дугова зона, 12. Тигель, 13. Подача високошвидкісної води, 14. Водяна сорочка, 15. Виливок, 16. Каркас коробки, 17. Вакуумні трубопроводи, 18. Каретка підйомної головки, 19. Підйомна головна колона.

б) Надійність, гарантована власним джерелом живлення (на основі реактора або тиристора): конструкції «Consarc» відповідають джерелам живлення відповідно до точних вимог конкретного застосування плавлення. Джерело живлення VAR – це міцне джерело живлення постійного струму з водяним охолодженням.

									Арк.
									79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 24.23606.000 ПЗ				

Змішувач періодичної дії ливарний чашковий катковий «Б-1110», представлений на рисунку 4.3. Він призначений для приготування формувальної суміші за ПГС процесом. В основі принципу дії змішувача лежить переміщення вертикальних катків по шару суміші та перемішування цієї суміші плужками, що обертаються з заданою швидкістю. Даний тип змішувача забезпечує однорідність суміші без наявності грудок. Цикл перемішування складає 5...10 хвилин.



Рисунок 4.3 – Катковий змішувач ливарний «Б-1110».

Для виготовлення виливків із сплаву на основі титану марки ВТЗ-1Л обраний спосіб лиття у графітові форми. Вибір заснований на досвіді фірми «ATI Wah Chang», (Allegheny Technologies Company Albany), яка рекомендує при металоємності 1300 фунтів і більше застосовувати саме такий спосіб виготовлення форм.

Для випалу готових форм застосовується контейнер, представлений на рисунку 4.4.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

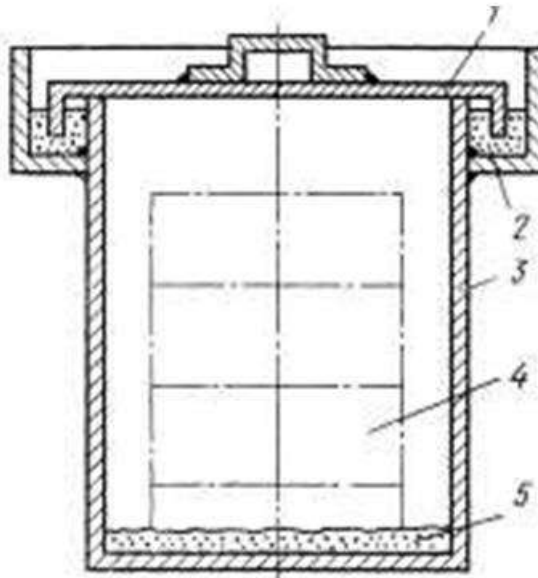


Рисунок 4.4 – Контейнер для випалення графітових форм:

1 - кришка контейнера; 2 - піщаний затвор; 3 - контейнер; 4 - форми; 5 - графітове засипання

Вибивні ґрати призначені для вибивання виливків із форм після заливання та витримки з подальшим руйнуванням форм. Для нашого варіанту підійде «ХТС L123» (рис. 4.5) з вагою завантаження 3000 кг та з розміром полотна 1900x2000мм. Вибивні ґрати оснащені двома вібродвигунами з потужністю 3,2 кВт.

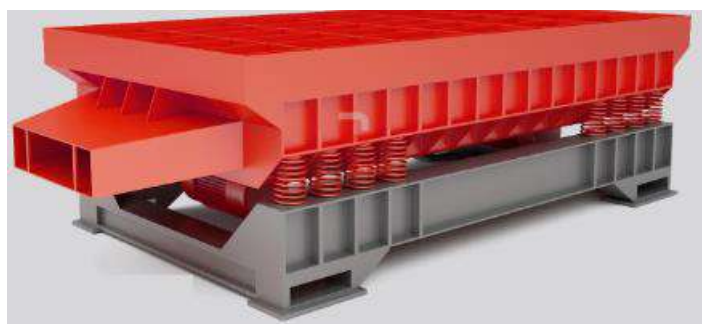


Рисунок 4.5 – Вибивні вібраційні ґрати «ХТС L123».

Обрізання прибутків та елементів литниково-живильної системи проводиться газовими різачками, що призводить до зміни структури металу в

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

місці різання. Для вирівнювання структури застосовується відпал виливків у термічних печах, таких як СДО. На рис. 4.6 представлена піч СДО-7.30.7/6 для термообробки виливків [20].



Рисунок 4.5 – Піч СДО для термообробки виливків.

