

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

Кафедра Металургії

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему "Вдосконалення технології комплексного  
рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих із  
вторинної алюмінієвої сировини"

Виконав: студент 2 курсу, групи МЕТ-18-2мг  
спеціальності 136 "Металургія"

(код і назва спеціальності)

освітньої програми "Металургія кольорових металів"

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(код і назва спеціалізації)

Д.С. Кусер

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, доцент, к.т.н. Костеренко Т.М.

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

Рецензент доцент, доцент, к.т.н. Харченко О.В.

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


Запоріжжя

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Металургії  
Кафедра Металургії  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 136 "Металургія"  
(код та назва)  
Освітня програма "Металургія кольорових металів"  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри   
« 12 » Вересня 2019 року

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Кусер Дмитр Сергійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи (проекту) "Вдосконалення технології комплексного рафінування алюмінієвих розливів, окришаних із вторинної алюмінієвої сировини"  
керівник роботи Кестеренко Ветяна Миколаївна, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом ЗНУ від « 10 » Вересня 2019 року № 1540-є
- Строк подання студентом роботи 27 грудня 2019 р.
- Вихідні дані до роботи Вторинна алюмінієва сировина складається з металевої стрічки банок для напоїв і кришок для закупорювання прохолоджуваних напоїв
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Аналітична частина. 2 Методика дослідження. 3 Дослідницька частина. 4 Охорона праці та техногенна безпека. 5 Економічна частина. Висновки. Перелік джерел посилання.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
1 Аналітична частина - 6 л. 2 Методика дослідження - 1 л. 3 Дослідницька частина - 5 л. 4 Охорона праці та техногенна безпека - 1 л. 5 Економічна частина - 1 л.

о консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Нестеренко Т.М., доцент	<i>Месс</i> 12.09.2019	<i>Месс</i> 10.10.2019
2	Нестеренко Т.М., доцент	<i>Месс</i> 12.09.2019	<i>Месс</i> 30.10.2019
3	Нестеренко Т.М., доцент	<i>Месс</i> 12.09.2019	<i>Месс</i> 30.10.2019
4	Нестеренко Т.М., доцент	<i>Месс</i> 12.09.2019	<i>Месс</i> 02.12.2019
5	Нестеренко Т.М., доцент	<i>Месс</i> 12.09.2019	<i>Месс</i> 24.12.2019

7 Дата видачі завдання 12.09.2019 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	07.10.2019	Виконано
2	Аналітична частина	21.10.2019	Виконано
3	Методика дослідження	31.10.2019	Виконано
4	Дослідницька частина	29.11.2019	Виконано
5	Охорона праці та техногенна безпека	14.12.2019	Виконано
6	Економічна частина	23.12.2019	Виконано
7	Трафінська частина	27.12.2019	Виконано

Студент *[підпис]* Д.С. Кучер  
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) *Месс* Т.М. Нестеренко  
(підпис) (ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер *[підпис]* С.В. Башній  
(підпис) (ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

*Кучер Д.С.* Вдосконалення технології комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини.

Кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 136 – Металургія, науковий керівник Т.М. Нестеренко. Запорізький національний університет. Інженерний інститут. Факультет металургії, кафедра металургії. 2020.

Залучення вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям до металургійної переробки, незважаючи на значні економічні та екологічні переваги, стримується забрудненням розплавів, що утворюються, неметалевими домішками та газами. У роботі наведено аналіз причин забруднення алюмінієвих розплавів твердими неметалевими домішками та газами. Для очищення від неметалевих домішок та водню алюмінієвих розплавів, отриманих під час плавлення вторинної сировини, обґрунтовано вибір фільтрування крізь зернисті фільтри. Алюмінієві розплави, що досліджувалися, отримано плавленням використаного алюмінієвого пакування під шаром гранульованого чотирикомпонентного флюсу (56 % NaCl, 22 % NaF, 15 % KCl, 7 % Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>). Як фільтрувальний матеріал для дослідження вибрано магнезит, сплав фторидів кальцію та магнію (50 % CaF<sub>2</sub>, 50 % MgF<sub>2</sub>). Приведено результати дослідження впливу матеріалу фільтра, розміру зерен фільтрувального матеріалу, висоти шару фільтра, температури фільтрування на ступінь рафінування розплаву.

Ключові слова: АЛЮМІНІЄВИЙ РОЗПЛАВ, ВТОРИННА АЛЮМІНІЄВА СИРОВИНА З ЛАКОФАРБОВИМ ПОКРИТТЯМ, ЗЕРНИСТІ ФІЛЬТРИ, ФІЛЬТРУВАННЯ.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ  
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА

1. Кучер Д. С., Нестеренко Т. М. Дослідження комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини. Металургія як основа сучасної промисловості : матеріали XXIV науково-техн. конф. студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів (м. Запоріжжя, 26–29 лист. 2019 р.). Т. І.. Запоріжжя, 2019. С. 7–8.

2. Кучер Д. С., Нестеренко Т. М. Дослідження очищення алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини, фільтруванням. Збірник наукових праць магістрантів факультету металургії ІІ ЗНУ. Вип. 1 (15). Запоріжжя: ІІ ЗНУ, 2019. С. 181-186.

3. Нестеренко Т. М., Нестеренко О. М., Кучер Д. С. Фільтрування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям, крізь зернисті фільтри. URL: <https://sworld.education/index.php/ru/ge10-6/31891-ge10-029> (дата звернення: 28.12.2019).

## ABSTRACT

*Kucher D.S.* The Improvement of the Complex Refining Technology of the Aluminium Melts Obtained from Secondary Aluminium Raw Materials.

Qualifying work for obtaining a master's degree in higher education by specialty 136 – Metallurgy, scientific supervisor T.N. Nesterenko. Zaporizhzhya National University. Engineering Institute. Faculty of Metallurgy, Department of Metallurgy. 2020.

The involvement of secondary raw aluminium materials with lacquer and paint coating in metallurgical processing despite significant economic and environmental benefits is hampered by contamination of the formed melts with non-metallic impurities and gases. The paper presents an analysis of the causes of aluminium melts contamination by solid non-metallic impurities and gases. The choice of filtration through granular filters is substantiated for purification of aluminium melts received by smelting of secondary raw materials. The investigated aluminium melts were obtained by melting of used aluminium packages under a layer of granular four-component flux (56 % NaCl, 22 % NaF, 15 % KCl, 7 % Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>). Magnesite, an alloy of calcium and magnesium fluorides (50 % CaF<sub>2</sub>, 50 % MgF<sub>2</sub>) were chosen as a filter material for the study. The results of the study of the influence of the filter material, the filter material grain size, the filter layer height, the filtering temperature to the refining degree of the melt are presented.

Keywords: ALUMINIUM MELT, SECONDARY RAW ALUMINIUM MATERIALS WITH LACQUER AND PAINT COATING, GRANULAR FILTERS, FILTRATION.

## АННОТАЦИЯ

*Кучер Д.С.* Усовершенствование технологии комплексного рафинирования алюминиевых расплавов, полученных из вторичного алюминиевого сырья.

Квалификационная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 136 – Metallurgy, научный руководитель Т.Н. Нестеренко. Запорожский национальный университет. Инженерный институт. Факультет металлургии, кафедра металлургии. 2020.

Вовлечение вторичного алюминиевого сырья с лакокрасочными покрытиями в металлургическую переработку, несмотря на значительные экономические и экологические преимущества, сдерживается загрязнением образующихся расплавов неметаллическими примесями и газами. В работе приведен анализ причин загрязнения алюминиевых расплавов твердыми неметаллическими примесями и газами. Для очистки от неметаллических примесей и водорода алюминиевых расплавов, полученных при плавке вторичного сырья, обоснован выбор фильтрования через зернистые фильтры. Исследованные алюминиевые расплавы получены при плавке использованной алюминиевой упаковки под слоем гранулированного четырехкомпонентного флюса (56 % NaCl, 22 % NaF, 15 % KCl, 7 % Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>). В качестве фильтровального материала для исследования выбраны магнезит, сплав фторидов кальция и магния (50 % CaF<sub>2</sub>, 50 % MgF<sub>2</sub>). Приведены результаты исследования влияния материала фильтра, размера зерен фильтровального материала, высоты слоя фильтра, температуры фильтрования на степень рафинирования расплава.

Ключевые слова: АЛЮМИНИЕВЫЙ РАСПЛАВ, ВТОРИЧНОЕ АЛЮМИНИЕВОЕ СЫРЬЕ С ЛАКОКРАСОЧНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ, ЗЕРНИСТЫЕ ФИЛЬТРЫ, ФИЛЬТРОВАНИЕ.

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 102 с., 24 табл., 17 рис., 3 додатки, 48 джерел.

ВТОРИННА АЛЮМІНІЄВА СИРОВИНА, НЕМЕТАЛЕВІ ДОМІШКИ, РАФІНУВАННЯ, СТУПІНЬ РАФІНУВАННЯ, ФІЛЬТРУВАННЯ.

Об'єкт дослідження: процес комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям.

Предмет дослідження: вплив технологічних умов фільтрування крізь зернисті фільтри на ступінь рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини, від неметалевих домішок та водню.

Мета роботи: дослідити особливості та вибрати технологічні умови комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям.

Методика дослідження: визначення ступеня рафінування; визначення металургійного виходу; визначення балу пористості; визначення масової частки водню в алюмінієвому розплаві методом першого пазирка; термодинамічні розрахунки.

Одержані наслідки та їх новизна: обґрунтовано вибір фільтрувальних матеріалів для комплексного рафінування алюмінієвих розплавів в інтервалі температур 400-800 °С; досліджено кінетику фільтрування алюмінієвих розплавів крізь зернисті фільтри; обчислено за експериментальними даними величина коефіцієнта адгезійної активності матеріалу фільтра із зерен сплаву фторидів і магнезиту; визначено оптимальні технологічні умови комплексного рафінування; розроблена технологічна схема виготовлення алюмінієвих сплавів шляхом комплексного рафінування із залученням до шихти вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям.

