

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра

рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
(перший (бакалаврський) рівень)

на тему Технологічні особливості виробництва
сплавів із вугнної алюмінієвої сировини

Виконав: студент 4 курсу, групи Б.В69-мкм

Артемченко І.С.
(ІПБ)

[Підпис]
(підпис)

спеціальності

136 Металургія
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Металургія
(шифр і назва)

(шифр і назва)

Керівник Нестеренко Т.М.
(прізвище та ініціали)

[Підпис]
(підпис)

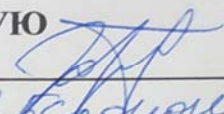
Рецензент Воляр Р.М.
(прізвище та ініціали)

[Підпис]
(підпис)

Запоріжжя - 2023 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
 ім Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
перший (бакалаврський) рівень)
 Спеціальність 136 Металургія
(шифр і назва)
 Освітньо-професійна програма Металургія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри 
О.О. Верховський
 “ 29 ” 12 2022 року

ЗАВДАННЯ
 НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

- Антименко Ярослав Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема проекту (роботи) Технологічні ходи вості виробництва сплавів із вторинної алюмінієвої сировини
- керівник роботи (проекту) Местеренко Тетяна Миколаївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом вищого навчального закладу від “29” грудня 2022 року № 1893-с
2. Строк подання студентом роботи (проекту) 16.06.2023
3. Вихідні дані до роботи (проекту) Вторинна алюмінієва сировина складається з 36% брухту, 12% відходів, 34% стружки, 18% шлаку. Алюмінієвий сплав АЛ10В.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Резюме. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Конструкційна частина. Охорона праці та техногенна безпека. Висновки. Перелік джерел використаних

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
 Креслення, презентаційний матеріал 10 слайдів (на 10 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Загальна частина	Местеренко Т.М., доцент	<i>Меш</i> 19.06.2023
Механологічна частина	Местеренко Т.М., доцент	<i>Меш</i> 19.06.2023
Конструкційна частина	Местеренко Т.М., доцент	<i>Меш</i> 19.06.2023
Воронок праці та технологічна безпека	Местеренко Т.М., доцент	<i>Меш</i> 19.06.2023
Нормоконтроль	Балоконь Ю.О., завідувач кафедри	<i>Бал</i> 19.06.23

7. Дата видачі завдання 29.12.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	12.06 - 18.06.2023	Виконано
2	Резюме	12.06 - 18.06.2023	Виконано
3	Загальна частина	15.05 - 21.05.2023	Виконано
4	Механологічна частина	22.05 - 28.05.2023	Виконано
5	Конструкційна частина	29.05 - 04.06.2023	Виконано
6	Воронок праці та технологічна безпека	05.06 - 11.06.2023	Виконано
7	Висновки	12.06 - 18.06.2023	Виконано

Студент

АТ

(підпис)

Арт. менко І.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

Меш

(підпис)

Т.М. Местеренко

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 68 с., 23 табл., 5 рис., 17 джерел.

БРУХТ, ВТОРИННА АЛЮМІНІЄВА СИРОВИНА, ПЛАВЛЕННЯ, КОРОТКОБАРАБАННА ПІЧ, ТЕХНОЛОГІЯ, ФЛЮС, ШИХТА.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Технологічні особливості виробництва сплавів із вторинної алюмінієвої сировини.

Мета роботи – вивчити особливості та розробка технології виплавки сплаву АЛ10В із вторинної алюмінієвої сировини.

У розділі “Загальна частина” надано класифікацію та характеристику алюмінієвих сплавів, проаналізовано способи їх виплавки із вторинної алюмінієвої сировини, класифікацію вторинної алюмінієвої сировини. Проаналізовано переробку алюмінієвих виробів, використаних у будівництві та транспорті, описано теоретичні основи і технологічні особливості плавлення вторинної алюмінієвої сировини.

У розділі «Технологічна частина» розроблено технологічну схему виробництва сплаву АЛ10В, здійснено вибір плавильних печей для плавлення вторинної алюмінієвої сировини, описано основні операції переробки вторинної алюмінієвої сировини та технологію її плавлення для виробництва сплаву АЛ10В. Виконано розрахунок шихти для виплавки сплаву АЛ10В із вторинної алюмінієвої сировини і складено матеріальний баланс виплавки сплаву АЛ10В. Визначено витратні коефіцієнти для сировини і матеріалів.

У розділі «Конструкційна частина» описано конструкцію і принцип дії шахтної і короткобарабанної плавильних печей. Виконано конструктивний розрахунок короткобарабанної печі та розрахунок теплового балансу процесу виплавлення сплаву АЛ10В.

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» проаналізовано шкідливі та небезпечні виробничі фактори процесу періодичної обробки та плавлення вторинної алюмінієвої сировини. Розроблено заходи щодо поліпшення умов праці.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Загальна частина.....	9
1.1 Класифікація та характеристика алюмінієвих сплавів.....	9
1.2 Способи виплавки алюмінієвих сплавів із вторинної сировини.....	12
1.3 Характеристика та переробка вторинної алюмінієвої сировини	14
1.3.1 Класифікація вторинної алюмінієвої сировини.....	14
1.3.2 Переробка алюмінієвих виробів, використаних у будівництві та транспорті.....	16
1.4 Теоретичні основи та технологічні особливості плавлення вторинної алюмінієвої сировини.....	20
1.4.1 Теоретичні основи плавлення вторинної алюмінієвої сировини	20
1.4.2 Технологічні особливості плавлення вторинної алюмінієвої сировини.....	22
2 Технологічна частина.....	25
2.1 Технологічна схема виробництва сплаву АЛ10В.....	25
2.1.1 Основні операції переробки вторинної алюмінієвої сировини на алюмінієві сплави.....	25
2.1.2 Видове сортування вторинної алюмінієвої сировини.....	26
2.1.3 Розбирання вторинної алюмінієвої сировини.....	28
2.1.4 Підготовка шихти. Шихтування.....	30
2.2 Опис технології виплавки сплаву АЛ10В із вторинної алюмінієвої сировини.....	31
2.3 Розрахунок шихти для виплавки сплаву АЛ10В із вторинної алюмінієвої сировини.....	35
2.4 Складання матеріального балансу плавки вторинної алюмінієвої сировини для одержання сплаву АЛ10В.....	42
3 Конструкційна частина.....	46
3.1 Конструкція та принцип дії плавильних печей.....	46

3.2 Конструктивний розрахунок короткобарабанної печі.....	48
3.3 Матеріальний баланс горіння палива.....	51
3.4 Розрахунок теплового балансу короткобарабанної печі.....	53
4 Охорона праці та техногенна безпека.....	59
4.1 Шкідливі та небезпечні фактори виробничого середовища під час виробництва сплавів із вторинної алюмінієвої сировини.....	59
4.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів виробничого середовища.....	63
Загальні висновки.....	66
Перелік джерел посилання.....	67

ВСТУП

Алюміній є другим із металів, що найбільш широко використовують сьогодні у світі. Через його високу хімічну активність він не зустрічається у природі у вільному стані і досить важко піддається вилученню з руд і мінералів. Промислову технологію його отримання створено близько століття тому. Обсяги його промислового виробництва постійно збільшуються внаслідок зростання попиту на вироби з алюмінію та сплавів на його основі [1].

Завдяки цінному комплексу механічних, фізичних, корозійних властивостей, технологічності своїх сплавів та здатності до повторної переробки алюміній та сплави на його основі є основним конструкційним матеріалом для транспортного машинобудування, авіації та у будівництві.

Переваги легкого алюмінію набувають все більшого значення для суспільства, яке прагне до поступового зниження негативного впливу на навколишнє середовище при транспортуванні людей і товарів, завдяки зниженню ваги самих транспортних засобів (літаків, автомобілів, інших машин) та ваги самих товарів. Ці екологічні мандати посилюються завдяки можливості повного рециклювання відпрацьованих виробів з алюмінію та сплавів на його основі [2].

Одним із сировинних ресурсів виробництва алюмінієвих сплавів є переробка вторинної алюмінієвої сировини, частка якої в загальному сировинному балансі кольорової металургії постійно збільшується.

Переробка вторинної алюмінієвої сировини для отримання алюмінієвих сплавів характеризується високими техніко-економічними показниками порівняно з первинною металургією алюмінію: низькі транспортні витрати, знижені питомі капітальні вкладення та питома витрата електроенергії, підвищений рівень рентабельності; зменшення забруднення навколишнього середовища металевими відходами та скорочення звалищ.

Аналіз сучасних тенденцій розвитку виробництва і застосування алюмінію та його сплавів показує, що поступово стираються відмінності між

первинним і вторинним металом, знімаються питання про походження сировини для отримання алюмінієвих сплавів: електролізний алюміній або вторинний алюміній. Отже, алюміній, який рециклують, стає важливішим матеріалом нового сторіччя.

Метою кваліфікаційної роботи баалавра є вивчення особливостей та розробка технології виплавки сплаву АЛ10В із вторинної алюмінієвої сировини.

Завдання кваліфікаційної роботи баалавра:

1. Проаналізувати джерела утворення та особливості різних видів вторинної алюмінієвої сировини.
2. Вивчити класифікацію та характеристику алюмінієвих сплавів.
3. Проаналізувати способи виплавлення сплавів із вторинної алюмінієвої сировини, їх технологічні особливості та розробити технологію виплавлення сплаву АЛ10В.
4. Вибрати і розрахувати плавильні печі для виплавки сплаву АЛ10В із вторинної алюмінієвої сировини. Описати конструкцію плавильних печей.
5. Розрахувати склад шихти і скласти матеріальний баланс процесу виплавки сплаву АЛ10В із вторинної алюмінієвої сировини.
6. Розрахувати тепловий баланс процесу
7. Виявити шкідливі і небезпечні фактори виробничого середовища під час виробництва сплавів із вторинної алюмінієвої сировини.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Класифікація та характеристика алюмінієвих сплавів

Класифікація алюмінієвих сплавів. Сплави, основними компонентами яких є алюміній, називають алюмінієвими. Для підвищення властивостей алюмінію до нього додають мідь, магній, манган, силіцій, цинк, берилій, титан та ін. Алюмінієві сплави за способом виготовлення заготовок і виробів поділяють на ливарні, деформівні та спечені сплави [1-3].

Алюмінієві ливарні сплави, призначені для виготовлення фасонних виливків, повинні мати такі властивості: високу рідкоплинність, малу схильність до утворення розсіяних усадкових порожнин і кристалізаційних тріщин. Хімічний склад і галузі застосування ливарних алюмінієвих сплавів досить різноманітні.

Залежно від вмісту основних компонентів ці сплави відповідно до ДСТУ 2839–94 (ГОСТ 1583–93) поділяють на п'ять груп [4]:

- а) на основі системи алюміній – силіцій – магній (АК12 (АЛ2), АК9, АК9ч (АЛ4), АК7, АК7ч (АЛ9) та ін.);
- б) на основі системи алюміній – силіцій – мідь (АК5М (АЛ5), АК5М2, АК5М7, АК9М2, АК12ММгН (АЛ30), АК12М2, АК12М2МгН (АЛ25) та ін.);
- в) на основі системи алюміній – мідь (АМ5 (АЛ19), АМ4,5Кд (ВАЛ10));
- г) на основі системи алюміній – магній (АМг5К (АЛ13), АМг6л (АЛ23), АМг10 (АЛ27) та ін.);
- д) на основі системи Алюміній–інші компоненти (АК7Ц9 (АЛ11), АК9Ц6 (АК9Ц6р), АЦ4Мг (АЛ24)).

Сплави першої групи частіше за інших застосовують для виготовлення виливков. Сплави системи алюміній – силіцій – магній мають кращі, порівнянно з іншими сплавами, ливарні властивості – малу лінійну усадку, добру рідкоплинність, не схильні до утворення тріщин при утрудненій усадці.

Найбільш шкідливою домішкою у сплавах першої групи є Ферум, який

утворює з компонентами сплаву потрібну β -фазу ($Al_xFe_ySi_z$), що кристалізується у формі грубих голкоподібних кристалів, які різко знижують пластичні властивості силумінів. Для нейтралізації шкідливого впливу Феруму до складу сплавів додають манган або кобальт [5].

Сплави другої групи. Сплави системи алюміній – силіцій – мідь широко використовують для виготовлення виливок з підвищеною міцністю і твердістю, що зберігають постійність розмірів в процесі експлуатації (корпуси приладів автомобільні і тракторні поршні, деталі двигунів повітряного охолодження). Сплави цієї групи жароміцніші, ніж сплави першої групи. Вони мають добру рідкоплинність, малу лінійну усадку, але більш схильні до утворення усадкової пористості та тріщин при утрудненій усадці, ніж сплави першої групи.

Сплави третьої групи. Сплави системи алюміній–мідь відрізняються високими механічними властивостями і низькою корозійною стійкістю, добре обробляються різанням. Маючи широкий інтервал кристалізації, ці сплави схильні до утворення усадкових тріщин і розсіяної усадкової пористості. Вони менш рідкоплинні, ніж сплави першої і другої груп. Для подрібнення зерен і підвищення механічних властивостей сплави легують манганом, титаном або Цирконієм.

Сплави четвертої групи. Сплави системи алюміній–магній відрізняються низькою щільністю, високими міцнісними властивостями і корозійною стійкістю, використовуються для виготовлення виливок, що несуть великі вібраційні навантаження. Ці сплави мають низькі ливарні властивості – низьку рідкоплинність, підвищену схильність до утворення усадкових тріщин і рихлості і до окислення, вступають у взаємодію з вологою ливарних форм. Для підвищення механічних властивостей і зниження виділення газів при кристалізації ці сплави легують цирконієм, а для захисту від загоряння до їх складу додають 0,02–0,2 % берилію.

Сплави п'ятої групи застосовують для виготовлення виливок з підвищеною стабільністю розмірів, що працюють при підвищених температурах і тисках, а також для виготовлення зварних конструкцій. Вони

мають складну багатофазну структуру, що визначає їх високу схильність до гарячих тріщин.

З деформівних сплавів методом напівбезперервного лиття виготовляють круглі й плоскі злитки, які піддають гарячій і холодній обробці тиском (прокатуванню, пресуванню, штампуванню, куванню тощо). Залежно від здатності зміцнюватися при гартуванні й наступному старінні деформівні алюмінієві сплави поділяють на термічно незміцнювані та термічно зміцнювані.

З вторинної алюмінієвої сировини виплавляють сплави трьох типів [1,5]:

- ливарні сплави за ДСТУ 2839–94 (ГОСТ 1583–93),
- вторинні деформівні сплави за ГОСТ 1131–76,
- сплави-розкислювачі за ДСТУ 3753–98 (ГОСТ 295–98).

До деформівних сплавів, що виготовляються із вторинної сировини, належить сплави АВД1, АВД1-1.

Вторинні деформівні сплави, так само, як і первинні, – це сплави на основі системи Al–Cu–Mg з добавками Mn. Від аналогічних первинних сплавів вони відрізняються тим, що в домішках допускається вищий вміст силіцію, цинку, феруму. Вони належать до групи дуралюмінів. Чушки цих сплавів використовують на заводах алюмінієвого прокату для підшихтування при виготовленні деформівних сплавів.

З низькосортної вторинної алюмінієвої сировини або з первинного алюмінію, забрудненого розчиненим ферумом, зазвичай виготовляють сплави-розкислювачі за ДСТУ 3753–98 (ГОСТ 295–98). Алюмінієві сплави-розкислювачі використовують для розкислення вуглецевих сталей, при виробництві феросплавів, металевого хрому, ванадієвих, титанових і кобальтових сплавів, які отримують методами алюмотермії.