Основними операціями очищення виливків є: видалення заток; очищення поверхонь виливків від пригорілої формувальної та стрижневої суміші; обрубвання та зачистка; видалення елементів литниково-живильної системи, у тому числі й прибутків. Для таких операцій оберемо піскоструминну камеру марки «Pulsar VI» (рис. 4.6), що ідеально підходить для видалення задирок, очищення та фінішної обробки поверхні виливків малого та середнього розміру. Кабіна «Pulsar VI» оснащена піскоструминним котлом на 40 літрів, циклонним сепаратором, піскоструминною насадкою з WC розміром 6 мм, системою фільтрів, що забезпечує максимальну економію матеріалу та безпечні умови праці.



Рисунок 4.6 – Піскоструминна камера «Pulsar VI».

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Комп'ютерне моделювання процесу кристалізації виливка «Корпус клапана» із застосуванням моделювання дозволило: відстежити в реальному часі зміну температурно-фазових полів процесу кристалізації; виявити місця появи та процес утворення дефектів; отримати дані щодо розподілу потоку рідкого металу та руху шлакових частинок у виливку; сформувавши рекомендації щодо оптимізації ЛЖС;

Таким чином, була забезпечена можливість у найкоротші терміни провести оптимізацію литниково-живильної системи без проведення доопрацювання модельного оснащення, заливки та механічної обробки деталі, а тривалість процесу розробки технології отримання придатних виливків з вибором необхідного технологічного обладнання скоротити у 6..8 разів.

У ході роботи були вивчені властивості титанових сплавів, що мають високу питому міцність, а також особливості коефіцієнта використання матеріалу, шляхи його збільшення. Здійснено розрахунок литниково-живильної системи, який було перевірено використанням програми LWMFlowCV, визначено вихід придатного і, виходячи з цього зроблено вибір плавильної печі та технологічного обладнання. Здійснено розрахунок розрахунків норм витрати шихтових матеріалів, що забезпечують необхідний хімічний склад та вихід придатного сплаву ВТЗ-1Л.

Використання програми «LVMFlowCV» дозволяє технологу-ливарнику візуалізувати процеси, що відбуваються при формуванні виливка, оперативно вносити зміни в технологію, оптимізувати литниково-живильну систему і забезпечити отримання виливки необхідної якості, що дозволяє досить тривалий час експлуатувати клапани в умовах агресивних середовищ і високих тисків [22].

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Розрахунки норм витрати основних матеріалів.

Розглянемо титановий метал ВТЗ-1Л. Щоб зробити розрахунки, необхідно встановити вихідні дані. Вихідні дані представлені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Вихідні дані для розрахунку металозавалки.

№	Дані	%	кг
1	Вихід придатного металу	40	1000
2	Угар	0,5	12,5
3	Брак	5	125
4	Безповоротні втрати	1	25
5	Скрап	1	25
6	Литники та прибутки	52,5	1312,5
	Разом:	100	2500

Для початку, нам необхідно зробити розрахунок шихти для витратного електроду, таблиця 4.3 [19].

Таблиця 4.3 – Розрахунок шихти для витратного електроду.

Шихтові матеріали	Вміст в шихті, %	Хімічний склад, %											
		Al		Ti		Cr		Si		Mo		Fe	
		В матер.	В шихті	В матер.	В шихті	В матер.	В шихті	В матер.	В шихті	В матер.	В шихті	В матер.	В шихті
ТГ100 (титан)	88,62			99,9	88,53			0,01	0,01			0,06	0,05
АД000	6,28	99,68	6,26	0,02	0			0,15	0,01			0,15	0,01
МЧ	2,59							0,01	0	99,98	2,59	0,01	0
Х99	1,43	0,5	0,01			99,0	1,42	0,2	0			0,5	0,01
ФС20	0,8	1,0	0,01			0,8	0,01	21,0	0,17			77,2	0,62
Всього	99,72		6,28		88,53		1,42		0,19		2,59		0,69

Перші плавки проводяться без повернення, так як його потрібно накопичити, тому виконаємо наступний розрахунок шихти на свіжих матеріалах і витратному електроді, таблиця 4.4.

Таблиця 4.4 – Розрахунок шихти на свіжих матеріалах і витратному електроді.