Проведеними дослідженнями підтверджено доцільність використання зернистих фільтрів, виготовлених зі сплаву фторидів кальцію та магнію, для видалення зважених неметалевих домішок із розплавів, отриманих під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям.

## ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	8
1 Аналітична частина.....	11
1.1 Вимоги до якості алюмінієвих розплавів. Домішки в розплавах.....	11
1.2 Вдосконалення технології та обладнання для переробки.....	
вторинної алюмінієвої сировини.....	16
1.3 Рафінування алюмінієвих розплавів.....	21
1.4 Особливості флюсового рафінування алюмінієвих розплавів.....	22
1.5 Закономірності фільтрування алюмінієвих розплавів крізь	
зернисті фільтри.....	31
2 Методика дослідження.....	36
2.1 Характеристики вихідних матеріалів і обладнання.....	36
2.2 Методика визначення металургійного виходу.....	37
2.3 Методики визначення газонасиченості сплаву та вмісту	
неметалевих домішок.....	38
2.4 Методика фільтрування алюмінієвих розплавів.....	40
2.5 Методика проведення термодинамічних розрахунків.....	41
3 Дослідницька частина.....	46
3.1 Термодинамічний аналіз реакцій взаємодії алюмінію та оксиду	
алюмінію з компонентами флюсу та фільтрувальними матеріалами	46
3.2 Вплив температури флюсового рафінування на якість	
очищення алюмінієвих розплавів.....	50
3.3 Вплив технологічних умов фільтрування крізь зернисті фільтри	
на якість алюмінієвих розплавів.....	54
3.4 Заходи щодо впровадження результатів дослідження.....	59
4 Охорона праці та техногенна безпека.....	63
4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих чинників, що	
впливають на дослідника в металургійній лабораторії.....	63

4.2	Заходи з поліпшення умов праці.....	65
4.3	Виробнича санітарія.....	67
4.4	Електробезпека.....	69
4.5	Заходи пожеженої безпеки.....	74
5	Економічна частина.....	76
5.1	Організація виконання науково-дослідницької роботи.....	102
5.1.1	Планування етапів науково-дослідницької роботи.....	76
5.1.2	Визначення трудомісткості виконання НДР.....	77
5.1.3	Визначення числа виконавців НДР.....	78
5.1.4	Розрахунок тривалості етапів НДР.....	78
5.1.5	Побудова стрічкового графіка проведення науково- дослідної роботи.....	79
5.2	Розрахунок кошторису витрат на проведення дослідження.....	81
5.2.1	Розрахунок витрат на основні матеріали.....	81
5.2.2	Розрахунок витрат на амортизацію обладнання.....	82
5.2.3	Розрахунок витрат на електроенергію.....	83
5.2.4	Розрахунок заробітної плати й відрахувань.....	83
5.2.5	Накладні витрати.....	87
5.2.6	Зведений кошторис витрат на проведення науково- дослідної роботи.....	87
	Загальні висновки.....	89
	Перелік джерел посилання.....	91
	Додаток А. Тези доповіді на XXIV науково-технічній конференції II ЗНУ.....	95
	Додаток Б. Стаття у “Збірник наукових праць магістрантів факультету металургії.....	98
	Додаток В. Довідка про публікацію статті у журналі проекту “SWorld”...	102



## ВСТУП

Завдяки своїм унікальним характеристикам алюміній знаходить все більше застосування в багатьох сферах людської діяльності. Впродовж останніх тридцяти років споживання алюмінію росло найшвидшими темпами порівнянно з рештою металів.

Важливу роль у виробництві алюмінію і виробів з нього займає повторне залучення алюмінієвого брухту до технологічного процесу. По оцінках фахівців до 2030 р. споживання алюмінію в світі зростатиме до 50 млн. т, серед яких частка вторинного металу становитиме 22-24 млн.т [1,2].

У складі вторинної алюмінієвої сировини за останні роки збільшилася кількість брухту, забрудненого лакофарбовими покриттями та пластмасами. Вміст неметалевих домішок у складі вторинної сировини може досягати 10 % [1-5]. Залучення використаного алюмінієвої пакування до металургійної переробки, незважаючи на значні економічні та екологічні переваги, стримується забрудненням розплавів, що утворюються, неметалевими домішками та газами.

Викристання алюмінію як пакувального матеріалу обумовлено низкою переваг: герметичність, корозійна стійкість, хімічна нейтральність, теплостійкість, теплопровідність, питома міцність, висока технологічність при формоутворенні, відмінні декоративні можливості, екологічність використання [4]. Алюміній використовують для виробництва різних видів пакування різноманітного призначення: гнучкого, напівжорсткого, жорсткого.

Висока хімічна активність алюмінію спричинює насичення алюмінієвих розплавів газоподібними і твердими включеннями під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини. Під час металургійної переробки сировини з лакофарбовим покриттям утворюються розплави з підвищеним вмістом неметалевих включень. Тому для видалення оксидних включень та дегазації розплавів використовують рафінування.

В Україні існує проблема створення технології переробки вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям на якісний метал, придатний для виготовлення тонкостінних алюмінієвих виробів.

*Мета роботи* – дослідити особливості та вибрати технологічні умови комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям.

*Завдання дослідження:*

1. Проаналізувати джерела і закономірності забруднення алюмінієвих розплавів.

2. Проаналізувати особливості сучасних способів рафінування алюмінієвих розплавів флюсами і фільтруванням.

3. Вибрати фільтрувальні матеріали для очищення алюмінієвих розплавів, від дрібних неметалевих домішок.

4. Дослідити вплив розміру зерен, висоти шару і типу фільтрувального матеріалу, температури фільтрування на якість розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям. Вибрати технологічні умови комплексного рафінування.

5. Розробити технологічну схему виготовлення алюмінієвих сплавів шляхом комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям.

*Об'єкт дослідження* – процес комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям.

*Предмет дослідження* – вплив технологічних умов фільтрування крізь зернисті фільтри на ступінь рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини, від неметалевих домішок та водню.

*Наукова новизна:*

1. Термодинамічним аналізом взаємодії алюмінію і його оксиду з чотирикомпонентним флюсом ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) і фільтрувальними

матеріалами ( $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{MgO}$ ) обґрунтовано вибір компонентів флюсу і фільтрувальних матеріалів для комплексного рафінування алюмінієвих розплавів в інтервалі температур 400-800 °С.

2. Експериментально встановлено, що в досліджуваному інтервалі розмірів зерен і висоти шару фільтра ступінь рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих з вторинної сировини, від зважених неметалевих домішок залежить від розмірів зерен, висоти шару і типу фільтрувального матеріалу. Чим більша висота шару і менший розмір зерна матеріалу фільтра, тим більша кількість домішок затримується фільтром із сплаву фторидів і магнезиту.

3. Досліджено кінетику фільтрування алюмінієвих розплавів крізь зернисті фільтри. Величина коефіцієнта адгезійної активності матеріалу фільтра, яку обчислено за експериментальними даними за рівнянням кінетики фільтрування, для фільтра із зерен сплаву фторидів і магнезиту дорівнює 6,8 та 2,156 відповідно.

*Практичне значення:*

1. Для отримання однакового ступеня рафінування розмір зерна фільтра зі сплаву фторидів може бути в 1,5–2 рази більший, ніж розмір зерна магнезиту.

2. Запропоновані технологічні умови комплексного рафінування шляхом рафінування флюсом під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям і подальше фільтрування отриманих алюмінієвих розплавів дозволяють знизити газонасиченість металу до 0,22 см<sup>3</sup>/100 г металу (вміст водню не перевищує встановленого показника) і масову частку оксиду алюмінію до 0,12 мм<sup>2</sup>/см.

3. Розроблена технологічна схема виготовлення алюмінієвих сплавів шляхом комплексного рафінування із залученням до шихти вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям.

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Вимоги до якості алюмінієвих розплавів. Домішки в розплавах

Висока хімічна активність алюмінію у розплавленому стані спричинює додаткове забруднення розплавів, що утворюються під час плавлення некомпактної і легковагої вторинної алюмінієвої сировини, газами ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2O$  та ін.) та твердими неметалевими домішками (оксидні плівки, шлак тощо). Неметалеві домішки (тверді й газоподібні) потрапляють у алюмінієвий розплав переважно з шихтових матеріалів, а насичення ними відбувається під час виплавляння і розливання сплавів. Найбільш шкідливою серед газових домішкою для алюмінієвих розплавів є водень. На ступінь забруднення алюмінієвого розплаву твердими і газоподібними неметалевими домішками впливають склад і сортність, способи зберігання та підготовки шихти, черговість завантаження компонентів шихти, способи перемішування та переливання розплаву, рафінування, методи доставляння розплаву на розливання [6-13]. Перелічені чинники залежно від специфічних особливостей алюмінієвого сплаву, що виготовляють, вносять свій внесок у змінення якості розплаву.

Гази знаходяться в розплавленому металі в розчиненому виді, при твердінні розплаву утворюють тверді розчини заміщення або впровадження. Неметалеві домішки (оксиди) знаходяться в розплавленому металі у вигляді нерозчинних твердих утворень (дисперсних частинок, оксидних плівок, частинок футеровки тощо). Метали, що знаходяться в алюмінієвому сплаві, утворюють складну систему структурних складових, властивості, кількість і форма яких визначають властивості сплаву. Метали, що погіршують в даній композиції властивості сплаву, є шкідливими домішками і допускаються їх вміст не більше певної кількості. У більшості алюмінієвих сплавів шкідливою домішкою є Fe, в багатьох ливарних сплавах – також Mg і Zn, а в сплавах, що

деформуються, – Si. У деяких сплавах шкідливими домішками є Pb, Sn та ін. [16,18].