Характеристика алюмінієвого сплаву АЛ10В. З вторинної алюмінієвої сировини виготовляють ливарні алюмінієві сплави, які за хімічним складом майже ідентичні сплавам, виготовленим із первинного алюмінію. Основна відмінність – підвищений вміст заліза та інших металевих домішок. Так, у

сплаві АЛ10В, виготовленому із вторинної алюмінієвої сировини, може міститися до 1,2 % Fe (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву АЛ10В за ДСТУ 2839-94

Масова частка основних компонентів, %			Масова частка домішок, % не більше			
Mg	Si	Cu	Mn	Zn	Zr	Fe
0,2–0,5	4,0–6,0	5,0–8,0	0,5	0,6	0,15	1,2

Сплав АЛ10В є ливарним алюмінієвим сплавом, виготовленим з вторинної сировини, належить до групи силумінів, тобто сплавів алюмінію з силіцієм і добавками міді, магнію та ін. Відходи виробництва, особливо стружка, містять велику кількість оксидів, вологи, мастила та інших неметалевих домішок. Тому ливарний сплав АЛ10В, виготовлений з вторинної сировини, порівняно зі сплавами на основі первинного алюмінію дещо більше забруднений оксидами, розчиненими газами.

Сплав АЛ10В є доєвтектичним алюмінієво-силіцієвим сплавом [4]. Сплав АК9М2 використовують як матеріал для поршней двигунів внутрішнього згоряння. Під час експлуатації поршні сприймають значні динамічні навантаження, що змінюються впродовж одного цикла за знаком і напрямом, при чому тиск газів, що впливають на поршень, може перевищувати 80 кгс/см². Тепер поршні автотракторних двигунів мають забезпечувати безаварійну роботу двигуна впродовж понад 6000 годин. Сплав має високі міцнісні характеристики, володіє порівняно високою теплопровідністю, яка дозволяє уникнути перегрівання поршня під час роботи; відрізняється порівняно добрими технологічними характеристиками.

1.2 Способи виплавки алюмінієвих сплавів із вторинної сировини

Для плавлення алюмінієвого брухту і відходів застосовують печі різноманітних конструкцій: полуменеві відбивні, шахтні, обертові короткобарабанні, індукційні тигельні і каналні та різновиди перелічених

типів, кожний з яких більше підходить для плавлення певного виду сировини. Наприклад, для плавлення чистих відходів (висічки, стружки), промислового і побутового брухту без залізних приробок підходять індукційні тигельні або обертові короткобарабанні печі. Полуменеві відбивні і шахтні печі пристосовані для плавлення великогабаритного брухту з залізними приробками [5-7].

Вибір доцільного методу і пристрою для виділення теплоти впливає на конструкцію, характер і економічність роботи печі. При виборі печей велике значення має місткість печі, що повинна відповідати обсягам виробництва, що гарантує безперебійну роботу агрегату, а також способи обігріву. Особлива увага приділяється вартості джерел енергії в районі будівництва цеху.

Вторинна алюмінієва сировина в багатьох випадках містить високий відсоток засміченості, до складу якої входять оксиди, неметалеві матеріали, механічно зв'язані з алюмінієм предмети з інших металів (чавуна, сталі, титану та ін.). Застосовувані методи підготовки шихти до плавлення не забезпечують повного очищення сировини від домішок. Для такої сировини застосовують печі, конструкції яких дозволяють просто, економічно, ефективно робити відокремлення цих домішок від алюмінію при плавленні. Важливе значення має вартість і строки окупності встановлюваних плавильних агрегатів. Також враховують розміри шкоди навколишньому середовищу, заподіяної в тій або іншій мірі при роботі печей. Заводи, розташовані в межах великих населених пунктів, краще обладнати електричними печами. Полуменеві відбивні печі слід встановлювати за умови ефективного газоочищення.

При виборі плавильного агрегату, крім відзначених характеристик, беруть до уваги величину к.к.д. печі. Виняткове значення має продуктивність печей, тому що втрати металу внаслідок окислювання зі збільшенням часу плавлення зростають. При високій продуктивності печі знижуються не тільки строки окупності капітальних затрат, але і витрати на амортизацію.

Всі плавильні печі поділяють за методом нагріву на паливні та електричні. До електрпечей належать електрпечі опору, індукційні каналні та тигельні

печі, дугові електропечі, плазмові печі та ін. До шихти для індукційних печей ставлять жорсткі вимоги за чистотою металу та розмірами кусків сировини.

Найбільшого поширення набули універсальні полуменеві відбивні печі, у яких плавлять будь-яку сировину: стружку, обрізь, літаковий і грудковий брухт із залізними приробками й ін. Вони мають високу продуктивність і прості в обслуговуванні. Недолік полуменевих відбивних печей – порівняно низький тепловий к.к.д.; відносно високі безповоротні втрати металу, що утворюються при плавлі; забруднення газів, що відходять, пилоподібною фракцією (хлоридами, оксидами), що вимагає значних витрат на газоочищення.

Для поліпшення показників роботи печей у даний час впроваджені або готуються до впровадження удосконалені конструкції. Наприклад, при глибокій ванні важко перемішувати метал. Цю операцію протягом плавки роблять кілька разів для вирівнювання хімічного складу і температури в об'ємі ванни, збільшення площі контакту з флюсами, що рафінують, підвищення швидкості розчинення тугоплавких легуючих добавок, ліквідації місцевого перегріву. Тому перспективне газодинамічне перемішування. У канал, що сполучається з ванною, подають під тиском азот, який відтискує метал у каналі на деяку глибину, потім при різкому зниженні тиску метал у трубі займає попередній рівень. Створені при цьому коливання всього об'єму металу забезпечують його інтенсивне перемішування у всій ванні.

1.3 Характеристика та переробка вторинної алюмінієвої сировини

1.3.1 Характеристика вторинної алюмінієвої сировини

Брухт і відходи кольорових металів та сплавів класифікують за назвою відповідних металів і сплавів. Брухт і відходи за характеристиками та показниками якості поділяють за видами. Вид брухту й відходів характеризують за характером його утворення, фізичним станом (кускові

відходи, стружка, паста тощо), габаритними розмірами, розміром і масою окремих кусків, за хімічним складом, засміченістю.

Брухт і відходи повинні відповідати установленим вимогам для певних видів. Брухт і відходи можуть відрізнятися за габаритними розмірами від установленим вимог, зазначених у ДСТУ 3211-2009, якщо це обумовлено між постачальником та споживачем [8].

Сплави, яких немає в установлених видах, належать до того виду, до якого вони близькі за вмістом основних компонентів і домішок.

Брухт і відходи кольорових металів і сплавів у вигляді деталей і кусків з гальванічним покриттям (хромованих, нікельованих, кадмійованих тощо) класифікують за згодою сторін за тими самими видами, що й аналогічні вироби і куски без металопокриття. Облік дорогоцінних металів здійснюють згідно з документацією, затвердженою у встановленому порядку [4].

За стандартом ДСТУ 3211–2009 вторинну алюмінієву сировину за характеристиками (хімічним складом, марками сплавів та ін.) та показниками якості (металургійний вихід) класифікують за 32 видами [4].

Алюміній І – чисті відходи з нелегованого алюмінію від виробництва прокату, профілів, труб, листів, стрічок тощо. Чистий поліграфічний брухт. Серія 1000. Марки: А85, А8, А7, А6, А5, А0, АД00 (1070А), АД0 (1050А), АД1, АД (1200) тощо.

Показниками якості є такі показники:

- не містить заліза, паперу, пластику, чорнил, оливи, жиру, фарби, синтетичних матеріалів;
- вміст металів за масою не менше 98 %;
- засміченість за масою не більше 2 %;
- товщина не менше 1 мм;
- розміри пакета, пачки, стопки не більше 400 x 400 x 700 мм;
- хімічний склад представницької проби за масою: не менше 98 % Al, до 0,25 % Si, до 0,4 % Fe, до 0,5 % Mn, до 0,05 % Cu, до 0,05 % Mg, до 0,07 % Zn, до 0,05 % Ti.

Відходи виробництва за джерелами утворення поділяють на [3]:

- відходи металургійної переробки (шлаки, зйоми, виплески й ін.);
- відходи прокатної переробки (обрізь прутків, листів, профілів, стружка, ошурки й ін.);
- відходи ливарного виробництва (ливники, надливи, зйоми, виплески й ін.);
- відходи механічної обробки литва, пресованих виробів, поковок і т.ін. (стружка, висічка, обрізь, облой і ін.);
- відходи кабельного виробництва (обрізь кінців кабеля і дроту, плутанка й ін.).

Відходи споживання (брухт) за джерелами утворення укрупнено поділяють на 3 групи [3]:

- брухт промисловий, транспортний і сільськогосподарський (машини, устаткування, деталі, вироби),
- брухт військовий (літаковий, корабельний, ракетний та ін.),
- брухт побутовий (предмети домашнього побуту, що утворюються у населення).

1.3.2 Переробка алюмінієвих виробів, використаних у будівництві та транспорті

Алюміній є другим із металів, що найбільш широко використовують сьогодні у світі. Через його високу хімічну активність він не зустрічається у природі у вільному стані і досить важко піддається вилученню з руд і мінералів. Промислову технологію його отримання створено близько століття тому. Обсяги його промислового виробництва постійно збільшуються внаслідок зростання попиту на вироби з алюмінію та сплавів на його основі.

Завдяки цінному комплексу механічних, фізичних, корозійних властивостей, технологічності своїх сплавів та здатності до повторної

переробки алюмінію та сплавів на його основі є основним конструкційним матеріалом для транспортного машинобудування, авіації та у будівництві.

У будівництві використання алюмінієвих конструкцій сприяє суттєвому зниженню навантаження на фундамент при будівництві висотних будинків і різних споруд великої площі. За даними експертів, термін придатності до застосування алюмінієвих несучих конструкцій може становити до 300 років, а будівлі, що збудовані з їх використанням, можуть витримати землетрус до 9 балів. Напівфабрикати з алюмінієвих деформівних сплавів широко застосовують для виготовлення опалубки при будівництві монолітних будинків, елементів несучих каркасів, огорож, віконних рам. Елементи алюмінієвої опалубки можна використовувати неодноразово, а потім легко рециркулювати. Для підвищення ефективності теплоізоляції застосовуються каркаси з алюмінієвих профілів, що несуть, в проміжки між якими укладаються сучасні легкі теплоізоляційні матеріали, з подальшою декоративною обшивкою плакованими алюмінієвими листами або композитними панелями на їх основі.

Переваги легкого алюмінію набувають все більшого значення для суспільства, яке прагне до поступового зниження негативного впливу на навколишнє середовище при транспортуванні людей і товарів, завдяки зниженню ваги самих транспортних засобів (літаків, автомобілів, інших машин) та ваги самих товарів. Ці екологічні мандати посилюються завдяки можливості повного рециркулювання відпрацьованих виробів з алюмінію та сплавів на його основі [6].

Неухильне зростання обсягів споживання виробів з алюмінію та його сплавів у всіх галузях промисловості сприяє збільшенню кількості алюмінієвих брухту і відходів, що утворюються, і потребує застосування раціональних технологій їх переробки для повторного використання. Для переробки вторинної алюмінієвої сировини та повернення її до кругообігу металу розроблено та вдосконалюються технології рециркулювання [6,7]. Переробка алюмінієвого брухту та відходів є енергоощадною, оскільки при цьому

витрачається близько 5 % енергії від її кількості, необхідної для отримання алюмінію електролізом [8].

Поліпшення рівня життя та глобальна «автомобілізація» населення планети спричинили часту заміну автомобілів, викидання старих «авто» на звалища. Автомобіль є джерелом забруднення навколишнього середовища не тільки під час його виробництва і експлуатації, але й після вичерпання ним свого споживчого ресурсу, коли автомобіль потрапляє на звалище. Тому уряди індустріально розвинених країн за вимогами громадськості, екологів, вчених прийняли жорсткі заходи щодо автовиробників.

У епоху екологічно благополучних 1980-х років основним способом переробки автомобілів був автомобільний прес. Після обробки на пресі з 2–3 автомобілів отримують «пакет» вагою до 3 т. Основними споживачами цього виду металобрухту є металургійні підприємства, що виготовляють, зокрема, автомобільний лист і іншу продукцію для автомобільної промисловості. Отже, цикл обігу алюмінію замикається. Проте тепер вже встановлено, що подібний цикл не є задовільним як економічно, так і екологічно: чорний метал забруднюється домішками міді, олова, цинку, свинцю, хрому та інших металів, що використовуються для електроустаткування, виготовлення оснастки, обробки, захисних і декоративних покриттів тощо. У навколишнє середовище потрапляють викиди токсичних сполук, що утворюються при згорянні органічних матеріалів (особливо полівінілхлориду) і перегоні перерахованих вище важких металів.

На початку 1990-х років в країнах Європи було введено жорсткі законодавчі норми щодо переробки відходів, які суттєво вплинули на систему збирання і переробки автомобільного брухту.

Від пресування автомобілів у індустріально розвинених країнах відмовилися більше десяти років тому. З того часу вже при проектуванні нової моделі автомобіля в нього одразу закладають можливість утилізації. Матеріали, що не переробляються (наприклад, полівінілхлорид), тепер практично не використовують. Всі деталі виготовляють з матеріалів, що легко піддаються

переробці. За спеціальними технологічними схемами переробляються акумулятори, гума, автомобільні мастила, скло.

Якщо потрібно утилізувати старий автомобіль, власник приганяє його в центр з утилізації, де автомобіль розбирають по «гвинтиках». Така схема утилізації машин у спеціальних центрах впроваджена в багатьох європейських країнах. Причому, як правило, утилізацією конкретної марки автомобіля займаються фахівці компанії-виробника. Після розбирання машини на окремі вузли частину з них переплавляють, а частину реставрують і встановлюють на нові машини. Деталі, що зовсім не можна переробити при розбиранні, подрібнюється в шредінгових установках. Так, в останніх моделях автомобілів виробництва фірми «Форд» понад 70 % деталей піддаються переробці на стадії розбирання.

Витрати на утилізацію автомобіля складаються з витрат на транспортування автомобіля і його первинне оброблення (утилізація акумулятора, частини електроустаткування, мастил та ін.). Ці витрати розподіляються в різних країнах і регіонах по-різному, в тому числі й штрафи власникові.

Успіхи, досягнуті під час реалізації нової концепції переробки автомобілів, що вичерпали споживчий ресурс, знайшли віддзеркалення у Директиві Ради ЄС 2000/53/ЄС «Транспортні засоби, що вийшли з експлуатації», яка діє з 2002 р.

Для зменшення токсичності відходів все більше уваги при розбиранні автомобілів приділяють вилученню небезпечних хімічних матеріалів (важких металів, хлорвмісних полімерів та ін.). Успішному здійсненню цієї роботи сприяє відповідне стандартизоване маркування деталей на стадії їх виготовлення. Запровадження суцільного їх маркування під час виготовлення деталей дещо підвищує вартість продукції, проте зменшує подальші витрати на переробку металобрухту, застосування якого істотно знижує вартість всієї металопродукції та сприяє енергозбереженню.

У понад 50-ти країнах світу прийнято закони щодо авторециклінга. З 2007 р. діють директиви ЄС, згідно яким фінансові зобов'язання щодо утилізації автомобілів після закінчення терміну їх експлуатації перекладаються на виробників. З 2015 р. законом «Визначення мінімальних критеріїв для переробника автомобілів (Директива про закінчення життєвого циклу)» передбачено, що при утилізації автомобілів мінімум 95 % маси матеріалів слід утилізувати, решту можна термічно переробляти (перетворювати на енергію) або поховати [9].

Кинута автомобільна техніка і будівельний алюмінієвий брухт негативно впливають на життєдіяльність міста, погіршують екологічну ситуацію. Проте вони є цінною сировиною для вторинного використання матеріалів, а також реальним джерелом прибутку від рециклювання, відновлення запасних частин і агрегатів.

1.4 Теоретичні основи та технологічні особливості плавлення вторинної алюмінієвої сировини

1.4.1 Теоретичні основи плавлення вторинної алюмінієвої сировини

Під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини, що складається з багатьох марок алюмінієвих сплавів, відбуваються процеси, які визначаються переважно теплофізичними і фізико-хімічними властивостями алюмінію.

Про великі витрати теплоти на нагрівання і розплавлення алюмінію свідчить такий факт: щоб нагріти алюміній до 700 °С потрібно вдвічі більше теплоти, ніж для розплавлення такої самої кількості міді, або приблизно стільки, як і для нагрівання сталі до 1600 °С (табл. 1.2).