Шихтові матеріали	Вміст в шихті, %	Хімічний склад, %											
		Al		Ti		Cr		Si		Mo		Fe	
		В матер.	В шихті	В матер.	В шихті	В матер.	В шихті	В матер.	В шихті	В матер.	В шихті	В матер.	В шихті
ТГ100 (титан)	57,6			99,9	57,54			0,01	0,01			0,06	0,03
АД000	4,09	99,68	4,08	0,02	0			0,15	0,01			0,15	0,01
МЧ	1,68							0,01	0	99,98	1,68	0,01	0
Х99	0,93	0,5	0			99,0	0,92	0,2	0			0,5	0,01
ФС20	0,52	1,0	0,01			0,8	0	21,0	0,11			77,2	0,4
Електрод	35,0	6,28	2,2	88,53	30,99	1,42	0,5	0,19	0,07	2,59	0,91	0,69	0,24
Всього	99,82		6,28		88,53		1,42		0,19		2,59		0,69

Після того як повернення накопичилося, працюємо по основному розрахунку шихти на електроді, поверненні та ломі, результати в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Розрахунок шихти на витратному електроді, поверненні та брухту.

Шихтові матеріали	Вміст в шихті, %	Хімічний склад, %											
		Al		Ti		Cr		Si		Mo		Fe	
		В матер.	В шихті	В матер.	В шихті	В матер.	В шихті	В матер.	В шихті	В матер.	В шихті	В матер.	В шихті
Електрод	35,0	6,28	2,2	88,53	30,99	1,4	0,49	0,19	0,07	2,59	0,91	0,69	0,24
Повернення	59,0	6,28	3,71	88,53	52,23	1,4	0,83	0,19	0,11	2,59	1,53	0,69	0,41
Відходи	6,0	6,28	0,38	88,53	5,31	1,4	0,08	0,19	0,01	2,59	0,16	0,69	0,04
Всього	100		6,28		88,53		1,4		0,19		2,59		0,69

Визначення норми витрат матеріалів представимо у вигляді таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Норми витрати для електрода

№	Найменування та марка	Норма витрат	
		%	кг
1	ТГ100 (титан)	88,62	2215,50
2	ФС20	0,80	20,00
3	АД000	6,28	157,00
4	Х99	1,43	35,75
5	МЧ	2,59	64,75
Всього		99,72	2493,00

Таблиця 4.7 – Норми витрати для варіанту шихти на свіжих матеріалах і витратному електроді.

№	Найменування та марка	Норма витрат	
		%	кг
1	ТГ100 (титан)	57,6	1440,0
2	Електрод	35,0	875,0
3	МЧ	1,68	42,0
4	АД000	4,09	102,25
5	ФС20	0,52	13,0
6	Х99	0,93	23,25
Всього		99,82	2495,5

Таблиця 4.8 – Норми витрати для варіанту шихти на витратному електроді, ломі і поверненню.

№	Найменування та марка	Норма витрат	
		%	кг
1	Електрод	35,0	875,0
2	Відходи	6,0	150,0
3	Повернення	59,0	1475,0
Всього		100,0	2500,0

Таки чином ми отримали витрати шихтових матеріалів, що забезпечують необхідний хімічний склад та вихід придатного сплаву ВТЗ-1Л.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

ВИСНОВКИ

1) Виконаний аналіз властивостей титанових сплавів, що мають високу питому міцність, а також особливості коефіцієнта використання матеріалу та шляхи його збільшення.

2) Здійснено розрахунок литниково-живильної системи, а також, використовуючи програму «LWMFlowCV», проведено зміни, що усувають дефекти у виливку корпусу зворотного клапану пневмо підвіски автомобіля.

3) Методом виготовлення форми вибрано суміш для виготовлення форми, обладнання для сушіння та прокалки, виконано розрахунок норм витрати шихтових матеріалів, що забезпечують необхідний хімічний склад та вихід придатного сплаву ВТЗ-1Л.

4) Комп'ютерне моделювання процесу кристалізації виливка «Корпус клапана» із застосуванням моделювання дозволило: відстежити в реальному часі зміну температурно-фазових полів процесу кристалізації; виявити місця появи та процес утворення дефектів; отримати дані щодо розподілу потоку рідкого металу та руху шлакових частинок у виливку; сформулювати рекомендації щодо оптимізації литниково-живильної системи.

5) Виконано розрахунок норм витрати шихтових матеріалів, що забезпечують необхідний хімічний склад та вихід придатного сплаву ВТЗ-1Л.