Наявність у складі шихтових матеріалів забруднених відходів і повернень власного виробництва, а також вторинної алюмінієвої сировини, що містить дрібні часточки з інших металів, які важко відокремити, ще більше змінює хімічний склад розплаву, збільшуючи вміст неметалевих і металевих домішок. Тому поліпшення якості виробів з алюмінієвих сплавів неможливо без зниження вмісту металевих і неметалевих домішок в сплавах.

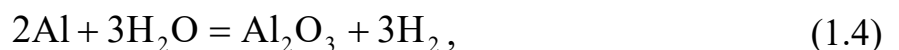
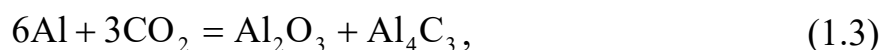
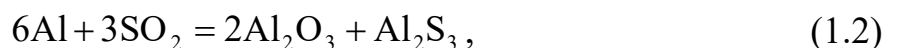
Алюміній і компоненти його сплавів взаємодіють з киснем, воднем, азотом, парою води, сірчистим і вуглецевим газами, оксидом вуглецю, різними вуглеводнями. Найбільш інтенсивно ці взаємодії відбуваються з розплавленим металом, забруднюючи його продуктами взаємодії.

Алюміній з киснем активно реагує при кімнатній і підвищеній температурі, тому його поверхня завжди вкрита оксидною плівкою:

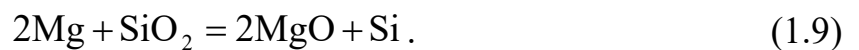
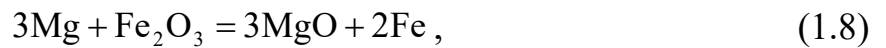
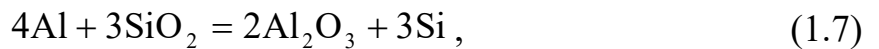
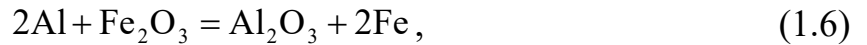


Інтенсивність окислення залежить від вологості навколишнього середовища, температури нагрівання та складу алюмінієвого сплаву.

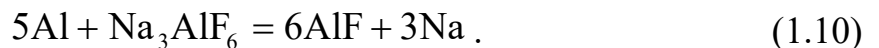
Взаємодії алюмінієвого розплаву з пічними газами і металотермічні реакції у рідкій ванні приводять до окислювання й ошлакування металу, внаслідок чого метал втрачається зі шлаками або утворює неметалеві включення, що потрапляють у сплав та погіршують його якість. Взаємодія алюмінієвого розплаву з пічними газами приводить до окислювання практично всіх складового сплаву. Однак у присутності магнію втрати металу різко зростають завдяки вибіркового окислюванню магнію, і прискоренню окислювання алюмінію з утворенням шпінелі  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ :



Металотермічні реакції у рідкій ванні характерні для алюмінію і магнію, крім збільшення втрат металу викликають перегрів ванни через їхню високу екзотермічність:



Хімічні втрати алюмінію різко зростають при додаванні до флюсів криоліту:



Механічні втрати металу обумовлені заплутуванням рідкого металу в шлаку через поверхневі і в'язкісні явища та просоченням футеровки ванни в силу капілярних ефектів. Для зменшення втратами металу зі шлаками слід, по-перше, зменшити засміченість шихти і, таким чином, знизити кількість одержаного шлаку; по-друге, підвищувати рідкоплинність шлаків застосуванням достатньої кількості флюсів і створити температурні умови, які сприяють виділенню крапель металу від шлаку.

Взаємодія з воднем. Алюміній з воднем не утворює хімічних сполук. Основна кількість водню знаходиться в алюмінії у вигляді твердого розчину впровадження. Решта (не більш 5-7 %) цього газу адсорбована на поверхні твердих неметалевих включень в металі. Розчинність водню в твердому і розплавленому алюмінії на два-три порядки нижча, ніж в деяких інших металах (магній, нікель, залізо). Проте на водень припадає понад 80 % від загальної кількості газів, що визначаються в алюмінії. Розчинність водню в алюмінії збільшується з підвищенням температури (як у твердому, так і в рідкому стані). Оскільки водень розчиняється в алюмінії в атомарному вигляді, то його розчинність залежно від парціального тиску і температури описується рівнянням Бореліуса [14]:

$$C = K \cdot \sqrt{P_{\text{H}_2}} \cdot e^{-\Delta H/2RT}, \quad (1.11)$$

де  $C$  – розчинність газу,  $\text{см}^3/100$  г металу;

$K$  – стала, що залежить від температури і складу сплаву;

$P_{\text{H}_2}$  – парціальний тиск водню, 133,3 Па;

$\Delta H$  – теплота розчинення водню в алюмінії, кДж/моль;

$R$  – універсальна газова стала,  $8,314 \cdot \text{Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$ ;

$T$  – температура, К.

Теплота розчинення водню в рідкому і твердому алюмінії складає 105,0 кДж/моль і 54,5 кДж/моль відповідно.

При постійній температурі розчинність водню як двоатомного газу залежно від тиску описується законом Сіверта [16]:

$$C = K_C \cdot \sqrt{P_{\text{H}_2}}, \quad (1.12)$$

де  $K_C$  – стала, що залежить від температури і складу сплаву.

Рівняння (1.12) на практиці застосовують в логарифмічній формі:

$$\lg C = -A/T + B + 1/2 \cdot \lg P, \quad (1.13)$$

де  $A = -\Delta H/(4,6 \cdot R)$ ;  $B = \lg K$ .

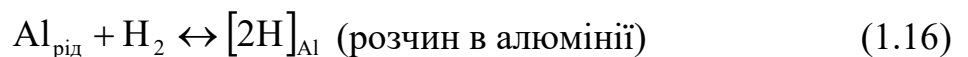
Розчинність водню в рідкому і твердому алюмінії в інтервалі температур 660-850 °С описується рівняннями:

$$\lg C_P = -2760/T + 1,354 + 1/2 \cdot \lg P, \quad (1.14)$$

$$\lg C_{\text{ТВ}} = -2080/T + 0,41 + 1/2 \cdot \lg P, \quad (1.15)$$

де  $C_P$ ,  $C_{\text{ТВ}}$  – розчинність водню у розплавленому і твердому алюмінії,  $\text{см}^3/100$  г металу.

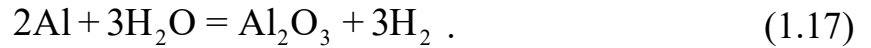
В основі процесу розчинення водню в алюмінії – оборотна реакція:



з наближеною константою рівноваги  $K = [\text{H}]^2 / P_{\text{H}_2}$ .

Вміст водню в атмосфері печі становить близько 0,01 %. У пічних газах його вміст також незначний, тому в таких умовах насичення металу воднем не відбувається. Основним джерелом газонасичення є атмосферна волога, а також

волога, що утворюється під час згоряння палива. Концентрація пари вологи в атмосфері печі набагато вища від концентрації водню. Насичення алюмінію воднем відбувається за реакцією:



За температури 500 °С константа рівноваги цієї реакції дорівнює  $K_P = P_{\text{H}_2}^3 / P_{\text{H}_2\text{O}}^3 = 3,97 \cdot 10^{44}$  або  $P_{\text{H}_2} / P_{\text{H}_2\text{O}} = 7,3 \cdot 10^{14}$ . Отже, навіть за незначного парціального тиску водяної пари в атмосфері слід очікувати на значне поглинання водню металом.

Залежність розчинності водню від вологості атмосфери, що змінюється в межах  $P_{\text{H}_2\text{O}} = 0,013\text{-}4,0$  кПа, описується рівнянням:

$$\lg C = -5800/T + 4,58 + 1/2 \cdot \lg P_{\text{H}_2\text{O}} \quad (1.18)$$

де  $\lg C$  – розчинність водню від вологості атмосфери і від температури,  $\text{см}^3/100$  г металу.

Основні джерела насичення сплавів воднем – пічні газы, непросушені шихтові й допоміжні матеріали тощо. Розчинені газы є джерелом утворення газової пористості у виливках.

Шкідливий вплив водню виявляється в тому, що водень, який розчиняється в розплаві, під час охолодження виділяється у вигляді пупирів. Газові пупирки, що утворюються в розплаві, намагаються спливати на поверхню. Однак зниження температури зумовлює збільшення в'язкості сплаву, що утруднює спливання пупирів газу. Після заливання сплаву у форми газові пупирі, що залишилися в розплаві, утворюють газову пористість у виливках. Зі збільшенням концентрації водню в розплаві газова пористість виливків зростає. Пористість виливків оцінюють за п'ятибальною шкалою. Газова і газоусадкова пористість погіршують механічні властивості виливків і злитків. Пористість є безпосередньою причиною утворення розшарувань у напівфабрикатах, що деформуються. Хімічні сполуки газу з металами є джерелами неметалевих включень у сплавах. Неметалеві включення розташовуються, як правило, по