Для розплавлення покривного флюсу (суміші $\text{NaCl}:\text{KCl} = 1:1$) витрачається приблизно стільки теплоти, скільки потрібно для розплавлення такої самої кількості алюмінію. Крім того, інтенсивне випаровування флюсів

Таблиця 1.2 – Деякі теплофізичні характеристики елементів, що входять до складу алюмінієвих сплавів [11]

Характеристика	Елемент					
	Sn	Zn	Al	Cu	Ni	Fe
Температура плавлення, °С	232	419	660	1083	1455	1540
Молярна теплоємність, Дж/(г·град)	29,8	27,2	29,4	32,6	37,2	39,8
Питома теплоємність, Дж/(г·град)	0,25	0,42	1,09	0,51	0,63	0,71
Молярна теплота плавлення, кДж/моль	7,0	6,8	10,7	12,8	17,5	13,9
Питома теплота плавлення, Дж/г	59	105	389,7	201	297	247

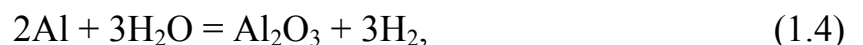
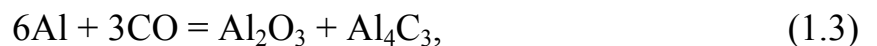
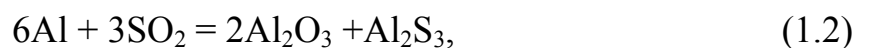
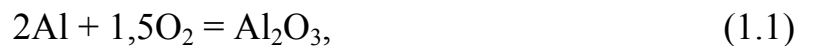
спричинює додаткову витрату теплоти. Отже, можна дійти висновку, що плавлення алюмінію є енергоємним процесом.

Алюміній і компоненти його сплавів вступають у взаємодію з киснем, воднем, азотом, парами води, сірчистим і вуглекислим газами, оксидом карбону, з різними вуглеводнями. Найінтенсивніше ці взаємодії відбуваються з розплавленим металом, забруднюючи його продуктами взаємодії. Інтенсивність окиснення залежить від вологості навколишнього середовища, температури нагрівання та складу сплаву.

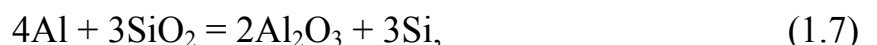
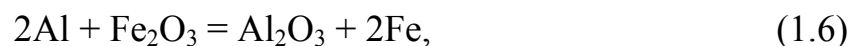
Основні джерела втрат металу під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини поділяють на хімічні й механічні.

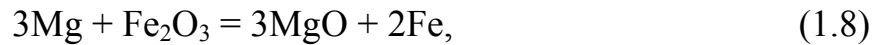
Хімічні втрати зумовлені:

– взаємодією розплаву з пічними газами, що призводить до окиснення й ошлакування металу:



– металотермічними реакціями у рідкій ванні:





Механічні втрати металу зумовлені проникненням рідкого металу у шлак через поверхневі і в'язкісні явища та просоченням футеровки ванни внаслідок капілярних ефектів.

Для зниження втрат металу з шлаками слід зменшувати засміченість шихти, що надходить на плавлення; підвищувати рідкоплинність шлаків; організувати переробку власних шлаків.

1.4.2 Технологічні особливості плавлення вторинної алюмінієвої сировини

Унікальні властивості силумінів дозволяють їх використовувати як конструкційний матеріал для замінення сталевих виробів у різних конструкціях і агрегатах. Найважливішими характеристиками силумінів, які визначають їхню технологічність і галузі застосування, є механічні, корозійні та ливарні властивості. Усі вони визначаються хімічним складом і структурою силумінів. Структура, у свою чергу, формується залежно від умов плавлення, кристалізації та наступної термічної обробки [12,13].

Різноманіття марок алюмінієвих ливарних сплавів на основі системи Al–Si з додаванням різних легуючих елементів дозволяє вибирати найкращий матеріал для виробництва великої номенклатури фасонних виливків різного ступеня складності із застосуванням різних видів лиття та подальшої термообробки.

У технічних умовах виробництво ливарних алюмінієвих сплавів зазвичай лімітується масовою часткою основних металевих домішок (свинець, олово тощо). Натрій, кальцій, літій, калій, галій відносять до інших домішкових елементів і регламентують без уточнення конкретних концентрацій їхню сумарну масову частку в межах від 0,6 % до 4,6 % для силумінів [14].

Однак зазначені домішки істотно впливають на утворення структури, чистоту розплаву та знижують технологічні властивості сплавів. Тому аналіз досліджень Мондольфо Л.Ф., Строганова Г.Б., Добаткіна В.І., Альтмана М.Б., Фрідляндера І.М., Золоторевського В.С. зі співробітниками, спрямованих на визначення впливу домішок на структуру та властивості алюмінієво-силіцієвих сплавів, дозволяє сформулювати особливості впливу деяких металів-домішок на властивості силумінів.

Натрій підвищує схильність розплавів до насичення воднем та окислення під час плавлення, знижує щільність алюмінієвих сплавів та підвищує усадку в рідкому стані. При концентраціях натрію в сплаві менше 0,001% спостерігають підвищення газонасиченості та усадки, що може погіршити механічні властивості фасонних виливків. Наявність у розплаві кальцію сприяє утриманню у ньому більшої кількості натрію, погіршує корозійні властивості сплаву. За концентрації його понад 0,001 % істотно знижуються технологічні властивості алюмінієвих сплавів [14,15]. Домішка калію внаслідок швидкого вигорання меншою мірою, ніж натрій, погіршує технологічні властивості алюмінієвих сплавів. Наявність у розплаві літію від 0,001 % до 0,01 % сприяє підвищенню об'ємної усадки при кристалізації та різкому збільшенню газоусадкової пористості виливків. Домішка галію дещо підвищує щільність алюмінієвих сплавів і знижує здатність алюмінію до окислення внаслідок утворення на поверхні розплаву оксиду Ga_2O_3 , що має порівняно з плівкою оксиду Al_2O_3 більш високі захисні властивості.

Домішка свинцю в сплаві в концентрації до 0,1 % не погіршує механічних властивостей і не впливає на корозійну стійкість силумінів [12,14]. Проте свинець підвищує горячеламкість при литті і знижує жароміцність силумінів. Наявність у розплаві олова може істотно знизити відносне подовження виливків після термообробки з утворенням легкоплавкої евтектики, що містить олово [15]. Масові частки легкоплавких свинцю та олова жорстко обмежені в хімічному складі деяких жароміцних сплавів та сплавів особливої чистоти

внаслідок погіршення експлуатаційних властивостей виливків.

Застосування як шихтові матеріали брухту і відходів алюмінію та легуючих компонентів призводить до високого вмісту в розплаві нерозчинних оксидів та інтерметалідних включень, які істотно впливають на розчинність водню в металі. Оксид алюмінію адсорбує та зв'язує водень, перешкоджає дегазації сплаву. Такі метали як титан, натрій, кальцій, літій та інші, що утворюють гідриди, зв'язують водень у гідриди і при плавленні відбувається також насичення розплаву воднем.

Для отримання стабільно високої якості деталей із силумінів слід контролювати концентрацію зазначених металевих і неметалевих домішок, в тому числі й газових, незважаючи на їх малу кількість, а також мікроструктуру та фазовий склад силумінів.

Таким чином, під час створення технологічної схеми та обґрунтування технологічних процесів виробництва силумінів із залученням до шихти вторинної сировини слід проводити ретельний технологічний контроль на всіх ділянках виробництва від приймання сировини до отримання товарних виробів з алюмінієво-силіцієвих сплавів

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Технологічна схема виробництва сплаву АЛ10В

2.1.1 Основні операції переробки вторинної алюмінієвої сировини на алюмінієві сплави

Технологічна схема переробки вторинної алюмінієвої сировини для виробництва сплаву АЛ10В охоплює процеси (рис. 2.1): а) приймання, б) первинної обробки, в) металургійної переробки вторинної алюмінієвої сировини, г) відвантаження готової продукції, д) переробку власних шлаків, що утворились. В основу створення цієї технологічної схеми покладено принцип максимального поліпшення якості під час первинної обробки для досягнення найвищої ефективності під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини.

Під час *приймання* сировину зважують, піддають піротехнічному і радіаційному контролю; виконують операції розподілу сировини за окремими видами, визначають сортність і ступінь засміченості.

Випробування призначено для добіру і підготовки проби для визначення засміченості брухту і відходів, металургійного виходу і їх хімічного складу.

Первинна обробка складається з таких основних технологічних процесів: сортування й розбирання брухту та відходів; приведення брухту до габаритного стану; обробка стружки (грохочення, дроблення, знежирювання, сушіння, магнітна сепарація); збагачення шлаків.

Сортування виконують для поділу брухту і відходів на класи, групи, сорти, марки сплавів.

Розбирання брухту і відходів полягає у звільненні основного металу від засміченості, а також у приведенні вторинної сировини (негабаритний і легковагий брухт) до маси і розмірів, зручних для подальшої переробки.

Готовою продукцією первинної обробки є габаритний та пакетований брухт, підготовлений до металургійної переробки у вигляді партій, що містять

сплави одного найменування, однієї групи й одного сорту.



Рисунок 2.1 – Принципова технологічна схема переробки вторинної алюмінієвої сировини для виробництва сплаву АЛ10В

Металургійна переробка підготовленої сировини включає підготовку шихти; плавлення шихти; рафінування сплавів; розливання сплавів у чушки, злитки, напівфабрикати з наступним укладанням у пакети; зважування, маркування та складування готової продукції. Готовою продукцією є алюмінієві сплави у вигляді пакетів чушок, злитків, заготовок та ін.

2.1.2 Видове сортування вторинної алюмінієвої сировини

Сортування починається з визначення місця вивантаження сировини з вагонів. Наприклад, матеріали для пакетування вивантажують на майданчиках

біля пакетувальних пресів, нерозібраний брухт – біля місць розбирання, змішаний брухт – біля сортувальних конвеєрів.

Сортування брухту і відходів полягає в розподілі сировини за зовнішніми ознаками, за маркуванням і за допомогою спектрального аналізу. Видове сортування проводиться переважно вручну; механізовані лише такі операції, як транспортування сировини, відсівання дрібняку, відокремлення залізних приробок. На цих операціях застосовуються обертові столи, конвеєри і спеціалізовані конвеєрні лінії. Сортування брухту за крупністю і магнітна сепарація здійснюються на автоматизованих установках.

Іноді для полегшення сортування брухту за сплавами на виробках при їх виготовленні наносять умовний знак, що позначає хімічний склад сплаву, із якого виготовлена ця деталь або напівфабрикат. На листах, наприклад, друкують марку сплава, плакування позначають літерою «Б» та ін.

Сортування за сплавами здійснюють за результатами виміру деяких фізичних властивостей: електропровідності, термоелектричного потенціалу, е.р.с. елемента тощо. Дуже поширений метод швидкого визначення вмісту в сплаві магнію або феруму за допомогою стилоскопа. Метод краплинного випробування простий у застосуванні на виробництві, і за його допомогою розпізнають не тільки цинкові й магнієві сплави, а й, застосовуючи гаму реактивів, виявляють більш тонку різницю у хімічному складі сплавів.

Напівмеханізованими методами брухт сортують на сортувальних конвеєрах або столах карусельного типу. Максимальну механізацію й автоматизацію процесу забезпечує технологія сортування грудкового брухту у важких середовищах – суспензіях. За цією технологією алюмінієвий брухт і грудкові відходи розділяють на групи сплавів сепарацією за щільністю різних грудкових матеріалів у водяній магнетитовій суспензії. До складу важких суспензій входять наступні матеріали: силікат натрію (скло натрієве рідке), алкіларілсульфонат малорозчинних кислот (ДС-РАС), бентонітова глина, магнетитовий концентрат, феросиліцій гранульований.

Нині широко застосовують рентгенометричний метод сортування сировини за сплавами, який здійснюють безперервному автоматизованому режимі, що забезпечує високу продуктивність за малого числа персоналу.

2.1.3 Розбирання вторинної алюмінієвої сировини

Розбирання брухту і відходів полягає в звільненні основного металу або сплаву від засміченості іншими металами чи неметалевими матеріалами. До основних операцій розбирання відносяться різання на ножицях, вогневе різання, дроблення провідників струму в гумовій і полімерній ізоляції, дроблення кабельного брухту, обробка літакового та іншого брухту.

Для відокремлення визначеного матеріалу з механічної суміші подрібненого продукту використовуються різні типи сепараторів. Якщо продукти сепарації нерозчинні у воді, то найраціональніші розділяти їх на важку і легку фракції в гравітаційних водних сепараторах. Так, ливарний брухт і брухт алюмінієвих сплавів, що деформуються, сортують за групами сплавів у важкосередовищних колісних сепараторах. Якщо поділювані матеріали еквівалентні за гравітаційними характеристиками, потрібно використовувати електродинамічні сепаратори (біжуче магнітне поле), де поділ ведеться за електропровідністю. Для поділу подрібнених провідників струму на металеві продукти й органічну масу необхідно використовувати електростатичні сепаратори. Для виділення залізних приробок із брухту і відходів слід використовувати електромагнітні сепаратори (залізовідокремлювачі).

Під розбиранням брухту і відходів розуміють операції з приведення сировини до габаритів, зручних для подальшої переробки, відокремлення механічно зв'язаних з алюмінієм деталей із різних сплавів, видалення приробок з інших металів і матеріалів. До операцій розбирання відносяться подрібнення та різання, пакування й брикетування, обробка таких видів відходів як електродвигуни, кабель та інші специфічні види алюмінійвмісної сировини.

Машинний і моторний брухт (великі предмети), габарити яких перевищують допустимі для завантаження в прийомні бункери дробарок або для різання на алігаторних чи гільйотинних ножицях, іноді розбирають вручну автогеном, бензорізами, руйнують копрами (копровими установками). Літаковий брухт, наприклад, фюзеляжі, крила, великогабаритні ємності, ріжуть на куски вогневим різанням. Істотний недолік вогневого різання – значні втрати металу внаслідок його окиснення. Одночасно, наскільки можливо, під час різання видаляють механічно зв'язані з алюмінієм деталі з чорних і кольорових металів і сплавів, а також неметалевих матеріалів.

Приведення брухту і відходів до габаритного стану здійснюється пакетуванням на гідравлічних пресах. Завантаження середніх пресів здійснюється грейферним краном. Для завантаження дрібних пресів розроблений гідравлічний маніпулятор із багатощелепним грейфером. Для забирання пакетів від пресів установлюються консольно-поворотні крани вантажопідйомністю 0,5 т.

Пакетування брухту виконують для ущільнення некомпактної сировини в пакети визначеної маси, габаритів і щільності. Щільність пакета, зумовлена розміром пресового зусилля і товщиною матеріалу, що пресується, для алюмінію становить 900–1500 кг/м³. Найчастіше усього пакетують брухт і відходи деформівних сплавів, такі як літаковий брухт, що розібраний на куски розміром 1,2x0,5x0,4 м, відходи тонкостінних труб, прутків, обрізки, кручена стружка, обпалений або кабельний брухт, розібраний на верстатах, провідники струму, «плутанка», висічка, виштамповка, побутовий брухт. Для пакетування алюмінієвих відходів застосовують пакетувальні преси різних типів.

Машинний, моторний брухт піддають дробленню на куски різного розміру в поперечнику. Метою дроблення, крім подрібнення, є руйнування механічних зв'язків між алюмінієвими та неалюмінієвими елементами машин.

Для дроблення алюмінієвого брухту застосовують дробарки різних потужностей і конструкцій (молоткові, роторні, ножові, конусні та ін.), а також

млини. Відходи або брухт залежно від конструкції дробарки руйнуються під впливом молотків, ножів, плит, куль та інших робочих тіл.

Відокремлення часточок різних немагнітних металів здійснюється у полі обертових постійних магнітів, що індуктують у них вихрові струми. Магнітні поля, утворені цими струмами, взаємодіють із магнітними полями постійних магнітів, і рівнодіючі сили забезпечують сепарацію кусків різних металів: за найменших значеннях напруженості магнітного поля та його частоти відокремлюються алюмінієві куски, потім мідні відходи й куски інших металів.