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ахонін С.В. Тенденції розвитку спеціальної електromеталургії титану в Україні (за матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 13 березня 2019 року). Вісн. НАН України. 2019. № 6. С. 28-36. URL: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/158196>
2. Матеріалознавство : навч. посіб. / В.І. Бузило, В.П. Сердюк, А.В. Яворський, О.А. Гайдай / М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2021. – 243 с . ISBN 978–966–350–756–9
3. Матеріалознавство та технологія металів : підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти / А.М. Власенко. – Київ : Літера ЛТД, 2019. – 224 с. ISBN 978-966-945-125-5
4. TITANIUM 2008: development of international titanium industry, preparation technology and applications / B. Liu, Y. B. Liu, X. Yang, Y. Liu // Mater. Sci. Eng. Pow. Metall. – 2008. – 14(2). – P. 67–73.
5. H. Liu, M. Niinomi, M. Nakai, J. Hieda, K. Cho Changeable Young's modulus with large elongation-to-failure in β -type titanium alloys for spinal fixation applications Scripta Mater., 82 (2014), pp. 29–32
6. T. Grosdidier, C. Roubaud, M.J. Philippe, Y. Combres The deformation mechanisms in the β -metastable β -cez titanium alloy Scripta Mater., 36 (1997), pp. 21–28.
7. Leyens C. Titanium and titanium alloys. Fundamentals and applications / C. Leyens, M. Peters. – Wiley–VCH, Germany, 2003. – 513 p.
8. Williams, J.C.; Boyer, R.R. Opportunities and Issues in the Application of Titanium Alloys for Aerospace Components. Metals 2020, 10, 705
9. Zhang, C.; Lian, Y.; Chen, Y.; Sun, Y.; Zhang, S.; Feng, H.; Zhou, Y.; Cao, P. Hot Deformation Behavior and Microstructure Evolution of a TiB_w/Near α -Ti Composite with Fine Matrix Microstructure. Metals 2019, 9, 481

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Yan, B.; Li, H.; Zhang, J.; Kong, N. The Effect of Initial Annealing Microstructures on the Forming Characteristics of Ti–4Al–2V Titanium Alloy. *Metals* 2019, 9, 576

11. Traini T. Direct laser metal sintering as a new approach to fabrication of an isoelastic functionally graded material for manufacture of porous titanium dental implants / T. Traini, C. Mangano, R.L. Sammons // *Dental Materials*. – 2008. - 24(11). – P.P. 1525-1533

12. Venkatesh, V.; Noraas, R.; Pilchak, A.; Tamirisa, S.; Calvert, K.; Salem, A.; Broderick, T.; Glavicic, M.G.; Dempster, I.; Saraf, V. Data Driven Tools and Methods for Microtexture Classification and Dwell Fatigue Life Prediction in Dual Phase Titanium Alloys. In *Proceedings of the 14th World Conference on Titanium, Nantes, France, 10–14 June 2019; Volume 321, p. 11091.*

13. Електросталеплавильні печі та установки спеціальної електрометалургії. Електронний ресурс: <https://kema.at.ua/book1.html>. Дата звернення 12.12.2024 р.

14. Ремізов Г.О., Готвянский Ю.Я., Нікітін Д.О. Індукційні процеси в спеціальній металургії. / Г.О.Ремізов, Ю.Я. Готвянський, Д.О. Нікітін. Навч.посібн. Київ. НТУУ «КПІ», 2014, –254с.

15. Чернега Д.Ф., Богушевський Б.С., Готвянский Ю.Я. Основи металургійного виробництва металів і сплавів. Підручник /Д.Ф. Чернега, Б.С. Богушевський, Ю.Я. Готвянский/– К.: Вища шк., 2006. –503с.

16. Шаповалов В.А., Шейко І.В., Ремізов Г.О. Плазмові процеси та устаткування в металургії, за ред.акад.Б.Е.Патона/ В.А.Шаповал, І.В. Шейко, Г.О.Ремізов. – К.: «Хімджест», – 2012.– 384с

17. Зворотній клапан компресора. Електронний ресурс: <https://ukraine-metal.com.ua>. Дата звернення 12.12.2024 р.

18. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.

19. Ремізов Г.О. Вакуумно – дуговий переплав. Технологія та розрахунки / Г.О.Ремізов. Навч.посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2010, – 148с.

20. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: Навч. посібник / А.М. Верховлюк, А.В. Нарівський, В.Г. Могилатенко / За ред. академіка НАН України В.Л. Найдека. – К.: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. – 224 с.

21. Вакуумно-дугові печі : Методичний посібник / Козлов Г.О. - Нікополь: НТ НМетАУ, 2008. - 70 с.

22. Компютерна графіка SolidWorks: навч. посіб. / Козяр М.М., Фещук Ю.В., Парфенюк О.В. / Видавництво «Університетська книга», 2024. – 252 с . ISBN 978-966-289-191-1

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					МРТАМ 24.23606.000 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		