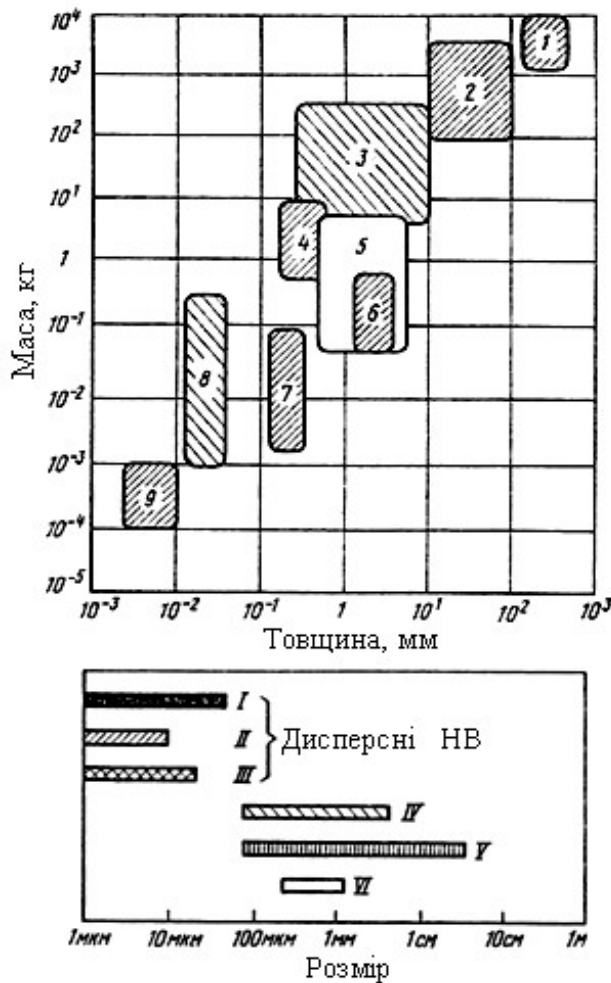
границях зерен, знижуючи міцність, герметичність і корозійну стійкість відливок. На ступінь газонасичення і забруднення сплаву неметалевими включеннями впливають, в основному, якість шихтових матеріалів, застосовуваний плавильний агрегат і режим плавки. Застосування непросушених матеріалів, що містять вологу, а також матеріалів із слідами корозії і мастил приводить до забруднення сплаву, збільшенню його газонасичення. Ступінь окисленості сплаву залежить від розміру компонентів шихти: чим дрібніше шихта, тим більше окисленість.

Дослідниками Альтман М.Б., Макаров Г.С., Курдюмов О.В., Белов В.Д., та іншими виявлено, що кількість водню, адсорбованого на поверхні дрібних часточок оксиду алюмінію, який достатній для утримання їх від осадження в розплавленому алюмінії, дорівнює половині сумарного об'єму оксидних частинок. Тому кількість газоподібного водню пропорційна вмісту оксиду в розплаві. Оксиди алюмінію, наявні в алюмінієвому розплаві у вигляді  $\alpha$ - і  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Якщо розплав містить активні оксиди  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , тоді водень в ньому знаходиться і як розчин, і як комплексні сполуки типу  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}$ . Розпад комплексної сполуки під час охолодження та кристалізації розплаву спричинює утворення газової пористості у виробу.

Останнім часом у зв'язку зі збільшенням обсягів застосування алюмінію в тонкостінних виробках істотно обмежують припустимий розмір дрібних неметалевих домішок (рис.1.1). Припустимий розмір таких домішок, що залежить від товщини та маси майбутніх виробів, може становити декілька мікрон [7-11].

## **1.2 Вдосконалення технології та обладнання для переробки вторинної алюмінієвої сировини**

Для металургійної переробки вторинної алюмінієвої сировини застосовують різні технології: плавлення на сухому черені, плавлення у рідкій ванні, відокремлення залізних приробок оплавленням, безсольове плавлення,



- 1 – злиток;
- 2 – плита;
- 3 – конструкційний лист;
- 4 – поліграфічний лист;
- 5 – посуд;
- 6 – заготовка ОМТ;
- 7 – банка з консервної стрічки;
- 8 – фольга для пакування;
- 9 – конденсаторна фольга;

- I* – оксиди;
- II* – нітриди;
- III* – карбіди;
- IV* – оксидні плівки, шлакові включення;
- V* – розшарування, що виявляються УЗК;
- VI* – пузирки

Рисунок 1.1 – Припустимі розміри неметалевих домішок залежно від товщини і маси виробів

видалення металу з горячого шлаку пресуванням (процес TARDIS) та ін. Підприємства використовують плавильні печі різних конструкцій, кожна з яких в тому або іншому ступеню пристосована для плавлення певного виду вторинної алюмінієвої сировини [14-18]. Найбільш поширеними є відбивні печі місткістю 3-20 т (по алюмінію): одно-, дво- і трикамерні; стаціонарні, поворотні. Проте відбивні печі в більшості випадків малоефективні, характеризуються некерованим газовим середовищем; великою тривалістю завантаження шихти та зливання рідкого металу і шлаку.

Для усунення цих недоліків розроблено роторні (барабанні, що обертаються) печі з горизонтальною віссю обертання, місткістю 2-40 т, які

випускають компанії “Remetall”(Іспанія), “Tolltreck Limited” (Великобританія), “Tonolli” (Італія) та ін. Подальшим вдосконаленням таких печей є роторні печі з похилою віссю обертання, які набули поширення в США та європейських країнах, випускають компанії “Altek-MDY” (США), “Mechatherm”, “EMP Technologies” і “Melting Solutions” (Великобританія), Intec (Німеччина) та ін.

Основними перевагами печей з похилою віссю обертання є високий термічний к.к.д., велика швидкість плавлення, усунення ручної праці при видаленні залишків шлаку і залишків при оплавочному режимі [17].

В даний час для підвищення швидкості розплавлення шихти роторні печі переводять з повітряно-паливної на киснево-паливну суміш шляхом застосування кисневих форсунок. Використання дуття, збагаченого киснем, підвищує тепловіддачу факела в плавильних печах завдяки сильнішому випромінюванню, зменшує енерговитрати і кількість викидів в навколишнє середовище. У роботі [19] повідомляється про успішне використання 88 кисневих систем компанії “The Linde Group” (США) в роторних печах. Так, похила роторна піч TR15X фірми “Melting Solutions” (Великобританія) при кількості завантаження 17,25 т ВАС забезпечує швидкість плавлення 6 т/год або 108,9 т/добу [20]. Тривалість повного циклу плавлення, в тому числі всіх допоміжних операцій (завантаження, розливання, зняття шлаку), складає 3,8 год при витраті природного газу і кисню 31,25 м<sup>3</sup>/т і 62,5 м<sup>3</sup>/т металу відповідно. У печі встановлено також системи електромагнітного перемішування, термічного окислення та газові фільтри для зниження викидів у атмосферу.

В останні роки розвиток полуменевих відбивних печей йшов в напрямках збільшення частки енергії, що утворюється від згорання палива та сприймається металом, зниження витрати палива і рівня безповоротних втрат металу. Для інтенсифікації тепло- і масообмінних процесів у ванні печі пропонується встановлювати системи примусової циркуляції розплаву: газодинамічні імпульсні насоси, низькочастотні електромагнітні перемешувачі

(під черенем або на бічній стінці печі), електромагнітні насоси. Зменшення величини безповоротних втрат металу досягається оптимізацією процесу нагрівання шихти при розплавленні, плавленням твердої шихти в рідкій ванні печі, плавленням твердої шихти в потоці розплаву тощо.

У сучасних печах Ecomelt за технологією компанії Heertwich (Австрія) можна переробляти вторинну алюмінієву сировину будь-якого сорту, в тому числі низькосортний брухт. Порція шихти, забруднена фарбою і пластмасами, в камері газифікації піддається дії гарячого газового потоку і нагрівається до температури вище 500 °С. Висока температура нагрівання дуття (800 °С) також, як і спалювання піролізних газів приводить до виключно низької витрати енергії на плавлення (370-450 кВт·год/т) та мінімальної дії на навколишнє середовище [20]. Плавлення заздалегідь нагрітого металу здійснюється зануренням в розплавлений потік, що створюється насосом рідкого металу [20]. Швидкість безперервного плавлення складає 2 т/год або 240 т/(добу).

В даний час алюмінієві сплави з брухту і відходів на Україні виготовляють в полумєневих і індукційних тигельних (ІАТ) печах. Останні мають низку переваг, в тому числі високу швидкість нагрівання завдяки інтенсивному електродинамічному перемішуванню металу. Оскільки 80-85 % оксидів від всього окисленого металу утворюється на етапі розплавлення шихти для правильного проведення процесу плавлення слід забезпечити максимальну швидкість підйому рівня металу на початку плавлення.

Перспективним напрямом розвитку технології металургійної переробки вторинної алюмінієвої сировини є виплавлення алюмінієвих сплавів у дугових печах постійного струму нового покоління (ДППСНП) [23]. Порівнянно з відбивним плавленням і плавленням в печах ІАТ нова технологія та обладнання ДППСНП дозволяє підвищити якість алюмінієвих сплавів, що виплавляють, зменшити втрати металу від угару до 0,5-1,5 % залежно від якості ВАС, понизити більш ніж на 20 % енерговитрати, відмовитися від рафінування металу і використання флюсів. Модернізація існуючих печей ІАТ може бути

проведена шляхом заміни водоохолоджуваного індуктора на металевий кожух з дугою постійного струму.

Вдосконалення технології та обладнання на стадії плавлення вторинної алюмінієвої сировини відбувається в напрямку оптимізації енерговитрат, досягнення високої продуктивності обладнання і максимального виходу придатного металу. Ефективність використання енергії можна підвищити максимально можливим збільшенням обсягів виробництва, скорочуючи робочий цикл печі шляхом усунення непродуктивних втрат часу при завантаженні шихти і простоїв обладнання, які не передбачаються.

Зниження питомої витрати енергії на 35-40 % досягають шляхом підвищення термічного к.к.д. печі при її роботі за додатного тиску (автоматичне керування шибера); використання дуття, збагаченого киснем (5-7 %  $O_2$ ); застосування примусової циркуляції розплаву; встановлення інноваційних рекуператорів для підігрівання гарячими відхідними газами повітря, що використовується для дуття [22]. Регулятори масового співвідношення палива і повітря слід встановлювати навіть на простих печах. Зменшити тривалість плавлення, підвищити якість сплавів, виготовлених із вторинної алюмінієвої сировини, збільшити ступінь засвоєння легуючого елемента алюмінієвим розплавом дозволяють сучасні технології легування алюмінієвих сплавів шляхом використання легуючих пігулок, дроту, гранул.