Для розбирання кабельного брухту і відходів провідників струму, електродвигунів, автомобільних і побутових приладів використовують криогенний метод. При цьому ізоляційні матеріали, чорні метали, цинк та його сплави, стають крихкими і легко подріюються. Мідь і алюміній залишаються пластичними. Магнітною сепарацією, просіванням, гідравлічною класифікацією, збагаченням у важких середовищах подрібнений матеріал розділяють на відповідні продукти. Перевагою криогенних установок також є відсутність викидів і газів, що забруднюють навколишнє середовище.

2.1.4 Підготовка шихти. Шихтування

Шихтування є складною і відповідальною операцією під час плавлення алюмінієвих сплавів з брухту та відходів. Під час шихтування враховують необхідність виконання планового завдання на випуск сплавів по марках, повного використання місткості печі, склад, якість і співвідношення різних видів сировини в шихті, технологічну послідовність плавки і отримання мінімально можливої собівартості сплаву.

Розрахунок шихти виконують з метою отримання сплаву заданої марки підбором сировини такого складу, який забезпечив би оптимальне використання всіх легуючих компонентів алюмінієвих сплавів (Силіцію, Міді, Мангану, Цинку та ін.), що містяться у складі брухту та відходів, з урахуванням

вмісту в них шкідливих домішок. При складанні шихти необхідно враховувати втрати окремих компонентів сплаву і шихтових матеріалів під час плавлення.

Шихтування складається з двох етапів. Спочатку виконують попередній розрахунок на підставі даних про хімічний склад сировини. Після розплавлення шихти беруть пробу розплаву для експрес-аналізу, за результатами якого виконують перерахунок шихти для коректування хімічного складу розплаву додаванням розшихтувальних або легуючих матеріалів.

Технологічна послідовність плавки (черговість завантаження печі) – це визначення виду і кількості шихтових матеріалів для утворення рідкої ванни і металу, що проплавляється в рідкій ванні. Сировиною для утворення рідкої ванни є кусковий брухт, пакетований брухт, крупний шлак (розміром більше 100 мм), підготовчі сплави і брак в чушках. У рідкій ванні проплавляють стружку, дрібні обрізки, дрібний шлак. Кількість металу, потрібного для утворення рідкої ванни, складає 30–40 % від місткості печі.

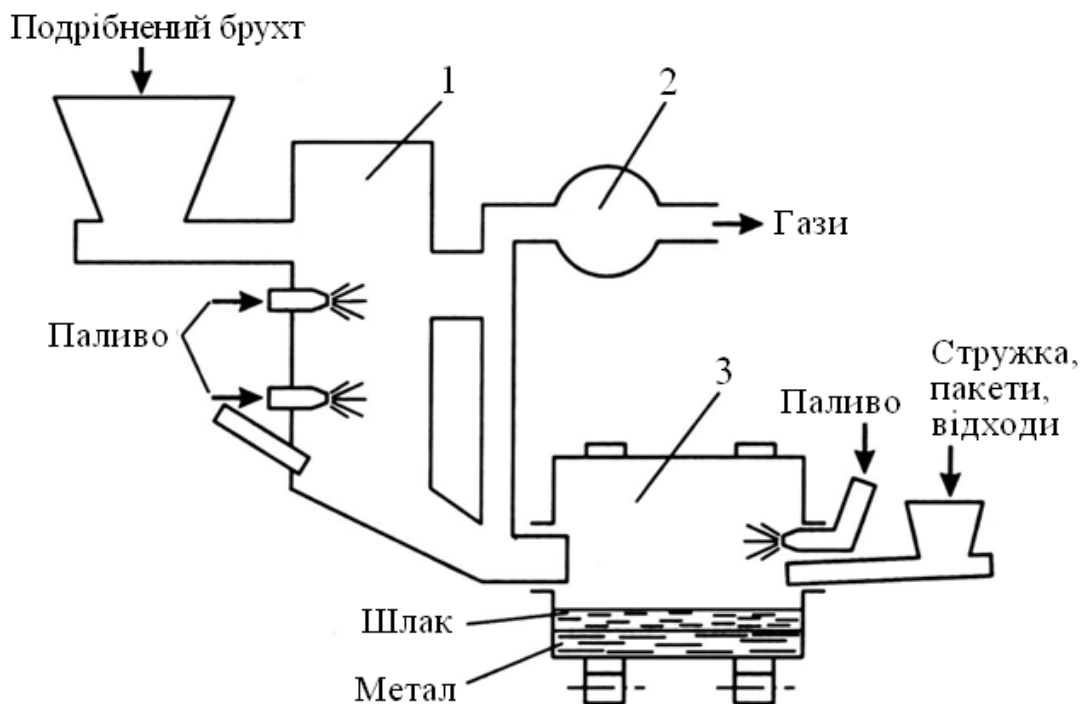
Економічна доцільність доведення плавки до певної марки сплаву визначається за допомогою цін на кожний вид сировини, розшихтувальні і легуючі матеріали.

2.2 Опис технології виплавки сплаву АЛ10В із вторинної алюмінієвої сировини

Для виплавки алюмінієвого сплаву із вторинної сировини вибрано принцип комбінування двох плавильних агрегатів, який дає можливість компенсувати недоліки одного типу печей перевагами іншої печі (рис.2.2). У шахтній печі відбувається плавлення тільки частково розібраної шихти з великою кількістю залізних приробок. Оплавлений алюмінієвий розплав стікає в короткобарабанну піч, у яку довантажують алюмінієву стружку, обрізки, а потім коректують склад сплаву додавання міді та рафінують.

У плавильній печі можна плавити будь-які види сировини: грудкову із залізними приробками, відходи у вигляді висічки, стружки і дрібнішої фракції

тощо. Універсальність печі забезпечується її конструкцією: похилий черинь дозволяє видаляють залізні приробки негайно після розплавлення алюмінію, дрібну шихту легко занурювати під дзеркало розплаву [5]. Конструкція печі є відкритою, отже, атмосфера в плавильному просторі переважно окисна. Шихта нагрівається полум'ям пальників, спрямованих на шихту, що оплавляється, і теплотою, відбитою від склепіння та стін печі, тому плавлення відбувається під шаром флюсу.



1 – шахтна піч; 2 – камера допалювання; 3 – короткобарабанна піч

Рисунок 2.2 – Технологічна схема виплавки сплаву АЛ10В

Перед плавленням шихту розраховують за заданим хімічним складом сплаву. За даними розрахунку шихтові компоненти зважують і відповідно до технологічних вимог завантажують у піч.

Під час плавлення великокускової шихти дотримують наступної послідовності операцій: на «сухий» черинь плавильної камери, нагрітий до 1000–1100 °С, завантажують першу порцію сировини, яка за масою не

перевищує 15–20 % від загальної маси шихти. Осередки загоряння металу, що виникають, покривають флюсом, великі сталеві деталі видаляють із ванни при їх звільненні від алюмінію.

Знімати багатий металом шар в'язкого шлаку недоцільно, тому в піч завантажують свіжий флюс ($KCl:NaCl=1:1$) у кількості приблизно 7 % від маси розплаву і доводять його до рідкого стану. Доведення шлаку проводять за температури розплаву 670–680 °C [6-8]. Потім із череня печі видаляють дрібні залізні приробки. Після повного видалення заліза в піч завантажують наступну порцію сировини. Шихту на плавлення завантажують у 3–4 прийоми. Після розплавлення чергового завантаження і свіжої порції флюсу з розплаву видаляють залізо. Цю операцію роблять 3–4 рази за плавку. Повністю наплавлену ванну перемішують, шлак видаляють через пороги завантажувальних вікон у спеціальні короби, попередньо відбираючи проби на вміст металу в шлаку. В піч завантажують додаткову порцію флюсу, якщо в зламі сольової проби присутні корольки металу. Розплавлений флюс перемішують із металом і після відстоювання при відсутності в зламі проби корольків металу шлак готовий до видалення. З чистого дзеркала розплаву беруть пробу для експрес-аналізу на хімічний склад, потім відчиняють перепускную лютку, і метал самопливом перетікає в накопичувач. Стіни і черинь плавильної камери очищують від шлаку, охолоді і починають завантаження шихти для наступного плавлення.

Після повного розплавлення всієї зашихтованої компактної сировини проводять операцію флюсування (шлакування) – доведення шлаку до рідкого стану. Рідкий флюс, що захищає метал від окислення, внаслідок часткового випаровування його компонентів і поглинання оксидів перетворюється на в'язкий шлак. Щоб перед видаленням зробити шлак текучим для кращого відокремлення від нього металу, на поверхню ванни завантажують ще деяку кількість флюсу і енергійно перемішують. Загальна витрата флюсу, залежно від засміченості брукту, приведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Загальна витрата флюсу під час плавлення алюмінієвого брухту

Засміченість брухту, %	до 2	2–5	5–10	більше 10
Загальна витрата флюсу, % від маси брухту	6	10	14	16

Після доведення шлаку до рідкого стану, очищають черінь від залізних приробок (болтів, гайок, шпильок та інших механічно зв'язаних деталей), що відокремилися від брухту. Спочатку спеціальними граблями, а потім широкими шкребками приробки видаляють в підставлені коробки. Після цього з поверхні ванни шкребком знімають шлак в коробки. При зніманні шлаку важливо звести до мінімуму кількість захоплюваного металу.

Обробку металу флюсом перед виливанням називають шлакуванням. За результатами аналізу коректують хімічний склад сплаву додаванням відповідних лігатур, легуючих або розшихтувальних матеріалів. Готовий сплав розливають. Під час плавлення грудкової шихти витрачають звичайно не більше 7–10 % флюсу [6-8]. Вихід металу залежно від ступеня забруднення сировини коливається зазвичай від 84 % до 96 %.

Готувати шихту тільки з грудкової сировини є не вигідним. Складати слід змішану шихту, до якої входять: зйоми, литий грудковий брухт, пакети м'якої висічки або обрізі, стружка та ін. Завантаження шихти і плавлення ведуть у такій послідовності: у нагріту піч завантажують підігріті зйоми, масу рівномірно розподіляють по площі череня, завантажуючи грудковий брухт на зйоми до повного їх розплавлення. Шихту цілком розплавляють, дзеркало розплаву покривають флюсом, видаляють залізні приробки. На рідку ванну завантажують стружку, примусово занурюють її під дзеркало розплаву, покривають флюсом. Одночасне завантаження стружки в піч допускається в кількості до 30 % маси рідкої ванни. Після повного розплавлення всієї шихти здійснюють шлакування, збирання шлаку, відбирають проби, виливання сплаву та ін. Під час плавлення стружки необхідно стежити за тим, щоб шлак на поверхні розплавленого металу був рідким, що досягається додаванням свіжого флюсу. Витрата флюсу залежно від окисленості стружки надана в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Загальна витрата флюсу під час плавлення стружки [5]

Вміст металу в стружці (за металургійним виходом), %	50	60	70	80	90
Витрата флюсу, % від маси стружки	100	75	60	50	40

Під час плавлення алюмінієвої стружки в брикетованому вигляді витрата флюсу нижча на 15–20 %. Витрата флюсів під час плавлення дрібного грудкового шлаку приблизно дорівнює його витраті при переробці стружки з однаковим вмістом металу.

Після закінчення коректування з ретельно перемішаної ванни беруть пробу сплаву для аналізу. Виплавка алюмінієвих сплавів на повітрі приводить до забруднення розплавів оксидами, нітридами, воднем, включеннями шлаку і флюсу. Тому алюмінієві сплави піддають рафінуванню.

2.3 Розрахунок шихти для виплавки сплаву АЛ10В із вторинної алюмінієвої сировини

Розраховуємо склад шихти для виплавлення алюмінієвого сплаву АЛ10В, хімічний склад якого надано в таблиці 2.3, за методикою, наданої в роботі [5].

Таблиця 2.3 - Хімічний склад сплаву АЛ10В, %

Основні компоненти			Домішки, не більше			
Mn	Si	Cu	Mn	Zn	Fe	Zr
0,2-0,5	4,0-6,0	5,0-8,0	0,5	0,6	1,2	0,15

Співвідношення між складовими шихти:

- брухт та відходи – 48 % (серед них 36 % брухту та 12 % відходів), в тому числі:

брухту 1 сорту – 20 %,

брухту 2 сорту – 80 %,

відходів 1 сорту – 25 %,

відходів 2 сорту – 75 %;

- стружка – 34 %, в тому числі:

стружки 1 сорту – 50 %,
 стружки 2 сорту – 20 %,
 стружки 4 сорту – 30 %;
 - зйоми - 18%, в тому числі:
 зйомів I сорту – 100 %.

Розрахунок проводимо на 100 кг шихти.

Для одержання 100 кг шихти необхідно:

- брухт та відходи - 48 кг (серед них 36 кг брухту та 12 кг відходів), в тому числі:

брухту 1 сорту - $36,00 \cdot 0,20 = 7,2$ кг,
 брухту 2 сорту - $36,00 \cdot 0,80 = 28,8$ кг,
 відходів 1 сорту - $12,00 \cdot 0,25 = 3,00$ кг,
 відходів 2 сорту - $12,00 \cdot 0,75 = 9,00$ кг.
 - стружка - 34 кг, в тому числі:
 стружки 1 сорту - $34,00 \cdot 0,50 = 17$ кг,
 стружки 2 сорту - $34,00 \cdot 0,20 = 6,8$ кг,
 стружки 4 сорту - $34,00 \cdot 0,30 = 10,2$ кг.
 - зйоми - 18 кг, в тому числі:
 зйомів 1 сорту - $18,00 \cdot 1,00 = 18,00$ кг.

За складом сплаву АЛ10В вибираємо алюмінієвий брухт у вигляді бракованих литих деталей із ливарних алюмінієвих сплавів з високим вмістом міді, алюмінієві відходи литих деталей із ливарних алюмінієвих сплавів з низьким вмістом міді, стружку і обрізки листів, стрічок з чистого, нелегованого алюмінію.

Характеристика брухту приведена у табл.2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристика алюмінієвого брухту

Компонент шихти	Маса, кг	Металургійний вихід, %	Вміст, %				
			Mg	Si	Cu	Zn	Fe
Брухт 1 с.	7,2	96	0,8	8,0	6,0	0,6	1,6
Брухт 2 с.	28,8	90	0,8	8,0	6,0	0,6	1,6

Визначаємо середній металургійний вихід

$$(7,2 \cdot 0,96 + 28,8 \cdot 0,90) / 36,0 = 0,912 \%$$

та засміченість алюмінієвого брухту

$$(7,2 \cdot 4 + 28,8 \cdot 10) / 36,0 = 8,80 \%$$

Результати розрахунків складу брухту зводимо у табл. 2.5

Таблиця 2.5 – Склад алюмінієвого брухту

Елемент	Mg	Si	Cu	Zn	Fe	Засміченість	Al	Сума
Вміст, %	0,730	7,296	5,472	0,547	1,459	8,8	75,696	100,00
Кількість, кг	0,263	2,627	1,970	0,197	0,525	3,168	27,250	36,00

Металева частина брухту складає $36,00 - 3,168 = 32,832$ кг.

Характеристика відходів приведена у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - Характеристика алюмінієвих відходів

Компонент шихти	Маса, кг	Металургійний вихід, %	Вміст, %				
			Mg	Si	Cu	Zn	Fe
Брухт 1 с.	3,0	96	0,6	13,0	1,5	0,5	1,5
Брухт 2 с.	9,0	93	0,6	13,0	1,5	0,5	1,5

Визначаємо середній металургійний вихід

$$(3,00 \cdot 0,96 + 9,00 \cdot 0,93) : 12,00 = 0,9375$$

та засміченість відходів $(3,00 \cdot 4 + 9,00 \cdot 7) : 12,00 = 6,25 \%$.

Результати розрахунків складу відходів зводимо у табл.2.7.