Важливим напрямом вдосконалення технологічного процесу є автоматичне управління роботою плавильної печі. Впровадження сучасного програмного забезпечення, що прогнозує перебіг технологічного процесу плавлення та дозволяє оператору вводити склад вторинної алюмінієвої сировини в меню рецептури алюмінієвого сплаву, що виготовляють, забезпечує зниження споживання енергії і оптимізує тривалість робочого циклу.

Отже, без модернізації підприємств, що переробляють вторинну алюмінієву сировину, впровадження інноваційних технологій і сучасного обладнання для металургійної переробки не можливо досягти необхідних

техніко-економічних показників процесу виготовлення якісних алюмінієвих сплавів.

### 1.3 Рафінування алюмінієвих розплавів

Істотно підвищити чистоту отриманого металу та зменшити його втрати внаслідок ошлакування металу дозволяють сучасні технології рафінування. Традиційними технологіями видалення зважених твердих домішок і водню з алюмінієвих розплавів є відстоювання, обробка сумішами фторидних і хлоридних солей, продування інертними й активними газами, вакуумування, фільтрування. Запропоновані нові способи рафінування (ультразвукове, магнітно-імпульсне оброблення та ін.) істотно розширюють можливості очищення розплавів, отриманих під час плавлення вторинної сировини. Перелічені способи очищення базуються на різних фізико-хімічних процесах: седиментації (відстоювання розплавів), вилучення за адсорбційно-флотаційними механізмами (оброблення флюсами), флотації (продування газами), адгезії (фільтрування). Способи рафінування за технологічними ознаками поділяють на такі групи: поверхнєве рафінування; струменеве рафінування, рафінування пухирками. Відомі технології рафінування характерні або для одної з груп, або є універсальними (так, оброблення флюсами можна застосувати для будь-якої групи). Враховуючи різноманітність вимог до ступеня чистоти металу, особливості взаємодії окремих алюмінієвих сплавів з газами й оксидами, для очищення розплавів від декількох типів домішок слід використовувати різні способи рафінування у поєднанні, тобто комплексно [12-27].

Різноманіття способів рафінування алюмінієвих розплавів, які тепер або в перспективі використовуватимуть у промисловості, можна поділити за даними Г.С. Макарова на п'ять основних груп (рис.1.2).



Рисунок 1.2 – Класифікація способів рафінування алюмінієвих розплавів за даними Г.С. Макарова [1,5,7]

Сучасна тенденція розвитку способів рафінування – заміна простих способів рафінування на комплексну обробку розплавів.

Поширення використовують комплексне рафінування шляхом плавлення вторинної алюмінієвої сировини під шаром флюсу з подальшим фільтруванням отриманого розплаву.

#### 1.4 Особливості флюсового рафінування алюмінієвих розплавів

Флюси, що використовують у металургії алюмінію, поділяють на покривні та рафінувальні. Під час розливання алюмінієвих розплавів також використовують флюси для модифікування.

Рафінування алюмінієвих розплавів флюсами є достатньо простим, економічно вигідним методом, оскільки не потребує, як правило, складного апаратурного оформлення. В процесі рафінування компоненти флюсів вступають в обмінні реакції з розплавом, утворюючи продукти, що адсорбують і поглинають розчинені в розплаві гази, перш за все водень. Флюси також адсорбують і розчиняють або зв'язують в хімічні сполуки інші домішки, які

потім видаляються у вигляді шлаків. Отже, рафінування флюсами сприяє також видалення твердих неметалевих включень і дегазації розплаву.

Різноманіття складів флюсів (понад ста різних композицій флюсів) обумовлене їх багатоцільовим призначенням і великою різноманітністю складів алюмінієвих сплавів [16, 17]. Найбільшого розповсюдження знайшли флюси на основі хлоридів натрію і калію з добавками фторидів. Під час розробки складу флюсів потрібно враховувати, що реакційна здатність фторидів натрію і калію вища, ніж хлоридів цих металів. Тому обмінні реакції з фторидом натрію приводитимуть до насичення розплаву натрієм. Встановлено, що з флюсу, що містить натрієвий кріоліт, переходить в алюміній 0,01 % натрію, а при витримці алюмінію під флюсом системи  $\text{NaCl-KCl-AlF}_3$  у ньому відбувається зниження концентрації натрію з 0,004 до 0,0007 % [20]. Таким чином, серед флюсів на основі  $\text{NaCl-KCl}$  практичне значення для видалення натрію з алюмінієвих сплавів можуть мати тільки флюси з фторидом алюмінію. Розплавлений флюс, знаходячись на поверхні рідкого алюмінію, є достатньо надійним захистом розплаву від окислення, оскільки процес окислення контролюється дифузією іонів алюмінію через шар флюсу [18]. Тому, чим менше флюс вступає в хімічну взаємодію з алюмінієм, тим вище його захисні властивості.

Взаємодія флюсів з оксидами при контакті полягає головним чином в поглинанні їх флюсом за рахунок підвищеної адсорбційної здатності сольової системи. Дослідження, проведені Беляєвим О. І. і Фірсановою Л. О., показали, що розчинність оксиду алюмінію у флюсах невелика: вона досягає 1 % за температури 900 °С при додаванні до хлоридів 25 % кріоліту [16]. При температурах нижче 900 °С, характерних для процесів плавлення алюмінієвих сплавів, вона повинна бути ще нижча. Зважаючи на високу стійкість оксидів, хімічна взаємодія їх з флюсами за температур плавлення і лиття алюмінієвих сплавів не спостерігається.

Якість очищення алюмінієвих розплавів флюсами залежить не тільки від складу флюсу, а також від інших технологічних чинників рафінування, які



створюють ті або інші умови доставляння оксидних включень на межу розділу метал – флюс.

Рафінування алюмінієвих розплавів від неметалевих включень флюсами складається з декількох етапів перенесення включень з металу у флюс. На першому етапі потік металу переносить включення в прикордонну зону контактування металу і флюсу. Другий етап характеризується умовами виведення включень з потоку металу на поверхню розділу метал – флюс. На третьому етапі відбувається агрегація включень з флюсом. Тільки на цьому останньому етапі виявляються рафінуючі властивості флюсу, тобто вплив складу флюсу на термодинаміку і кінетику рафінування розплаву від включень. Проте лімітуючою стадією рафінування може бути кожен з етапів. Тому параметри технологічного процесу і конструкція плавильного агрегату мають забезпечувати максимальну швидкість доставляння включень з алюмінієвого розплаву до поверхні флюсу.

Сучасні уявлення про механізм видалення  $Al_2O_3$  з алюмінієвих розплавів флюсами ґрунтуються на роботах О.І. Беляєва і О.О. Жемчужиної, які встановили, що дія флюсів, які рафінують, визначається їх поверхневими властивостями, тобто співвідношенням величин поверхневого натягу рідин, що беруть участь у процесі. Ці умови виражаються нерівностями [16,18]:

$$\sigma_{Me-MeO} > \sigma_{фл-Me} > \sigma_{фл-MeO}, \quad (1.19)$$

$$\sigma_{Me-MeO} > \sigma_{фл-Me} + \sigma_{фл-MeO}, \quad (1.20)$$

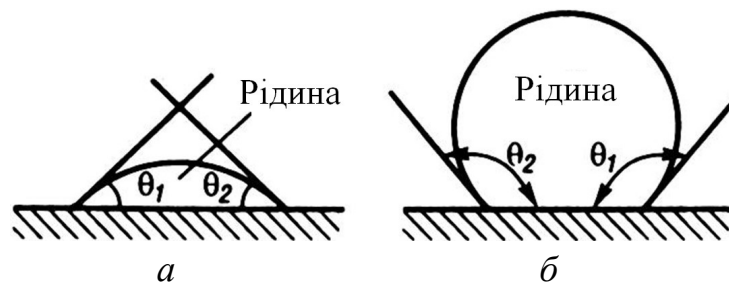
де  $\sigma_{Me-MeO}$  – поверхневий натяг алюмінію на межі з оксидом;

$\sigma_{фл-Me}$  – поверхневий натяг флюсу на межі з алюмінієм;

$\sigma_{фл-MeO}$  – поверхневий натяг флюсу на межі з оксидом.

Алюміній гірше змочує оксид алюмінію, ніж флюс. Отже, рафінування металевого розплаву відбувається внаслідок адсорбції оксидів флюсом через їхню кращу змочуваність флюсом, ніж металом. Якісно можна оцінити поверхневий натяг розплавленої солі на межі з твердою фазою за розміром

крайового кута змочування краплі цієї солі, що знаходиться на твердій поверхні. Форми крапель рідини, які добре і погано змочують тверду поверхню, зображено на рис. 1.3. Якщо крайовий кут змочування  $\theta < 90^\circ$ , то рідина добре змочує поверхню випробуваного матеріалу і поверхневий натяг у такій рідині низький. Якщо в краплі крайовий кут змочування  $\theta > 90^\circ$ , то така рідина погано змочує дану поверхню і, отже, її поверхневий натяг високий.



*а* – добре змочування; *б* – погане змочування

Рисунок 1.3 – Крайовий кут змочування на межі  
тверда поверхня–розплав–газ

Флюс має відповідати наступним вимогам: а) мати температуру плавлення нижчу, ніж температура плавлення сплаву; б) густину – меншу, ніж густина металу; в) не вступати у взаємодію з алюмінієвим розплавом, футеровкою печі та пічними газами.

Флюси системи NaCl-KCl в межах 50-60 % одного з компонентів поширено використовують в промисловій практиці. Покривні флюси такого складу володіють температурою плавлення суміші, що близька до температури плавлення алюмінію (рис.1.4). Додаток 10 % кріоліту або 1,25 % плавикового шпату знижують температуру плавлення системи відповідно до 631 °C і 641 °C відповідно [16].

Характер взаємодії флюсів з оксидами визначається в основному співвідношеннями міжфазних натягів на межах поділу і повнотою контакту. Частинки оксидних включень інтенсивніше переходять у флюс, якщо вони краще змочуються флюсом порівняно з алюмінієм або його сплавами.