Таблиця 2.7 - Склад відходів

Елемент	Mg	Si	Cu	Zn	Fe	Засміченість	Al	Сума
Вміст, %	0,563	12,187	1,406	0,469	1,406	6,250	77,719	100,00
Кількість, кг	0,068	1,462	0,169	0,056	0,169	0,75	9,326	12,00

Металева частина відходів складає

$$12,00 - 0,75 = 11,25 \text{ кг.}$$

Характеристика стружки приведена у табл.2.8.

Таблиця 2.8 - Характеристика алюмінієвої стружки

Компонент шихти	Маса, кг	Металургійний вихід, %	Вміст, %				
			Mg	Si	Cu	Zn	Fe
Стружка 1 с.	17,0	90	-	0,5	0,05	0,1	0,5
Стружка 2 с.	6,8	75	-	0,5	0,05	0,1	0,5
Стружка 4 с.	10,2	85	-	0,5	0,05	0,1	0,5

Визначаємо середній металургійний вихід

$$(17 \cdot 0,90 + 6,8 \cdot 0,75 + 10,2 \cdot 0,85) : 34,0 = 0,855$$

та засміченість стружки $(17 \cdot 10 + 6,8 \cdot 25 + 10,2 \cdot 15) : 34,00 = 14,50 \%$.

Результати розрахунків складу стружки зводимо у табл.2.9.

Таблиця 2.9 - Склад стружки

Елемент	Mg	Si	Cu	Zn	Fe	Засміченість	Al	Сума
Вміст, %	-	0,428	0,043	0,086	0,428	14,50	84,515	100,00
Кількість, кг	-	0,146	0,015	0,029	0,146	4,93	28,734	34,0

Металева частина стружки складає $34,00 - 4,93 = 29,07$ кг.

Склад шлаків визначається середнім складом сплаву АЛ10В (табл. 2.10).

Таблиця 2.10 - Характеристика алюмінієвих шлаків

Компонент шихти	Маса, кг	Металургійний вихід, %	Вміст, %						
			Mg	Si	Cu	Mn	Zn	Fe	Zr
Шлаки 1 с.	18,00	80	0,35	5,0	6,5	0,5	0,6	1,2	0,15

Визначаємо середній металургійний вихід $18,00 \cdot 0,80 : 18,00 = 0,80$ та засміченість шлаків $18,00 \cdot 20 : 18,00 = 20,00 \%$.

Результати розрахунків складу зйомів зводимо у таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 - Склад шлаків

Елемент	Mg	Si	Cu	Mn	Zn	Fe	Zr	Засмі-ть	Al	Сума
Вміст, %	0,28	4,0	5,2	0,4	0,48	0,96	0,12	20,0	68,56	100,00
Кількість	0,05	0,72	0,936	0,072	0,086	0,173	0,022	3,6	12,341	18,00

Металева частина шлаків складає $18,00 - 3,60 = 14,40$ кг.

Складаємо перший розрахунковий склад шихти (табл.2.12).

Таблиця 2.12 – Перший розрахунковий склад шихти

Компоне нт шихти	Mg	Si	Cu	Mn	Zn	Fe	Zr	Засмі- ченість	Al	Сума	Сума металу
Брухт	0,263	2,627	1,970	-	0,197	0,525	-	3,168	27,250	36	
Відходи	0,068	1,462	0,169	-	0,056	0,169	-	0,75	9,326	12	
Стружка	-	0,146	0,015	-	0,029	0,146	-	4,93	28,734	34	
Шлаки	0,05	0,72	0,936	0,072	0,086	0,173	0,022	3,60	12,341	18	
Сума, кг	0,381	4,955	3,09	0,072	0,368	1,013	0,022	12,448	77,651	100	87,552
Сума, %	0,435	5,66	3,529	0,082	0,420	1,157	0,025	-	88,692	-	100,00

З першого розрахункового складу шихти видно, що для одержання потрібного складу сплаву необхідно збільшити кількість міді доданням його до середнього вмісту у кінцевому продукті 6,5 %. Як легуючий матеріал використовуємо листову катодну мідь М4 (99,96 % Cu, 0,04 % Fe).

Кількість легуючого матеріалу на 100 кг металевої частини кінцевого продукту визначаємо з рівняння матеріального балансу по міді:

$$99,996 \cdot x + 3,529 \cdot (1 - x) = 6,5$$

Звідки $x = 0,0308$.

Таким чином, для отримання 100 кг металевої частини кінцевого продукту необхідно 3,08 кг мідь марки М4 та 96,92 кг металевої частини першого розрахункового складу шихти.

Складаємо другий розрахунковий склад шихти після додавання міді (табл. 2.13).

Таблиця 2.13 – Другий розрахунковий склад шихти

Компо- нент шихти	Частк а	Масова частка елементів, %								Кількі сть, кг
		Mg	Si	Cu	Mn	Zn	Fe	Zr	Al	
Шихта 1	0,9692	0,422	5,486	3,42	0,08	0,407	1,121	0,024	85,96	96,92
Мідь М4	0,0308	-	-	3,077	-	-	0,003	-	-	3,08
Всього	1,00	0,422	5,486	6,497	0,08	0,407	1,124	0,024	85,96	100,00

Другий склад шихти (табл. 2.13) відповідає вимогам, що забезпечують отримання сплаву заданого складу по всіх компонентах.

Визначаємо масу складових шихти для одержання сплаву:

брухт 1 сорту	$7,2 \cdot 0,9692 = 6,98$ кг,
брухт 2 сорту	$28,8 \cdot 0,9692 = 27,91$ кг,
відходи 1 сорту	$3,00 \cdot 0,9692 = 2,91$ кг,
відходи 2 сорту	$9,00 \cdot 0,9692 = 8,72$ кг,
стружка 1 сорту	$17,0 \cdot 0,9692 = 16,48$ кг,
стружка 2 сорту	$6,8 \cdot 0,9692 = 6,59$ кг,
стружка 4 сорту	$10,2 \cdot 0,9692 = 9,88$ кг,
зйоми 1 сорту	$18,00 \cdot 0,9692 = 17,45$ кг,
мідь М4	3,08 кг,

Всього 100,00 кг

Результати розрахунків складу шихти по компонентах зводимо у табл. 2.14.

Визначаємо масу металеві частини шихти, враховуючи засміченість її складових (табл. 2.15).

Таблиця 2.15 – Кількість та склад металеві частини шихти

Компонент	Кількість, кг	Вміст, %
Брухт	$6,98 \cdot 0,96 + 27,91 \cdot 0,90 = 31,82$	36,19
Відходи	$2,91 \cdot 0,96 + 8,72 \cdot 0,93 = 10,9$	12,40
Стружка	$16,48 \cdot 0,90 + 6,59 \cdot 0,75 + 9,88 \cdot 0,85 = 28,17$	32,04
Шлаки	$17,45 \cdot 0,80 = 13,96$	15,87
Мідь М4	3,08	3,5
Всього	87,93	100,00

Визначаємо спільну засміченість шихти:

Брухт	$8,8 \cdot 36 : 100 \cdot 0,9692 = 3,07$ %,
Відходи	$6,25 \cdot 12 : 100 \cdot 0,9692 = 0,73$ %,
Стружка	$14,5 \cdot 34 : 100 \cdot 0,9692 = 4,78$ %,
Зйоми	$20,0 \cdot 18 : 100 \cdot 0,9692 = 3,49$ %.
Всього	<hr/> 12,07 %

Таблиця 2.14 – Склад шихти для плавлення

Компонент шихти	Маса шихти, кг	Маса металу, кг	Вміст елементів у шихті					
			Mg		Si		Cu	
			%	кг	%	кг	%	кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Брухт 1-го сорту	6,98	6,70	0,8	0,054	8,0	0,536	6,0	0,402
Брухт 2-го сорту	27,91	25,12	0,8	0,201	8,0	2,01	6,0	1,507
Відходи 1-го сорту	2,91	2,79	0,6	0,017	13,0	0,363	1,5	0,042
Відходи 2-го сорту	8,72	8,11	0,6	0,049	13,0	1,054	1,5	0,122
Стружка 1-го сорту	16,48	14,83	-	-	0,5	0,074	0,05	0,007
Стружка 2-го сорту	6,59	4,94	-	-	0,5	0,025	0,05	0,002
Стружка 4-го сорту	9,88	8,40	-	-	0,5	0,042	0,05	0,004
Шлаки 1-го сорту	17,45	13,96	0,35	0,049	05,0	0,698	6,5	0,907
Мідь М4	3,08	3,08	-	-	-	-	99,9	3,077
Усього	100,00	87,93	0,421	0,37	5,461	4,802	6,903	6,07

Продовження таблиці 2.14

Компонент шихти	Вміст елементів у шихті							
	Zn		Fe		Mn		Al	
	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг
1	10	11	12	13	14	15	16	17
Брухт 1-го сорту	0,6	0,040	1,6	0,107	-	-	83,0	5561
Брухт 2-го сорту	0,6	0,151	1,6	0,402	-	-	83,0	20,849
Відходи 1-го сорту	0,5	0,014	1,5	0,042	-	-	82,9	2,312
Відходи 2-го сорту	0,5	0,04	1,5	0,122	-	-	82,9	6,723
Стружка 1-го сорту	0,1	0,015	0,5	0,074	-	-	98,85	14,66
Стружка 2-го сорту	0,1	0,005	0,5	0,025	-	-	98,85	4,883
Стружка 4-го сорту	0,1	0,008	0,5	0,042	-	-	98,85	8,304
Шлаки 1-го сорту	0,6	0,084	1,2	0,167	0,5	0,091	85,7	11,964
Мідь М4	-	-	0,1	0,003	-	-	-	-
Усього	0,406	0,357	1,119	0,984	0,103	0,091	85,586	75,256

Таким чином, спільна засміченість шихти складає 12,07 %. Якщо таку шихту направити на плавлення, то витяг металу у сплав АЛ10В досягне 90,85%, витрата флюсу – 412,97 на 1 т шихти.

Вилучення металу у сплав під час плавлення шихти, що містить 12,07 % засміченості, складає

$$90,9 - \frac{90,9 - 87,8}{16,00 - 12,00} (12,07 - 12,00) = 90,85 \%$$

витрата флюсів [5,13]:

$$410 + \frac{580 - 410}{16,00 - 12,00} (12,07 - 12,00) = 412,97 \text{ кг.}$$

2.4 Складання матеріального балансу плавки вторинної алюмінієвої сировини для одержання сплаву АЛ10В

Склад шихти для виплавки сплаву АЛ10В приведений у табл.2.14.

Витяг металу при плавці підготовленої шихти з врахуванням втрат становить

$$100,00 - 6,13 = 93,87 \%,$$

де 100,00 – спільний вміст металу у шихті, %;

6,13 – механічні втрати металу зі шлаком (додаток А [13]), %.

Угар шихти під час плавлення складає:

$$(6,5 \cdot 0,421 + 1,75 \cdot 5,461 + 2,5 \cdot 6,903 + 2,5 \cdot 0,08 + 4,00 \cdot 0,406 + \\ + 0,75 \cdot 1,119 + 4,0 \cdot 0,024 + 2,5 \cdot 85,586) / 100 = 2,46 \%$$

Тоді спільний витяг металу з урахуванням угару шихти складає:

$$93,87 - 2,46 = 91,41 \%$$

Для отримання 1000 кг сплаву необхідно мати у шихті металу

$$1000 : 0,9141 = 1093,97 \text{ кг,}$$

в тому числі: брухту $1093,97 \cdot 0,3619 = 395,91 \text{ кг,}$

відходів $1093,97 \cdot 0,1240 = 135,65 \text{ кг,}$

стружки $1093,97 \cdot 0,3204 = 350,51 \text{ кг,}$

зйомів $1093,97 \cdot 0,1587 = 173,61 \text{ кг,}$

міді $1093,97 \cdot 0,035 = 38,29 \text{ кг,}$

Визначаємо масу бруто кожного компонента шихти, враховуючи засміченості та ін.:

брухту $395,91 : 0,9120 = 434,11 \text{ кг,}$

відходів	$135,65 : 0,9375 = 144,69$ кг,
стружки	$350,51 : 0,8550 = 409,95$ кг,
зйомів	$173,61 : 0,8000 = 217,01$ кг,
міді	38,29 кг,

Отже, загальна витрата шихти на плавку становить

$$434,11 + 144,69 + 409,95 + 217,01 + 38,29 = 1244,05 \text{ кг.}$$

Визначаємо кількість вологи та мастила, що потрапить на плавку зі стружкою

$$409,95 - 350,51 = 59,44 \text{ кг.}$$

За даними практики приймаємо, що вміст мастила та вологи у засміченості складає 15 % та 20 % відповідно

Кількість вологи у стружці становить

$$59,44 \cdot 20 : 100 = 11,89 \text{ кг.}$$

У стружці знаходиться мастила

$$59,44 \cdot 15 : 100 = 8,92 \text{ кг.}$$

Визначаємо кількість повітря, що необхідно для згоряння мастила та окислення металу шихти. Приймаємо, що мастило складається з 85 % вуглецю та 15 % водню. Отже, мастило містить

$$8,92 \cdot 85 : 100 = 7,58 \text{ кг вуглецю}$$

та

$$8,92 \cdot 15 : 100 = 1,34 \text{ кг водню.}$$

При згорянні 7,58 кг вуглецю витрачається

$$7,58 \cdot 32 : 12 = 20,21 \text{ кг кисню}$$

та утворюється

$$7,58 \cdot 44 : 12 = 27,79 \text{ кг CO}_2.$$

При згорянні 1,34 кг водню витрачається

$$1,34 \cdot 16 : 2 = 10,72 \text{ кг кисню}$$

та утворюється

$$1,34 \cdot 18 / 2 = 12,06 \text{ кг H}_2\text{O.}$$

Для визначення кількості кисню, що витрачається на окислення металу шихти (втрати металу від окислення 2,52 %), знайдемо масу окисленого алюмінію

$$1093,97 \cdot 2,52 : 100 = 27,57 \text{ кг.}$$

Тоді потрібно кисню

$$27,57 \cdot 96 : 108 = 24,51 \text{ кг.}$$

Таким чином, необхідна для плавки кількість кисню становить

$$20,21 + 10,72 + 24,51 = 55,44 \text{ кг}$$

або витрачається: $(20,21 + 10,72 + 24,51) : 0,21 = 264 \text{ кг повітря.}$

При плавці утворюється

$$27,79 + 11,89 + 12,06 + (264,00 - 55,44) = 260,3 \text{ кг димових газів.}$$

Разом з 1244,05 кг шихти у відбивну піч надходить

$$1244,05 - 1093,97 = 150,08 \text{ кг засміченості.}$$

З цієї кількості засміченості у шлак переходить:

$$150,08 - (11,89 + 8,92) = 129,27 \text{ кг оксидів.}$$

Для плавлення 1т шихти з засміченістю 12,07 % потрібно 412,97 кг флюсу (NaCl: KCl). Перерахуємо кількість флюсу для плавлення 1244,05 кг шихти:

$$1244,05 \cdot 412,97 : 1000 = 513,75 \text{ кг.}$$

Визначаємо кількість хлориду натрію у даній суміші ;

58,5 NaCl міститься у 133,0 (NaCl + KCl)

x кг NaCl міститься у 513,75 кг (NaCl + KCl)

Звідки $x = 225,97 \text{ кг.}$

Кількість хлориду калію у даній суміші дорівнює

$$513,75 - 225,97 = 287,78 \text{ кг.}$$

Загальна кількість матеріалів, що надходять у відбивну піч дорівнює

$$1244,05 + 264,0 + 513,75 = 2021,8 \text{ кг.}$$

Під час плавлення до сплаву переходить 1000 кг металу. До шлаку перейде

$$6,13 + 2,46 - 2,52 = 6,07 \% \text{ металу шихти}$$

або $1093,97 \cdot 6,07 : 100 = 66,40 \text{ кг.}$

Загальна кількість оксидів, що перейде до шлаку, становить

$$150,08 - (11,89 + 8,92) + (27,57 + 24,51) = 181,35 \text{ кг.}$$

Отже, загальна кількість шлаку, що утвориться під час плавлення шихти, становить

$$66,4 + 181,35 + 513,75 = 761,5 \text{ кг.}$$

Результати розрахунку матеріального балансу зводимо в табл.2.16.

Таблиця 2.16 – Матеріальний баланс виплавки сплаву АЛ10В

Надходження			Витрачання		
Речовина	Кількість		Речовина	Кількість	
	кг	%		кг	%
Шихта, в тому числі:	1244,05	61,53	Сплав	1000,00	49,46
брухт	434,11	21,47	Шлак, в тому числі:	761,5	37,66
відходи	144,69	7,16	метал	66,40	3,28
стружка	409,95	20,28	MeO	181,35	8,97
шлак	217,01	10,73	солі, в тому числі:	513,75	25,41
мідь	38,29	1,89	NaCl	200,28	9,91
Повітря, в тому числі:	264,00	13,06	KCl	262,09	12,96
O ₂	55,44	2,75	Na ₃ AlF ₆	51,38	2,54
N ₂	208,56	10,31	Димові гази, в тому	260,30	12,88
Флюс, в тому числі:	513,75	25,41	числі:		
NaCl	200,28	9,91	CO ₂	27,79	1,38
KCl	262,09	12,96	H ₂ O	23,95	1,19
Na ₃ AlF ₆	51,38	2,54	N ₂	208,56	10,31
Всього	2021,80	100,00	Всього	2021,80	100,00

Витратні коефіцієнти для сировини і матеріалів на 1 т сплаву АЛ10В:

брухту	0,43411 т/т сплаву,
відходів	0,14469 т/т,
стружки	0,40995 т/т,
шлаків	0,21701 т/т,
міді	0,03829 т/т,
повітря	0,26400 т/т,
NaCl	0,20028 т/т,
KCl	0,26209 т/т,
Na ₃ AlF ₆	0,05138 т/т.

3 КОНСТРУКЦІЙНА ЧАСТИНА

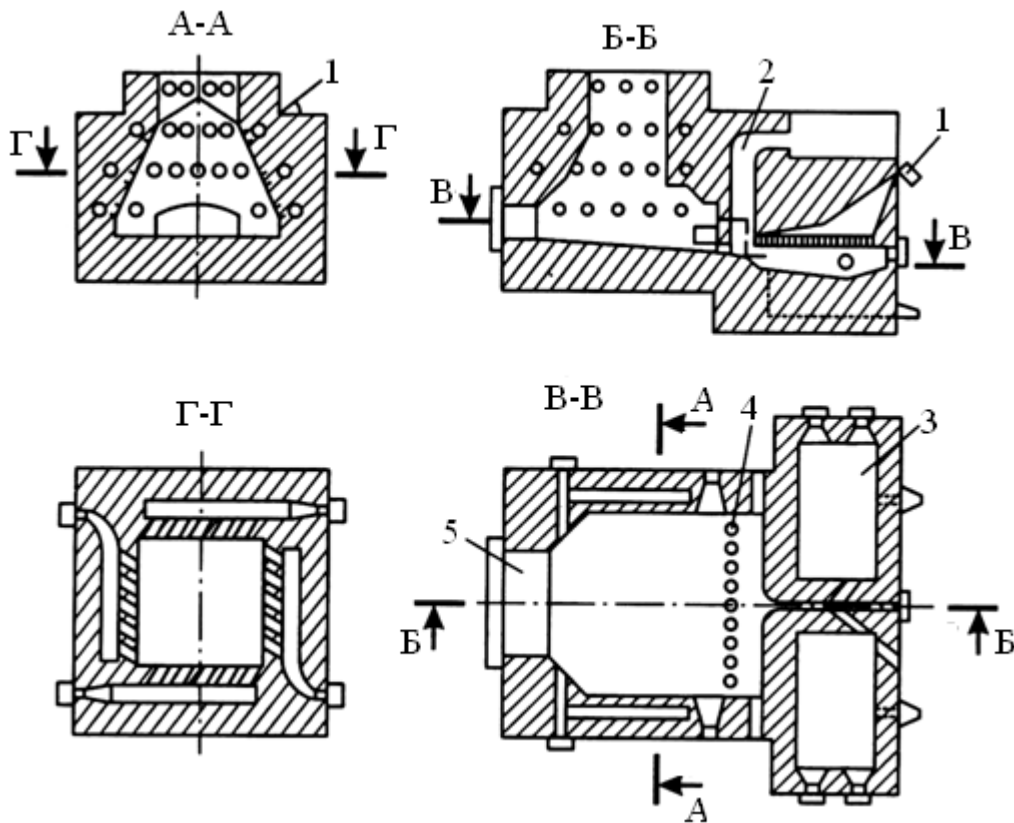
3.1 Конструкція та принцип дії плавильних печей

Великогабаритний брухт, сильно забруднений конструкційно зв'язаним залізом, переплавляють у шахтних печах. Ці печі працюють з більш високим тепловим к.к.д. (близько 60%), оскільки шихта, що завантажується і рухається зверху вниз, прогрівається гарячими газами, що відходять і рухаються назустріч. У піч можна завантажувати майже не підготовлену (разом з залізними приробками) шихту, без підсушування (вологу), об'ємом до 10 м³ за одне завантаження, що підвищує продуктивність печі і праці обслуговуючого персоналу [7,8].

Існує кілька різновидів шахтних печей [7]. Один з варіантів конструкції представлений на рис.3.1. Піч складається із шахти і двох ванн-накопичувачів місткістю 4 т кожна, що сполучаються з шахтою поздовжніми і поперечними жолобами, по яким перетікає розплавлений метал. Шахта з черенем, похилим у бік накопичувачів, відокремлюється решіткою, що запобігає надходженню в накопичувачі залізних приробок. Предмети, що не оплавлюються та накопичуються на черені шахти, періодично видаляють через бічні вікна.

Шихта нагрівається швидкісними, високонапорними пальниками, розташованими на різних рівнях за висотою шахти. При цьому роблять диференційоване нагрівання простору печі: зменшують або збільшують нагрівання шихти, що знаходиться на черені або на будь-якому іншому рівні шахти печі. Найбільший ефект досягається, коли шахтні печі працюють як оплавочні. Однак при експлуатації таких печей у комбінації з іншими плавильними печами одержують ще більшу економічну ефективність.

Виплавлення сплаву АЛ10В відбувається в короткобарабанній печі (рис.3.2). Піч являє собою циліндр футерований вогнетривким матеріалом, що обертається навколо горизонтальної вісі.

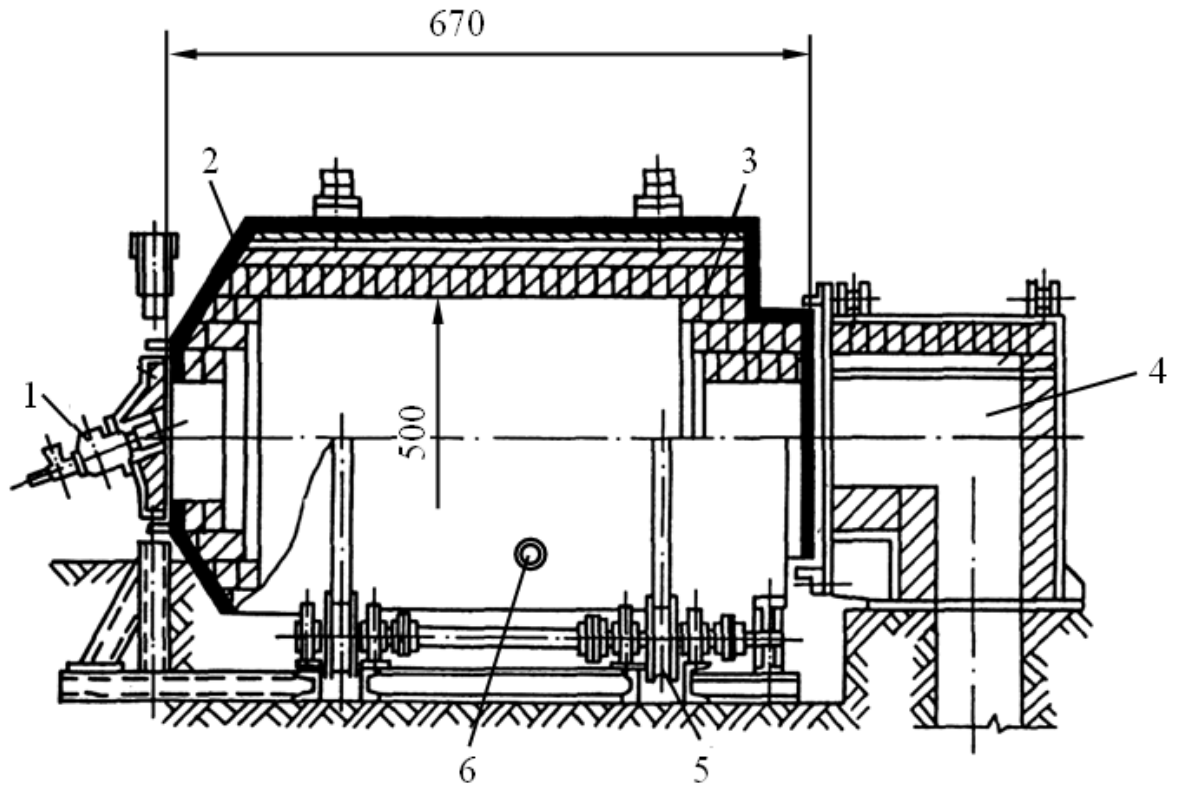


- 1 – високошвидкісні пальники; 2 – димохід; 3 – накопичувач;
 4 – решітка для затримування залізних приробок;
 5 – вікно для видалення залізних приробок

Рисунок 3.1 – Шахтна піч

Плавлення шихти здійснюється у барабані, охопленому кожухом, виготовленим з листової сталі товщиною 16 мм. На кожух насаджені два сталеві бандажі, якими барабан спирається на дві пари сталевих опорних роликів. Упорні катки обмежують осьове переміщення барабана. Всередині барабан футеровано шамотною цеглою та шаром азбесту або спеціальною набивною масою. Обертання барабанної печі здійснюється від електродвигуна через редуктор і зубчаті муфти. Швидкість обертання печі складає 1–8 об./хв.

В обертових барабанних печах можна переплавляти алюмінієвий скрап будь-якого виду. Однак особливості роботи обертових печей дозволяють використовувати їх для переплавляння дрібного матеріалу та стружки.



- 1 – пальник (форсунка); 2 – кожух; 3 – шамотна футеровка;
4 – лежак; 5 – механізм обертання; 6 – льотка випускання металу

Рисунок 3.2 – Обертова короткобарабанна піч

Якщо в нерухомій печі метал нагрівається лише внаслідок обігрівання поверхні садки, то в обертовій печі метал нагрівається і зверху, і знизу. В обертовій печі склепіння і черинь постійно обмінюються місцями, тому внутрішня кладка печі, яка нагрівається в верхньому положенні, віддає тепло, коли переходить в нижнє положення. Крім того, метал постійно перемішується в результаті обертання печі, що сприяє теплопередачі.

3.2 Конструктивний розрахунок короткобарабанної печі

Визначаємо розміри обертової короткобарабанної печі для виплавлення 30 т алюмінієвого сплаву АЛ10В, яка опалюється природним газом.

Знаходимо внутрішній діаметр печі за формулою (8), прийнявши за практичними даними $\omega_t = 1,15$ м/с:

$$D_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2103,9 \cdot 1323,9}{3,14 \cdot 2,0 \cdot 3600 \cdot 100}} = 4,95 \text{ м}$$

Для визначення довжини печі та коефіцієнта заповнення робочого простору виходимо з таких умов:

- піч у поперечному перерізі має форму циліндра без ребер і конічних частин;
- піч заповнюється розплавом до рівня завантажувального вікна.

Схему до розрахунку печі наведено на рис.3.3.

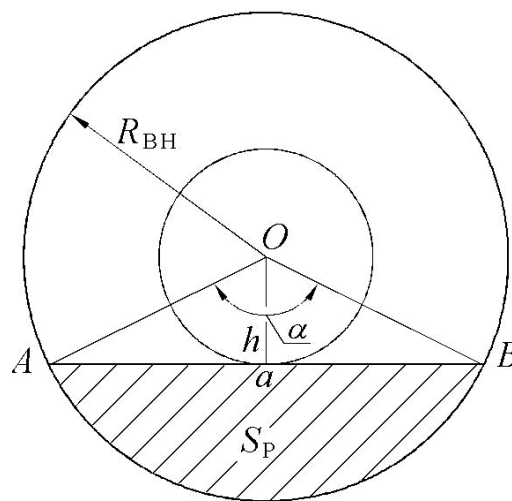


Рисунок 3.3 – Схема до розрахунку обертової короткобарабанної печі

Площу перерізу розплаву S_p визначаємо за формулою:

$$S_p = S_{\text{сект}}^{AOB} - S_{\text{тр}}^{AOB}, \quad (3.1)$$

де $S_{\text{сект}}^{AOB} = \frac{\pi \cdot R_{\text{вн}}^2}{360} \cdot \alpha$ – площа сектора AOB (рис. 3.3), м^2 ;

$S_{\text{тр}}^{AOB} = \frac{|AB| \cdot h}{2}$ – площа трикутника AOB (рис. 3.3), м^2 ;

α – кут при вершині сектора AOB , град.;

h – радіус завантажувального вікна (для короткобарабанних печей h складає 15-20 % від внутрішнього діаметра печі), приймаємо $h=0,685$ м.

З розгляду прямокутного трикутника OaB (рис. 3.3) знаходимо величину кута α за теоремою косинусів

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \frac{|OB|^2 + |Oa|^2 - |aB|^2}{2 \cdot |OB| \cdot |Oa|} = \frac{R_{\text{вн}}^2 + h^2 - (|AB|/2)^2}{2 \cdot R_{\text{вн}} \cdot h}$$

та довжину ванни металу в перерізі (хорду AB):

$$|AB| = 2 \cdot \sqrt{|OB|^2 - |Oa|^2} = 2 \cdot \sqrt{R_{\text{вн}}^2 - h^2} = 2 \cdot \sqrt{1,84^2 - 0,685^2} = 3,42 \text{ м.}$$

Тоді дістанемо

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \frac{2,475^2 + 0,7425^2 - (3,46/2)^2}{2 \cdot 2,475 \cdot 0,7425} = 1,0023,$$

отже $\alpha = 84^\circ$.

Підставляючи значення довжини хорди AB та кута α в формулу (3.1), дістанемо:

$$S_p = \frac{\pi \cdot R_{\text{вн}}^2 \cdot \alpha}{360} - \frac{|AB| \cdot h}{2} = \frac{3,14 \cdot 2,475^2 \cdot 84}{360} - \frac{3,46 \cdot 0,7425}{2} = 3,204 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт заповнення печі дорівнює

$$\varphi = 3,204/10,63 = 0,301,$$

тобто піч заповнюється на 1/3 об'єму.

Об'єм, зайнятий розплавом при завантаженні 30 т алюмінієвого сплаву (щільність $2,37 \text{ т/м}^3$) та 10 т флюсів (щільність $1,54 \text{ т/м}^3$), дорівнює

$$V_p = 30/2,37 + 10/1,54 = 19,15 \text{ м}^3.$$

Тоді довжина короткобарабанної печі за формулою (3.2) дорівнює

$$L = 19,15/2,88 = 6,65 \text{ м.}$$

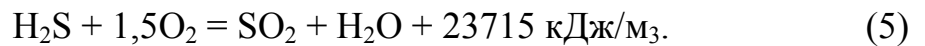
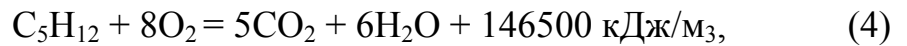
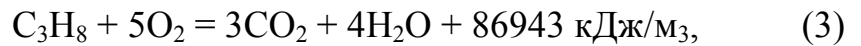
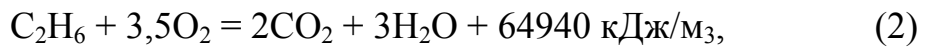
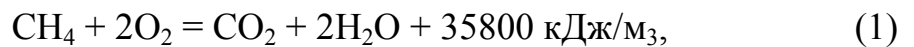
Приймаємо, що діаметр і довжина короткобарабанної печі продуктивністю $3,75 \text{ т/год}$ дорівнюють $3,68 \text{ м}$ та $6,65 \text{ м}$ відповідно.