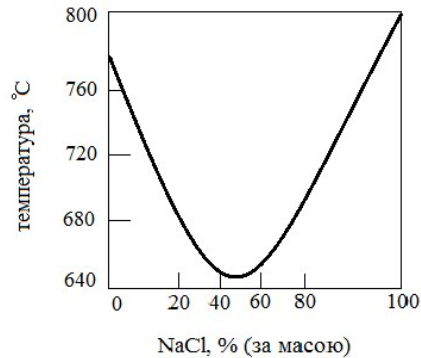


Рисунок 1.4 – Ліквідус системи NaCl – KCl

Присутність флюсу на поверхні розплаву підвищує ефективність дегазації при його продуванні інертними газами завдяки зменшенню окислення розплаву під час продування і збільшення поверхні зіткнення маси розплаву з флюсом, що рафінує. Здатність хлоридів і фторидів лужноземельних металів до змочування мала. Тому основою захисних флюсів повинні бути хлориди калію і натрію. Суміші цих солей володіють низькою температурою плавлення (рис.1.4) і малим крайовим кутом змочування ( $\theta < 90^\circ$ ) [17,31].

Оскільки відокремлення від розплаву флюсів з малим краєвим кутом змочування утруднене і флюс може разом з розплавом потрапити у виливки, до суміші хлоридів додають невелику кількість будь-якої фторидної солі. Фторидні солі підвищують поверхневий натяг флюсу на межі з розплавом і сприяють відокремленню його від розплаву. Присутність фторидів зміцнює плівку флюсу. Фториди, особливо кріоліт, також мають на алюмінієві сплави і рафінуючу дію [16].

Краєвий кут змочування оксиду алюмінію флюсами систем NaCl–KCl–NaF і NaCl–KCl–Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> (табл. 1.1) складає від 20 до 40 градусів залежно від складу флюсів і температури [16,18]. Отже, оксиди і розплавлений алюміній добре змочуються хлоридно-фторидними флюсами.

Зі збільшенням кількості фторидів, що додаються, в сольових розплавів систем NaCl–KCl щільність відповідно збільшується (табл. 1.1). Отже,

щільність хлоридних і хлоридно-фторидних флюсів, якщо в системі не утворюється хімічна сполука, відповідає закону аддитивності.

Таблиця 1.1 – Крайовий кут змочування ( $\theta$ , градуси) і щільність ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) флюсів системи NaCl – KCl з добавками фторидів

Кількість добавки, %		Властивість флюсу	Температура, °C			
NaF	Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>		750	800	850	900
3	0	$\theta$	26,3	23,1	21,7	20,3
		$\rho$	1576	1548	1518	1488
5		$\theta$	30,7	27,3	26,7	26,1
		$\rho$	1584	1556	1550	1496
10		$\theta$	24,1	28,5	27,8	27,2
		$\rho$	1605	1577	1547	1517
0	3	$\theta$	31,3	27,9	25,5	23,2
		$\rho$	1576	1547	1517	1487
	5	$\theta$	32,4	30,1	28,3	26,6
		$\rho$	1584	1555	1525	1495
	10	$\theta$	35,5	33,1	30,6	27,8
		$\rho$	1604	1575	1544	1513

Розглянуті закономірності взаємодії алюмінієвого розплаву, флюсів і оксидних плівок справедливі також для аналізу процесів відокремлення металу від шлаку під час переплавлення вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям. Мінімальні втрати алюмінію зі шлаком досягаються при використанні добавки фториду алюмінію від 5 % до 10 % у складі флюсу на основі хлоридів натрію і калію.

З урахуванням вищевикладеного для захисту алюмінієвого розплаву від окислення і рафінування від газових і шлакових включень при переплавленні вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям вибираємо чотирикомпонентний флюс складу, %: 56 NaCl, 22 NaF, 15 KCl, 7 Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>.

Температура початку кристалізації для чотирикомпонентного флюсу NaCl–NaF–KCl–Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> різного виду підготовки (сипкий, гранульований

тощо), що має однаковий хімічний склад, практично співпадає. Дослідженнями встановлено, що температура початку кристалізації розплавленого флюсу залежить від постійності хімічного складу флюсу [32]. Таким чином, однією з умов отримання високих техніко-економічних показників при рафінуванні алюмінієвих розплавів є постійність хімічного складу вживаного флюсу

Високу рафінуючу здатність мають флюси, що краще змочують оксидне включення, ніж металевий розплав. Властивості флюсових композицій визначаються властивостями солей та їх взаємодією у флюсі. Найчастіше для рафінування застосовують флюси на основі хлоридів калію і натрію з додаванням кріоліту, фториду алюмінію. Під час рафінування флюсами, що містять фториди, утворюються галогени, які сприяють дегазації розплаву.

*Обробка легкими хлоридами.* Як солі, що рафінують, застосовують хлориди цинку, марганцю, хрому, алюмінію та гексахлоретан. Ці солі, взаємодіючи з рідким алюмінієм, утворюють хлорид алюмінію, механізм рафінування яким подібний дії  $AlCl_3$ , що утворюється під час продування розплаву хлором. Перед використанням хлориди піддають сушінню. На ділянках фасонного литва для рафінування використовують таблетки препарату “Дегазер”, що складаються з гексахлоретану і хлориду барію (10 %), які вводять у розплав у кількості 0,5 % при 720-750 °С. Маючи більшу густину, ніж розплав, таблетки опускаються на дно місткості, у якій здійснюється рафінування, забезпечуючи очищення всього об’єму розплаву.

Флюси, що мають покривно-рафінуючу здатність, захищають сплави від впливу атмосфери печі, сприяють очищенню сплавів від оксидних включень і дегазують їх.

Флюсове рафінування розплаву може відбуватися шляхом нанесення флюсу на поверхню розплаву, введенням брикетованого флюсу в розплав під час ретельного перемішування, пропусканням струменя металу через шар рідкого флюсу та ін.

В основу рафінування сплавів флюсами покладено фізико-хімічну

взаємодію між флюсами і присутніми неметалевими включеннями. Ця взаємодія визначається здатністю флюсів адсорбувати домішки, що видаляються з рідкого металу у вигляді шлаку.

Зазвичай алюмінієві сплави рафінують флюсами, щільність яких нижче щільності сплавів, що дозволяє видаляти адсорбовані у верхню частину розплаву неметалеві включення разом зі шлаком і флюсом.

Тверді неметалеві включення можуть бути легше чи важче розплавленого металу або мати з ним однакову питому вагу. Залежно від цього застосовується верхнє, нижнє рафінування або рафінування всієї маси металу [17].

Проте незалежно від способу рафінування рафінуюча здатність буде високою тільки в тому випадку, коли флюси змочують неметалеві включення краще, ніж метал. Тому при використанні таких флюсів неметалеві включення в залежності від їх виду, щільності і способу рафінування коагулюють і більш інтенсивно спливають наверх або осідають у нижніх шарах розплаву.

Верхнє рафінування застосовують в тому випадку, коли неметалеві включення володіють меншою щільністю і розташовуються переважно у верхніх шарах розплаву. При такому розташуванні неметалевих включень флюс розчиняє їх у верхній частині, очищаючи метал. Вільний від оксидів метал у верхній частині розплаву стає важчим і опускається на дно, а на його місце надходять нові порції металу, забрудненого неметалевими включеннями. У результаті взаємодії з флюсом цей шар, як і попередній, опускається на дно ванни, і процес повторюється до повного видалення неметалевих включень.

Нижнє рафінування застосовують в тих випадках, коли оксиди володіють більш високою щільністю, ніж основний метал, і розташовуються переважно внизу. Процес нижнього рафінування відрізняється від верхнього рафінування напрямком руху неметалевих включень. Однак при нижньому рафінуванні алюмінію ванну необхідно захищати від окислення з поверхні покривним флюсом.

При використанні методу рафінування по всьому об'єму можна застосо-

увати важкі і легкі флюси. Легкі флюси з допомогою “дзвіночка” занурюють на дно ванни, звідки вони піднімаються на поверхню розплаву, розчиняючи по шляху оксиди і захоплюючи їх у верхні шари.

Дослідженнями і практикою рафінування встановлено [23], що кращою рафінувальною здатністю володіють флюси, до складу яких входять солі – кріоліт, плавиковий шпат, фтористий натрій та ін.

Флюси, що мають покривно-рафінуючу здатність, у кількості 0,5-1,0 % від маси шихти засипають на поверхню розплаву. При температурі рафінування відбувається замішування флюсу вглиб розплаву для більш повної взаємодії з металом. Температуру розплаву при рафінуванні підтримують на рівні 720...750 °С. Після витримки розплаву протягом 30...45 хв. із його поверхні видаляють шлак і переливають у ковші або міксери.

Як покривний флюс для алюмінієвих сплавів, що містять не більш 1 % Mg, використовують суміш хлоридів натрію і калію (45 % NaCl і 55 % KCl) у кількості 1-2 % від маси шихти. При вмісті в сплавах понад 1% Mg як захисний флюс використовують карналіт ( $MgCl_2 \cdot KCl$ ) або суміш карналіту з 10-15 % фториду кальцію або магнію, тому що флюс із хлоридів натрію і калію погано змочує оксид магнію. Неприпустиме застосування флюсів, що містять фториди натрію, тому що збагачення розплавів натрієм погіршує технологічні властивості цих сплавів. Якщо застосувати флюс не можна, для захисту від окислення вводять у сплав невелику кількість берилію, що утворює на його поверхні щільну берилієво-магнієву оксидну плівку.