3.3 Матеріальний баланс горіння палива

Визначити витрату повітря, кількість та склад продуктів згорання палива, нижчу теплоту згорання палива при спалюванні коротко барабанній печі природного газу (склад, %: 90,2 CH₄; 2,1 C₂H₆; 0,4 C₃H₈; 1 C₄H₁₀; 2,5 C₅H₁₂; 0,7CO₂). Розрахунок провести при α=1,0 та α=1,1.

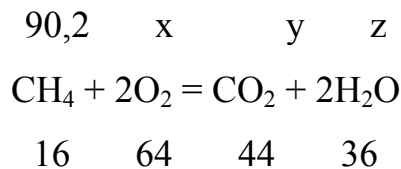
Прийняти, що газ сухий (0 % H₂O), при розрахунках речовини реагують устехіометричних відношеннях.

Горіння елементів палива відбувається за реакціями:



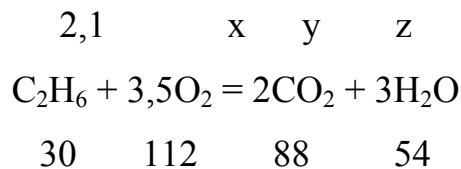
Розрахунок проводимо на 100 м³ сухого газу.

Складовий природного газу N₂ переходить у димові газу.

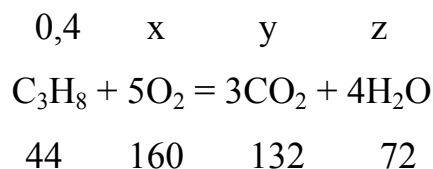


Для перебігу реакцій потрібно x= 360,8 м³ O₂ і утворюється y=248,05 м³ CO₂, z=202,95 м³ H₂O.

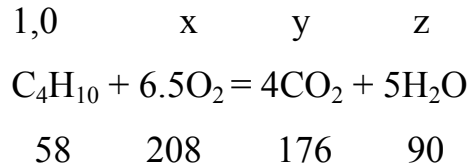
Аналогічно розраховуємо витрату кисню для спалювання решти компонентів газу і результати записуємо в табл. 3.1.



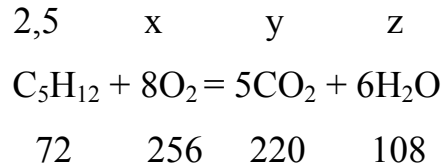
Для перебігу реакцій потрібно x = 7,84 м³ O₂; y = 6,16 м³ CO₂; z=3,78 м³ H₂O.



Для перебігу реакцій потрібно $x = 1,45 \text{ м}^3 \text{ O}_2$; $y = 1,2 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$; $z = 0,65 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}$.



Для перебігу реакцій потрібно $x=3,58 \text{ м}^3 \text{ O}_2$; $y=3,03 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$; $z=1,55 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}$.



Для перебігу реакцій потрібно $x=8,88 \text{ м}^3 \text{ O}_2$; $y=7,63 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$; $z=3,75 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}$.

Таблиця 3.1 – Розрахунок витрати повітря та кількості димових газів

Компоненти, що беруть участь у горінні			Продукти згорання, димові гази							
Паливо		Повітря								
Компонент	Кількість		O ₂	N ₂	Усього	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	Усього
	%	м ³								
CH ₄	90,2	90,2	360,8	1357,3	1718,1	248,05	202,95	1357,3	-	1808,3
C ₂ H ₆	2,1	2,1	7,84	29,49	37,3	6,16	3,78	29,49	-	39,43
C ₃ H ₈	0,4	0,4	1,45	5,45	6,9	1,20	0,65	5,45	-	7,30
C ₄ H ₁₀	1,0	1,0	3,58	13,46	17,04	3,03	1,55	13,46	-	18,04
C ₅ H ₁₂	2,5	2,5	8,88	33,40	42,28	7,63	3,75	33,40	-	44,86
CO ₂	0,7	0,7	-	-	-	0,70	-	-	-	0,70
N ₂	3,1	3,1	-	-	-	-	-	3,1	-	3,10
Усього $\alpha=1,0$	100	100	382,55	1439,1	1821,6	266,08	212,68	1442,2	-	1921,73
Усього $\alpha=1,1$	100	100	420,8	1583,01	2003,94	266,08	233,94	1586,52	38,25	2103,9

У результаті розрахунку дістанемо:

– при $\alpha=1,0$ потрібно $360,8+7,84+1,45+3,58+8,88=382,55 \text{ м}^3 \text{ O}_2$, або теоретична витрата повітря на 100 м^3 природного газу дорівнює:

$$382,55 : 0,21 = 1821,66 \text{ м}^3;$$

– при $\alpha=1,10$ практична витрата повітря на 100 м^3 палива становить $1,05 V_{\text{п}}=1912,743 \text{ м}^3$, об'єм димових газів – $2003,9 \text{ м}^3$.

Визначаємо нижчу теплоту згорання природного газу:

$$Q_{\text{н}}^{\text{п}} = \sum_{i=1}^n q_i c_i$$

де q_i – тепловий ефект реакції горіння i -го елемента палива, кДж/м³;

c_i – вміст i -го елемента у складі палива, частка;

n – кількість елементів у складі палива.

$$Q_n^p = 35800 \cdot 0,9 + 64940 \cdot 0,021 + 86943 \cdot 0,064 + 146500 \cdot 0,0025 = \\ = 38780,38 \text{ кДж/м}^3.$$

На підставі розрахунку горіння палива складаємо матеріальний баланс горіння палива (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Матеріальний баланс горіння палива

Надходження			Витрачання		
Речовина	Кількість		Речовина	Кількість	
	%	м ³		%	м ³
Природний газ	4,73	100	Димові гази	100	2103,9
CH ₄	4,27	90,2	CO ₂	13,88	266,08
C ₂ H ₆	0,09	2,1	H ₂ O	11,02	212,94
C ₃ H ₈	0,019	0,4	N ₂	75,047	1586,52
C ₄ H ₁₀	0,047	1,0	O ₂ надл	1,81	38,25
C ₅ H ₁₂	0,118	2,5			
CO ₂	0,033	0,7			
N ₂	0,146	3,1			
Повітря	94,79	2003,9			
O ₂	19,90	420,8			
N ₂	74,89	1583,01			
Усього	100	2103,9	Усього	100	2103,09

3.4 Розрахунок теплового балансу короткобарабанної печі

Складаємо тепловий баланс печі і визначити витрату природного газу для виплавлення алюмінієвих сплавів у короткобарабанній печі продуктивністю 3,75 т/год. Хімічний склад шихти надано в таблиці 2.14. Температура шихти, що завантажується, становить 18 °С. Температура шлаків, що зливаються, становить 780 °С. Температура підігрівання повітря становить 250 °С. Температура газів на виході з печі становить 900 °С.

Надходження теплоти

Теплота від згорання палива становить

$$Q_T = Q_n^p \cdot B,$$

де Q_n^p – нижча теплота згоряння природного газу, кДж/м³;

B – витрата палива, м³/год.

$$Q_T = 38780,38 \cdot B \text{ кДж/год.}$$

Фізична теплота, що вноситься підігрітим повітрям, дорівнює

$$Q_n = B \cdot V_n^{1,1} \cdot C_n \cdot t_n,$$

де $V_n^{1,1}$ – практична витрата повітря на одиницю палива при $\alpha = 1,1$ (табл. 3.2), м³/м³;

C_n – середня теплоємність повітря при t_n (табл. А.1 [12]), кДж/(м³·°С);

t_n – температура підігрівання повітря, °С.

$$Q_n = B \cdot \frac{2003,9}{100} \cdot 1,3139 \cdot 250 = 6614,5 \cdot B \text{ кДж/год.}$$

Теплота екзотермічних реакцій при окисненні шихти, що нагрівається, становить

$$Q_{екз} = q \cdot G \cdot a,$$

де $q = 10^{-2} \cdot \sum_{i=1}^n q_i \cdot C_i$ – тепловий ефект реакції окиснення шихти заданого складу, що нагрівається, кДж/кг;

C_i – вміст і-го елемента у складі шихти, %;

q_i – тепловий ефект реакції окислення і-го елемента шихти (табл. А.2 [12]), кДж/кг:

$$q = 10^{-2} \cdot (0,375 \cdot 25470 + 7 \cdot 30670 + 1,5 \cdot 2468 + 0,4 \cdot 7084 + 0,5 \cdot 5523 + 1 \cdot 7306 + 89,225 \cdot 30523) = 29642,6 \text{ кДж/кг};$$

G – годинна продуктивність печі, кг/год;

a – кількість металу, що окислився (частка від маси шихти), 0,0246.

$$Q_{екз} = 29642,6 \cdot 3750 \cdot 0,0246 = 2734529 \text{ кДж/год.}$$

4. Загальне надходження теплоти становить

$$Q_{np} = Q_T + Q_n + Q_{екз},$$

$$Q_{np} = 45394,88 \cdot B + 2734529 \text{ кДж/год.}$$

Витрачання теплоти

Витрата теплоти на нагрівання та розплавлення металу становить

$$Q_H = G \cdot [C_1 \cdot (t_{пл} - t_H) + i + C_2 \cdot (t_p - t_{пл})],$$

де C_1 – середня теплоємність алюмінію при нагріванні від t_H до $t_{пл}$ (табл.А.3 [12]), кДж/(кг·°C):

$$C_1 = (C_{t_H} + C_{t_{пл}}) : 2 = (0,88884 + 1,255) : 2 = 1,07192 \text{ кДж/(кг·°C);}$$

C_2 – середня теплоємність алюмінію при нагріванні від $t_{пл}$ до t_p (табл.А.3 [12]), кДж/(кг·°C):

$$C_2 = (C_{t_{пл}} + C_{t_p}) : 2 = (1,255 + 1,176) : 2 = 1,2155 \text{ кДж/(кг·°C);}$$

i – прихована теплота плавлення алюмінію, $i = 389,7$ кДж/кг;

$t_{пл}$ – температура плавлення металу, $t_{пл} = 660$ °C;

t_H – температура шихти, що завантажується, $t_H = 20$ °C;

t_p – робоча температура у печі, $t_p = 850$ °C.

$$Q_H = 3750 \cdot [1,07192 \cdot (660 - 18) + 389,7 + 1,2155 \cdot (850 - 660)] = 4908066 \text{ кДж/год.}$$

Теплота, що виноситься шлаками, становить

$$Q_{шл} = G_{шл} \cdot C_{шл} \cdot t_{шл},$$

де $G_{шл}$ – годинний вихід шлаків, 1250 кг/год;

$C_{шл}$ – середня теплоємність шлаків при $t_{шл}$, кДж/(кг·°C):

$$C_{шл} = (C_{NaCl} + C_{KCl}) / 2 = (0,9745 + 0,755) / 2 = 0,86475 \text{ кДж/(кг·°C);}$$

$t_{шл}$ – температура зливання шлаку, °C.

$$Q_{шл} = 1250 \cdot 0,86475 \cdot 780 = 843131 \text{ кДж/год.}$$

Втрати теплоти з димовими газами, що виходять з робочого простору печі, становлять

$$Q_{\text{дг}} = B \cdot V_{\text{дг}}^{1,1} \cdot C_{\text{дг}} \cdot t_{\text{дг}},$$

де $V_{\text{дг}}^{1,1}$ – об'єм димових газів на одиницю спалюваного палива при $\alpha=1,1$ (табл.3.2), $\text{м}^3/\text{м}^3$;

$$C_{\text{дг}} = \sum_{i=1}^n V_i \cdot C_i \quad \text{– середня теплоємність димових газів при } t_{\text{дг}}, \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C});$$

C_i – середня теплоємність i -го продукту згоряння при $t_{\text{дг}}$ (табл.А.1 [12]), $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$;

V_i – об'ємна частка i -го продукту згоряння в димових газах (табл. 3.2);

$$C_{\text{дг}} = 0,1363 \cdot 2,1915 + 0,1102 \cdot 1,6865 + 0,7504 \cdot 1,3817 + \\ + 0,0181 \cdot 1,4663 = 1,5465 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C});$$

$t_{\text{дг}}$ – температура димових газів на виході з печі, °C .

$$Q_{\text{дг}} = B \cdot \frac{2003,9}{100} \cdot 1,5465 \cdot 900 = 28027,68 \cdot B \text{ кДж}/\text{год.}$$

4. Витрати теплоти в результаті хімічної неповноти згоряння палива дорівнюють

$$Q_{\text{хим}} = 12100 \cdot B \cdot V_{\text{дг}}^{1,1} \cdot k_1,$$

де k_1 – кількість палива, що не догоряє, приймаємо $k_1=0,02$.

$$Q_{\text{хим}} = 12100 \cdot B \cdot \frac{2013,7}{100} \cdot 0,02 = 4873,154 \cdot B \text{ кДж}/\text{год.}$$

Втрати теплоти з механічним недогоранням становлять

$$Q_{\text{мех}} = B \cdot Q_n^p \cdot k_2,$$

де k_2 – кількість втраченого палива, приймаємо $k_2=0,03$.

$$Q_{\text{мех}} = B \cdot 38780,38 \cdot 0,03 = 1163,418 \cdot B \text{ кДж}/\text{год.}$$

Втрати теплоти у навколишнє середовище становлять

$$Q_{нав} = k_3 \cdot G,$$

де k_3 – питомі втрати теплоти, приймаємо $k_3 = 167,5$ кДж/кг.

$$Q_{нав} = 167,5 \cdot 3750 = 628000 \text{ кДж/год.}$$

Невраховані втрати теплоти дорівнюють

$$Q_{нп} = 0,1 \cdot Q_T,$$

$$Q_{нп} = 0,1 \cdot 38780,6 \cdot B = 3878,06 \cdot B \text{ кДж/год.}$$

Загальні витрати теплоти:

$$Q_в = Q_n + Q_{шл} + Q_{ог} + Q_{хим} + Q_{мех} + Q_{нав} + Q_{нп},$$

$$Q_в = 37669,186 \cdot B + 4205660 \text{ кДж/год.}$$

Визначаємо витрату палива B із рівності статей надходження та витрати теплоти:

$$Q_{пр} = Q_в.$$

$$45394,88 \cdot B + 2734529 = 45669,186 \cdot B + 42050660,$$

$$B = 1323,9 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Питома витрата палива $B_T = 1323,9 / 3,75 = 544 \text{ м}^3/\text{т.}$

Після підстановки значень витрати палива дістанемо:

$$Q_T = 51341000 \text{ кДж/год,}$$

$$Q_n = 8757000 \text{ кДж/год,}$$

$$Q_{ог} = 37106000 \text{ кДж/год,}$$

$$Q_{хим} = 6452000 \text{ кДж/год,}$$

$$Q_{мех} = 1541000 \text{ кДж/год,}$$

$$Q_{нп} = 5134000 \text{ кДж/год.}$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Тепловий баланс короткобарabanної печі

Надходження теплоти			Витрачання теплоти		
Стаття	Кількість		Стаття	Кількість	
	МДж/год	%		МДж/год	%
Теплота від згоряння палива	51341	83,293	Теплота на нагрівання і розплавлення металу	4908	7,96
Фізична теплота, що внесена підігрітим повітрям	8757	14,206	Теплота, що виводиться шлаками	843	1,367
Теплота екзотермічних реакцій	1541	2,500	Втрати теплоти з димовими газами	37106	60,199
			Втрати теплоти від хімічної неповноти згоряння палива	6452	10,467
			Втрати теплоти з механічним недогоранням	1541	2,5
			Втрати теплоти в навколишнє середовище	628	1,018
			Невраховані втрати теплоти	7486	8,329
			Нев'язка	5027	8,155
Усього	61639	100,00	Усього	61639	100,00

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Шкідливі та небезпечні фактори виробничого середовища під час виробництва сплавів із вторинної алюмінієвої сировини

Основними шкідливими чинниками під час виплавки алюмінієвих сплавів із вторинної алюмінієвої сировини є тепло- і газовиділення, а також неіонізуюче випромінювання. Найбільша кількість теплоти виділяється під час плавлення брухту, приготування і розливання алюмінієвих сплавів, менша кількість тепловиділень – під час випалювання, термічного сушіння алюмінієвої стружки та твердіння зливків.