Одним з ефективних способів очищення алюмінієвих розплавів від плівок і крупних неметалевих включень є *електрофлюсове рафінування*. Оптимальний режим цього процесу передбачає пропускання струменя металу діаметром 5-7 мм, нагрітого до 700-720 °С, через шар розплавленого флюсу товщиною 100-150 мм із накладенням поля постійного струму силою 600-800 А і напругою 6-12 В з катодною поляризацією металу. Для електрофлюсового рафінування використовують футеровані шамотом місткості з виїмковою перегородкою, що

утворює в них два відсіки, які сполучаються між собою в нижній частині місткості. У великий відсік поміщають сталевий кільцевий струмопідвід. Потім місткість на  $2/3$  висоти заповнюють металом. Після цього у великий відсік заливають флюс так, щоб рівень його перекрив кільцевий струмопідвід, а товщина шару флюсу була не менше 100 мм. Електрофлюсове рафінування на відміну від очищення зернистими фільтрами не супроводжується дегазацією розплаву й очищенням від тонкодисперсних включень і не впливає на макроструктуру виливок [24].

Пропускання тонких струменів розплаву через шар рідкого флюсу з одночасним накладенням на метал і флюс поля постійного струму створює сприятливі умови для адсорбції включень флюсом за рахунок зниження міжфазного натягу на межі з металом і зменшення крайового кута змочування неметалевих включень флюсом. Зі збільшенням питомої поверхні і тривалості контакту металу з флюсом ефективність очищення зростає. Тому конструкції пристрою для флюсового і електрофлюсового рафінування передбачають дроблення струменя металу. Ефективність очищення знижується в міру підвищення температури флюсу, зменшення товщини його шару, збільшення діаметра струменя металу і тривалості використання флюсу.

### **1.5 Закономірності фільтрування алюмінієвих розплавів крізь зернисті фільтри**

Для очищення розплавів від неметалевих включень застосовують фільтрування через сітчасті, зернисті і пористі керамічні фільтри. Ці фільтри широко використовують для очищення розплавів від крупних включень і плівок. Вони відокремлюють ті включення, розмір яких більше комірок сітки. Сітчасті фільтри виготовляють із склотканини різних марок із розміром комірки від  $0,5 \times 0,5$  до  $1,5 \times 1,5$  мм і титану. Їх встановлюють у розподільних коробках і кристалізаторах, у ливникових каналах і роздавальних тиглях.



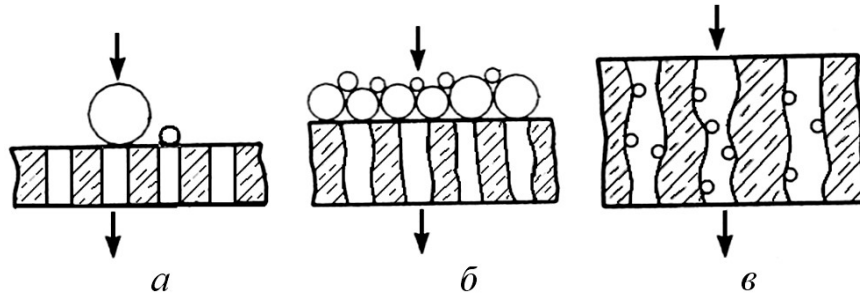
Застосування їх дозволяє в 1,5-2,0 рази знизити вміст крупних неметалевих включень і плівок та не впливає на вміст дисперсних включень і водню [15-18,27]. Значно більший ефект очищення дають зернисті фільтри. Ці фільтри являють собою шар із зерен матеріалу, що фільтрує, розміром 5-15 мм у поперечнику, товщиною 100-150 мм. Для виготовлення їх використовують шамот, магнезит, графіт, сплави хлоридів, фторидів і інші матеріали. Повнота видалення зважених включень залежить від природи матеріалу, розміру зерна, товщини шару фільтра і металостатичного напору, що визначає швидкість фільтрації. Найбільш ефективні фільтри зі сплавів фторидів. Ефективність очищення зростає в міру збільшення товщини фільтра і зменшення діаметра зерна і металостатичного напору. Максимальний ефект очищення одержують при використанні дрібнозернистих (4-5 мм у поперечнику) фільтрів із матеріалів, що мають найбільш високу адгезію з неметалевими включеннями (фториди). Зернисті фільтри, як і сітчасті, встановлюють на шляху металу, що переливається з міксера у форму. При фасонному литті фільтр розташовують у стояку, роздавальному тиглі або ливниковій чаші.

В США розроблені корундові пластинчасті фільтри на нітридному в'язучому з фіксованим розміром міжзернових каналів і трубчасті керамічні фільтри з діаметром пор 175-200 мкм, що забезпечують очищення алюмінієвих розплавів від неметалевих включень розміром більше 10 мкм [27].

Всі перераховані способи рафінування складають велику групу методів рафінування, яким властивий один загальний недолік – неможливість охопити весь об'єм металу, що рафінується. Тому адсорбційним методом очищають практично тільки ті ділянки розплаву, що мають безпосередній контакт із газом або флюсом. При ультразвуковій обробці розплаву поряд із рафінуванням відбувається подрібнення зважених домішок і добавок, що модифікують, що сприяє підвищенню механічних властивостей сплавів завдяки збільшенню центрів кристалізації. Практика окремих заводів показала, що добра дегазація досягається застосуванням комбінованих методів рафінування, наприклад, поєднанням вакуумування й адсорбційного методу дегазації (флюсом або солями), вакуумування й ультразвукової обробки.

За сучасними уявленнями механізм фільтрування металевих розплавів для очищення їх від зважених домішок базується на таких ефектах [5,7]: а)

механічне відокремлення домішок (сітчастий ефект); б) механічне відокремлення домішок кеком (сітчасто-кековий ефект); в) адгезійне очищення (рис.1.5).



*а* – механічне відокремлення домішок (сітчастий ефект);  
*б* – механічне відокремлення домішок кеком  
(сітчасто-кековий ефект); *в* – адгезійне очищення

Рисунок 1.5 – Основні механізми фільтрування металевих розплавів [7]

Рафінувальний ефект фільтрування зумовлений не тільки вловлюванням неметалевих домішок, які вже зформовано та суспензовано у розплаві, що фільтрується, внаслідок сітчастого і адгезійного ефектів, а також і виділенням на фільтрі як на підкладці неметалевої фази безпосередньо із пересиченого розплаву.

У середовищі розплавленого металу робота адгезії домішок до металу визначається рівнянням Дюпре-Юнга:

$$W_{\text{ф-в (Ме)}} = W_{\text{ф-в (газ)}} - \sigma_{\text{м}} \cdot \cos\theta_{\text{ф}} - \sigma_{\text{м}} \cdot \cos\theta_{\text{в}}, \quad (1.21)$$

де  $W_{\text{ф-в (Ме)}}$  – робота адгезії домішок до металу у середовищі розплавленого металу (табл.1.2);

$W_{\text{ф-в (газ)}}$  – робота адгезії домішок до металу у газовому середовищі;

$\sigma_{\text{м}}$  – поверхневий натяг розплаву;

$\theta_{\text{ф}}$  – крайовий кут змочування фільтрувального матеріалу розплавом;

$\theta_{\text{в}}$  – крайовий кут змочування домішок розплавом.

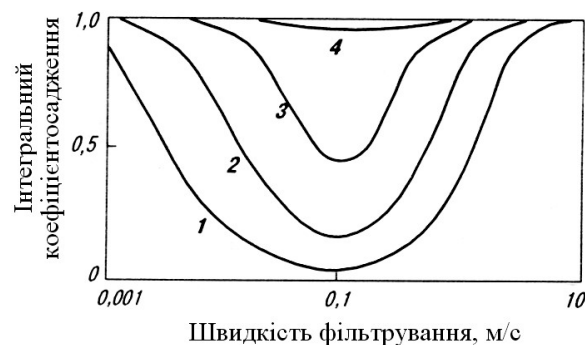
Рівняння (1.21) дозволяє зробити дуже важливий висновок, що робота адгезії, а відповідно, й ефективність очищення від зважених домішок збільшується в міру того, як погіршується змочування фільтрувального

матеріалу і домішок розплавом. З рівняння (1.21) також випливає, якщо домішки причеплюються до фільтру в газовому середовищі, то вони тим паче прилипатимуть у рідкому середовищі, яке їх не змочує. При цьому  $W_{\text{ф-в (Me)}} > 0$ , якщо навіть  $W_{\text{ф-в (газ)}} = 0$ .

Таблиця 1.2 – Величини роботи адгезії домішки  $\text{Al}_2\text{O}_3$  до фільтрувальних матеріалів у газовому ( $W_{\text{ф-в (газ)}}$ ) та рідкому ( $W_{\text{ф-в (Me)}}$ ) середовищах та крайові кути змочування зернистих фільтрів ( $\theta_{\text{ф}}$ ) алюмінієвими розплавами [6]

Фільтрувальний матеріал	$W_{\text{ф-в (газ)}}$	$W_{\text{ф-в (Me)}}$	$\theta_{\text{ф}}$
$\text{CaF}_2$	41,0	1545	158,5
$\text{MgF}_2$	41,5	1547	158,5
$\text{MgO}$	75,0	1490	149

Оцінюванням питомого внеску парціальних ефектів у сумарну ефективність доставляння та осадження неметалевих домішок на поверхні фільтра встановлено, що визначальний внесок властивий седиментаційному осадженню частинок при малих (до 0,1 м/с) швидкостях фільтрування. Відцентрове і градієнтне осадження частинок відбувається при великих (більше 0,1 м/с) швидкостях фільтрування. Тому залежність інтегрального коефіцієнта осадження від швидкості фільтрування має екстремум з мінімумом (рис.1.6)



1-4 – розміри неметалевих домішок 10, 20, 40, 100 мкм відповідно

Рисунок 1.6 – Залежність інтегрального коефіцієнта осадження від швидкості фільтрування для домішок різного розміру [13]

Висновки. На підставі теоретичних досліджень для захисту алюмінієвого розплаву від окислення і рафінування від газових і шлакових включень при переплавленні вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям вибираємо чотирикомпонентний флюс складу, %: 56 NaCl, 22 NaF, 15 KCl, 7 Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>.