Джерелом інтенсивних тепловиділень є плавильні печі: шахтна і короткобарабанна печі. Під час плавлення вторинної сировини і рафінування алюмінієвого розплаву температура у печі не більше 1000 °С, але за рахунок вогнетривкої кладки і кожуху печі температура поверхні печі складає близько 30 °С. Основна кількість теплоти виділяється при виливання алюмінієвого розплаву з печі, тому цю операцію слід проводити з використанням допоміжних щипців у спеціальних захисних рукавицях, а також теплота виділяється під час тверднення алюмінієвого сплаву.

Під час первинної обробки вторинної алюмінієвої сировини та її металургійної переробки для отримання алюмінієвих сплавів, робота, що проводиться, пов'язана з використанням і виділенням шкідливих речовин, наявністю і використанням електричного струму, експлуатацією обладнання з підвищеною температурою. Невиконання правил безпеки може привести до отруєння шкідливими газами, травмам, ураженню електричним струмом, термічним і хімічним опікам.

Перелік шкідливих речовин, що використовуються при виплавленні алюмінієвих сплавів із вторинної алюмінієвої сировини зведено в таблиці 4.1 [16,17].

Таблиця 4.1 – Перелік шкідливих речовин

Наіменування шкідливої речовини, формула	Характеристика дії на організм людини	Шляхи проникнення в організм людини	Засоби захисту і засоби попередження
Хлорид натрію	Викликає подразнення слизових оболонок верхніх дихальних шляхів і шкіри	Дихальні шляхи, шкіряні та слизові покрови	Засоби індивідуального захисту, правила гігієни, працювати під витяжною шафою
Кріоліт	Токсичний, викликає порушення діяльності центральної нервової системи, хвороби кісних тканин, очей і шкіряних покривів	Дихальні шляхи, шкіряні та слизові покрови	Засоби індивідуального захисту, правила гігієни, працювати під витяжною шафою, не допускати потрапляння кріоліту всередину організму
Хлорид калію	При попаданні на шкіряні рани ускладнюють загоєння	Шкіряні покрови	Засоби індивідуального захисту, не допускати потрапляння на рани

Чистий хлорид натрію (NaCl) має вигляд безбарвних кристалів, але з різними домішками його колір може приймати блакитний, фіолетовий, рожевий, жовтий або сірий відтінок. білі кубічні кристали або білий кристалічний порошок солоного смаку, без запаху [17]. Хлорид натрію помірно розчиняється у воді, мало розчинимий в етанолі, температури плавлення і кипіння дорівнюють 800,8 та 1465 °C відповідно. ГДК у робочій зоні становить 1 мг/м³ [16].

Кріоліт (3NaF·AlF₃) – мінерал з групи природних фторидів, безколірний або білий, інколи димчасто-сірий до майже чорного, червонувато-коричневого. За зовнішнім виглядом він є дрібнокристалічним порошком, який при комкуванні добре грудкується. Щільність (виміряна) мінералу рівна 2,96-2,98 г/см³, крихкий. Температура плавлення чистого кріоліту дорівнює 977 °C. На вугіллі після тривалого прожарення кульки розплавленого кріоліту розкладаються, залишається Al₂O₃ і при цьому відчувається запах фтору. Кріоліт помітно розчиняється у воді, повністю – в концентрованій сірчаній кислоті з виділенням HF, легко розчиняється також в HCl, важче – в щавлевій кислоті.

При потраплянні в організм людини погіршує склад крові, при систематичному потраплянні може викликати захворювання кісток та зубів. ГДК у робочій зоні близько $0,03 \text{ мг/м}^3$, клас небезпеки другий – високо небезпечні [17].

Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які супроводжують виробництво алюмінієвих сплавів під час первинній обробки вторинної алюмінієвої сировини надано в табл. 4.2.

Для захисту від дії шкідливих речовин передбачено механічну вентиляцію та природну аерацію. На роботах із шкідливими умовами праці, а також в особливих температурних умовах повинні бути засоби індивідуального захисту (халат, рукавиці гумові, рукавиці бавовняні).

Таблиця 4.2 – Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Наіменування шкідливого виробничого фактора	Параметр (норма)	Значення параметра на робочому місті	Характер дії на організм людини	Засоби захисту
Електричний струм	0,01А	Опір заземлення має бути не більше 10 Ом, опір ізоляції по паспорту на устаткування	Електрошок, електро-травма, електроудар, термічні опіки тіла, зупинка роботи серця і дихання	Діелектричні рукавиці

4.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів виробничого середовища

Для поліпшення умов праці і захисту працюючих від теплової дії та виділення пічних газів передбачено наступні заходи: теплоізоляція, механічна вентиляція, природна аерація, спецодяг і засоби індивідуального захисту плавильників.

Виробничі приміщення і місця зберігання вибухонебезпечних і пожежонебезпечних речовин повинні відповідати вимогам пожежної безпеки згідно з ГОСТ 12.1.004, вибухобезпечності згідно з ГОСТ 12.1.010 і повинні

бути обладнані знаками пожежонебезпеки згідно з ГОСТ 12.4.026, засобами пожежогасіння згідно з ГОСТ 12.4.009 і пожежною сигналізацією [4,16].

Виробничі приміщення в місцях утворення шкідливих речовин, вибухонебезпечного пилу і пожежонебезпечних речовин повинні бути обладнані вентиляцією відповідно до ГОСТ 12.4.021, відокремлені від джерел загоряння, вибуху і відкритого вогню таким чином, щоб забезпечити:

а) виконання санітарно-гігієнічних вимог щодо повітря робочої зони відповідно до ГОСТ 12.1.005;

б) герметизацію апаратури і комунікацій.

Повітропроводи для видалення пилу повинні мати гладкі внутрішні поверхні без карманів і поглиблень.

Для зняття статичної електрики пилоприймальники і повітропроводи вентиляційних установок повинні мати заземлення, виконане і позначене відповідно до ГОСТ 12.2.007.0—ГОСТ 12.2.007.14 і ГОСТ 21130.

Не допускають наявності сторонніх вибухонебезпечних предметів (сторонніх вибухонебезпечних речовин) у металобрухті. Підприємства й організації, що заготовляють, переробляють і переплавляють брухт та відходи кольорових металів і сплавів, а також які відвантажують або перевантажують металобрухт у портах та інших пунктах, повинні [4]:

а) перевіряти весь брухт і відходи кольорових металів і сплавів на вибухобезпечність;

б) видаляти з брухту і відходів усі предмети, що містять вибухонебезпечні, пальні і легкозаймисті речовини.

Усі роботи з виявлення і знищення вибухонебезпечних предметів (речовин) необхідно проводити відповідно до вимог ДНАОП 0.00-1.17 і ДНАОП 1.2.00-5.01 [17].

Контроль за вибухобезпечністю брухту і відходів кольорових металів та сплавів здійснюють під час:

- відвантаження;

- розкриття вагонів, контейнерів, оглядання брухту і відходів, що постачають будь-яким видом транспорту;
- сортування на лініях, столах, майданчиках;
- пакування;
- завантаження устаткування, що перероблює брухт;
- вогневого і механічного розбирання.

Вивантаження і перевірку на вибухобезпечність брухту і відходів кольорових металів та сплавів, що надійшли на підприємство, а також видалення з них вибухонебезпечних предметів (крім незнешкоджених боєприпасів) потрібно проводити під керівництвом піротехніка або контролера алюмінієвих брухту і відходів, які пройшли спеціальне навчання і мають відповідне посвідчення.

Перед початком роботи з видалення вибухонебезпечних предметів робітники повинні бути проінструктовані у встановленому порядку про запобіжні заходи під час проведення цих робіт. Роботу виконують після оформлення наряду-допуску на проведення робіт.

Під час передачі шихти (з алюмінієвих брухту і відходів та їх сплавів) на металургійну переробку контролер повинен робити позначку щодо вибухобезпечності шихти у документах на кожну партію.

Алюмінієві брухт і відходи та знешкоджені предмети повинні відповідати таким вимогам:

1) вибухові пристрої та засоби підривання повинні бути в розібраному виді і не повинні мати зарядів, запальників, детонаторів, порохової набивки й інших вибухонебезпечних предметів (речовин);

2) артилерійські гільзи і гільзи стрілецького озброєння повинні бути без капсульних і гальваноударних втулок і не повинні мати непрострілених капсулів і залишків пороху;

3) літаковий брухт і брухт військової техніки повинні бути звільнені від пально-мастильних матеріалів, рідин, боєприпасів, порожніх предметів, вибухонебезпечних агрегатів, вузлів і деталей, амортизаторів тощо;

4) ракетні двигуни, порохові газогенератори і порохові акумулятори тиску повинні бути звільнені

від піропатронів, порохових зарядів, пальників та інших вибухонебезпечних елементів;

5) металеві масиви і козли, що піддавалися дробленню вибухом, не повинні мати шпурів. Усі шпури повинні бути розірвані і пропалені або пробиті наскрізь;

6) місткості всіх типів і розмірів (балони, бочки тощо) повинні бути очищені від вмісту (у тому числі від атмосферних осадів) і доступні для огляду внутрішньої поверхні.

Горловини балонів повинні бути відкриті, а на їхньому корпусі має бути прорізано другий отвір. Кришки і днища бочок та інших місткостей повинні бути розкриті;

7) банки, цистерни і резервуари з-під кислот і паливних речовин повинні бути промиті водою або спеціальними лужними розчинами.

Для захисту від дії шкідливих хімічних речовин при плавленні передбачена механічна вентиляція (зонти над завантажувальними вікнами і вікном для видалення шлаків) та природна аерація. На роботах зі шкідливими умовами праці, а також в особливих температурних умовах повинні бути використані засоби індивідуального захисту (бавовняний костюм, наруківники, рукавиці гумові, рукавиці бавовняні, захисні платмасові щитки).

Для запобігання пожежі площу навколо шахтної і короткобарабанної плавильних печей необхідно очистити від легкозаймистих предметів і речовин. Щит з пожежним інвентарем, пісок для пожежогасіння і пожежний кран розмістити на відстані щонайбільше 50 м від печі.

Для запобігання вибухові заборонено користуватися відкритим полум'ям для пошуку місць витікання газу. Якщо в приміщенні чути сильний запах газу, заборонено запалювати вогонь, а також вмикати та вимикати електрообладнання. Для запобігання вибухові перед розпалюванням печі

необхідно протягом 5 хв провентилювати камеру печі повітрям, яке подавати в піч від дуттьового вентилятора крізь пальники.

Якщо під час розпалювання пальників газоповітряна суміш не запалюється або, коли гаснуть обидва пальники, необхідно перекрити надходження газу в піч і ще раз провентилювати камеру повітрям протягом 5 хвилин. Відтак виставити параметри газу і повітря, необхідні для розпалювання, і повторити процес розпалювання.

У приміщені, де розташовані печі, має бути організована загальна вентиляція (природна та аварійна) для запобігання отруєнню оксидом вуглецю.

Щоб запобігти розбризкуванню розплаву, перед випусканням розплавленого металу треба обов'язково прогрівати жолоб спеціальним атмосферним пальником.

Регулярно перевіряти умови виробничої санітарії на робочому місці: освітлення і температуру повітря, ефективність вентиляції, чистоту.

Перед початком роботи слід оглянути зовні шахтну і короткобарабанну плавильні печі, газо- і повітропроводи, прилади та щит контрольно-вимірювальних приладів і апаратури, пересвідчитися в тому, що вони не мають зовнішніх пошкоджень. Пересвідчитися також, що запірно-регулюючі органи знаходяться в належному стані, тобто, ті крани, заслінки та засувки, які мають бути закриті є дійсно закритими, а ті, що мають бути відкритими є дійсно відкритими.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано джерела утворення, склад, властивості і особливості вторинної алюмінієвої сировини різних видів.

2. Вивчено класифікацію та характеристику алюмінієвих сплавів, в тому числі виготовлених із вторинної алюмінієвої сировини.

3. Проаналізовано способи переробки вторинної алюмінієвої сировини та способи виплавки алюмінієвих сплавів.

4. Вивчено технологічні особливості переробки вторинної алюмінієвої сировини для виробництва алюмінієвих сплавів. Для виплавки сплаву АЛ10В вибрано компонування шахтної печі з обертовою короткобарабанною піччю. Розроблено технологію виплавки сплаву АЛ10В із вторинної алюмінієвої сировини.

5. Складено матеріальний баланс виплавки сплаву АЛ10В та визначено витратні коефіцієнти.

6. Виконано конструктивний розрахунок обертової короткобарабанної печі. Складено тепловий баланс виплавки сплаву АЛ10В та визначено питому витрату палива.

7. Проведено аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів виробництва алюмінієвих сплавів із вторинної алюмінієвої сировини. Розроблено заходи щодо поліпшення умов праці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник / Д. Ф. Чернега та ін. ; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.
2. Nikolay A. Belov, Dmitry G. Eskin and Andrey A. Aksenov. Multicomponent Phase Diagrams : Application for Commercial Aluminum Alloys. Elsevier, 2005. 413 p.
3. Верховлюк А. М., Нарівський А. В., Могилатенко В. Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб. / за ред. акад. НАН України В. Л. Найдека. Київ : Видавничий дім “Вініченко”, 2016. 224 с.
4. ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93). Сплави алюмінієві ливарні. Технічні умови. [Чинний від 1994-10-31]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1995. 54 с.
5. Нестеренко Т. М., Нестеренко О. М., Колобов Г. О., Грицай В. П. Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини : навч. посіб. Київ : Вища школа, 2007. 207 с.
6. Timm H. Modern Lightweight Design At Audi. *Aluminium International Today*. 2018. October. Issue 24. P.27.
7. Kircher G. Aluminium scrap as vital source of aluminium supply. *Erzmetall*. 2011. Vol. 64, № 4. P. 210–212.
8. ДСТУ 3211:2009/ГОСТ 1639:2009. Брухт і відходи кольорових металів. Загальні технічні умови. [Чинний від 2009-10-05]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 76 с.
9. Нестеренко Т. М., Артеменко Я. С. Переробка алюмінієвих виробів, використаних у будівництві та транспорті, для ресурсозбереження. *Green Constraction (Зелене будівництво)* : матеріали II міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 13-14 квітня 2023 р. Київ : 2023. С. 236-241.
10. Артеменко Я. С., Комок О. О., Нестеренко Т. М. Переробка алюмінієвого

та титанового брухту для вилучення кольорових металів : *Молода наука-2023* : зб. наук. праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених. Запоріжжя : ЗНУ, 2023. С. 271–272.

11. Діденко Л. М., Нестеренко Т. М. Дослідження очищення розплавів кольорових металів і сплавів від домішок. *Молода академія 2021* : збірка тез доповідей Всеукр. науково-техн. конф. студентів і молодих учених, м. Дніпро, 20-21 травня 2021. Дніпро : НметАУ, 2021. Т. С.21.

12. Діденко Л. М., Нестеренко Т. М. Особливості технологічного контролю домішок при виробництві силумінів із вторинної сировини. *Молода наука-2023* : зб. наук. праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених. Запоріжжя : ЗНУ, 2023. С. 276–278.

13. Нестеренко Т. М. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Виробництво алюмінієвих сплавів із рудної і вторинної сировини». Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 47 с.

14. Нестеренко Т. М., Воденнікова О. С. Конструкції технологічних агрегатів кольорової металургії : конспект лекцій. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 100 с.

15. Нестеренко Т. М., Падалка В. П. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Металургія легких металів». Розділ «Печі для плавки вторинної алюмінієвої сировини». Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 49 с.

16. Гандзюк М. П., Желібо Е. П., Халимовський М. О. Основи охорони праці : підручник. Київ : Каравела, 2005. 393 с.

17. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник. Львів : Афіша, 2002. 318 с.