Завдання експериментального дослідження:

1. Вибрати фільтрувальні матеріали для очищення алюмінієвих розплавів, від дрібних неметалевих домішок.
2. Дослідити вплив розміру зерен, висоти шару і типу фільтрувального матеріалу, температури фільтрування на якість розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям. Вибрати технологічні умови комплексного рафінування.
3. Розробити технологічну схему виготовлення алюмінієвих сплавів шляхом комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям

## 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Характеристики вихідних матеріалів і обладнання

Вторинна алюмінієва сировина з лакофарбовим покриттям відповідно до ДСТУ 3211:2009/ГОСТ 1639:2009 відноситься до класу А – брухт виробів з лакованої стрічки [8]. В такому брухті припустимий вміст жиру, залишків харчових продуктів становить не більше 3 %. Покриття папером, засміченість залізом, наявність пляшкових пробок, пластмаси, бруду та інших домішок не допускаються. Вторинна алюмінієва сировина, на поверхні якої знаходяться лакофарбні покриття, утворюється після використання різних видів алюмінієвого пакування харчових продуктів.

Для дослідження як сировину застосовано використане алюмінієве пакування: а) металеву стрічку алюмінієвих банок для напоїв, покриту з обох боків харчовим лаком, а з зовнішнього боку додатково покриту декоративним покриттям, товщиною 0,289 мм; б) кришки для закупорювання прохолоджуючих напоїв, на поверхні яких нанесено лакове і фарбове покриття, товщиною 0,143 мм. Така сировина має досить однорідний хімічний склад, %: 1,0-1,5 Mn; 0,8-1,3 Mg; 0,70 Fe; 0,30 Si; 0,25 Cu; 0,25 Zn; 0,15 інші елементи; Al основа.

Для видалення залишків харчових продуктів, поверхневого бруду та підготовки до плавлення використовуються обробка горячою водою з подальшим сушінням на горячому повітрі. Для захисту поверхні вторинної алюмінієвої сировини від окислення та очищення від домішок під час плавлення та як фільтрувальні матеріали використовуються такі речовини:

- хлорид натрію за ГОСТ 4233-77 марки «ч» [28];
- хлорид калію за ГОСТ 4468-95 дрібний першого сорту [29];
- кріоліт штучний технічний за ГОСТ 10561-80 [30];
- фторид натрію за ГОСТ 4463-76 [31];

- фторид кальцію марки «ч» ГОСТ 4460-66
- фторид магнію марки «ч» за ГОСТ 7204-77;
- оксид магнію марки «ч».

Для приготування алюмінієвого розплаву в тиглі використовується алюміній технічний марки А5 по ГОСТ 11069-2001 у вигляді гранул, що містить 99,53 % Al, 0,25 % Si, 0,01 % Cu, 0,24 Fe.

Для розплавлення металу використовується лабораторна шахтна електрична піч опору СШОЛ–11,6 12–М3, яка працює при температурі не вище 1000 °С. Навколо футеровки шахти цієї печі намотано ніхромовий нагрівник. В футеровану шахту печі встановлюють тигель з графіту або з заліза з шихтою. Піч має термометр. Після виходу печі на потрібний температурний режим починає горіти сигнальна лампочка.

Тигель графітошамотний для розплавлення шихти з температурою експлуатації до 1000 °С.

Мішалка графітова для перемішування металу в тиглі.

Ваги лабораторні електронні ТВЕ–3–0,05 за ТУ У 29.2-32126739-003:2005 з похибкою зважування до  $\pm 0,01$  г.

Металевий інструмент для зняття шлаку з поверхні металу.

Термопара типу хромель-алюмель (ТХА) в захисному чохлі.

Устаткування для виготовлення шліфів: верстати токарний, шліфувальний, полірувальний.

## **2.2 Методика визначення металургійного виходу**

Металургійний вихід металу під час плавлення різноманітного виду вторинної алюмінієвої сировини залежить від фізичного стану шихти (розміру, насипної щільності), її хімічного складу, наявності оксидних сполук, від конструкції печі, температури плавлення, кількості і складу флюсів. Визначення металургійного виходу є важливим показником визначення

доцільності проведення плавлення, за яким встановлюють наскільки ефективно проведено плавлення.

Для визначення металургійного виходу на лабораторних електронних вагах слід зважити окремо вихідні компоненти, необхідні для проведення плавлення, та зважити кінцевий продукт плавлення. Температура в печі доводиться до заданої. Контроль температури забезпечується термопарою типу ТХА в захисному чохлі.

Металургійний вихід  $M$  (%) визначаємо за формулою:

$$M = \frac{m_{\text{мет}}}{m_{\text{шихти}}} \cdot 100, \quad (2.1)$$

де  $m_{\text{мет}}$  – маса металу, яку отримали після плавлення шихти, г;

$m_{\text{шихти}}$  – маса вихідних компонентів шихти до плавлення, г.

Плавлення вторинної алюмінієвої сировини проводиться в лабораторній електропечі шахтного типу СШОЛ–11,6 12–МЗ в графітових тиглях. Технологічні проби виливаються у металеві виливниці. Для зваження зразків використовуються електронні ваги. Використовується набір плавильно-заливального інструменту, захисні окуляри, рукавиці.

### **2.3 Методики визначення газонасиченості сплаву та вмісту неметалевих домішок**

*Методика визначення балу пористості вилівка.* Повніше уявлення про газонасиченість (тобто пористість) металу можна скласти при розгляді подовжнього макрошліфа технологічної проби або темплета, вирізаного з готового вилівка. Відповідно до ГОСТ 1583-73, темплети, вирізані з чушок алюмінієвих ливарних сплавів, фрезерують, а потім послідовно шліфують наждачним папером № 80, 120 і 280. Для остаточного доведення поверхні шліфа наждачний папір останнього номера покривають парафіном. Шліф перед травленням промивають спиртом або ацетоном, а потім просушують за

допомогою фільтрувального паперу і протравлюють. Після травлення шліф промивають проточною водою і висушують фільтрувальним папером.

Для оцінювання щільності металу користуються шкалою пористості. Ступінь пористості шліфів в балах встановлюють порівнянням їх з еталонами шкали: бал 1 – дрібна; бал 2 – знижена; бал 3 – середня; бал 4 – підвищена; бал 5 – велика (рис. 2.1).

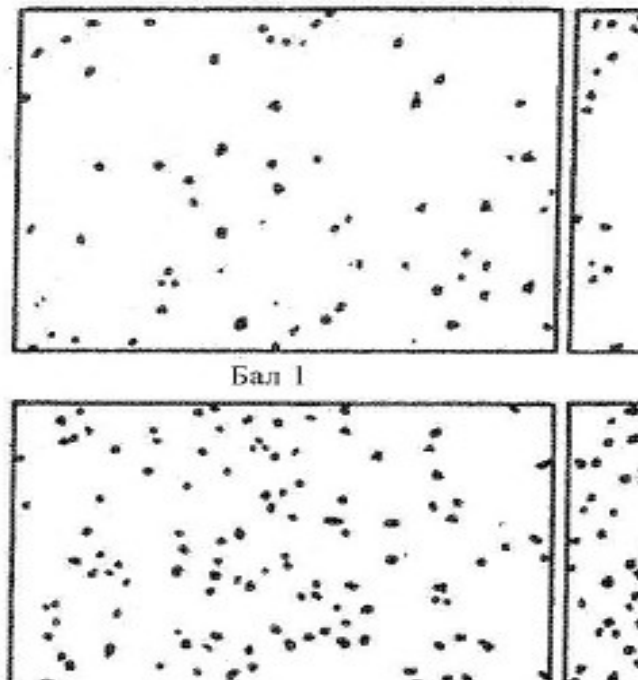
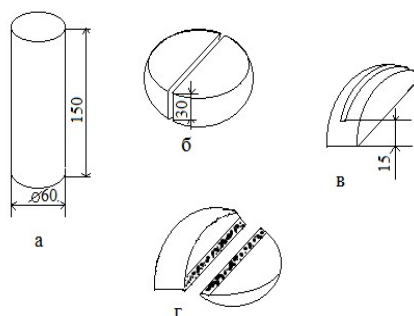


Рисунок 2.1 – Шкала пористості алюмінієвих сплавів [27]

*Метод першого пазирка (метод Дардела-Гудченко)* заснований на тому, що в умовах рівноваги парціальні тиски газу в металі і навколишньому середовищі однакові. За ГОСТ 21132.0-75 пробу металу заливають в тигель, що обігривається і знаходиться у вакуумній камері. При постійній температурі поступово зменшують тиск над розплавом до появи першого пазирка газу, що виділився з розплаву. Момент виділення першого пазирка (за наявності на поверхні розплаву щільної оксидної плівки, що затримує дифузію водню) відповідає рівності парціального тиску в розплаві і поза ним. Знаючи температуру розплаву і визначивши тиск, при якому виділяється перший пазирок, розраховують за рівнянням (1.13) вміст водню в розплаві.



*Вміст неметалевих домішок* визначають методами хімічного аналізу і відбором технологічних проб. Враховуючи складність і трудомісткість хімічного методу кількісного визначення неметалевих включень для поточного контролю в цехових умовах його не застосовують. Наявність крупних включень і плівок визначають за допомогою технологічних проб Добаткіна-Зіновьєва (рис. 2.2). Для цієї мети з досліджуваного розплаву відливають (або вирізують зі зливки) заготовку діаметром 50 мм і завдовжки 150 мм. Заготовку в нагрітому стані осаджують по довжині у “галету” завтовшки 30 мм (п’ятикратна осадка). Після цього по площині, перпендикулярній напрямку осадки, “галету” надрізають і ламають. По кількості і площині неметалевих домішок у зламі роблять висновок про чистоту розплаву. Задовільним вважається такий розплав, площа неметалевих включень в якому не перевищує 0,05 % на 1 см<sup>2</sup> площі зламу [27].

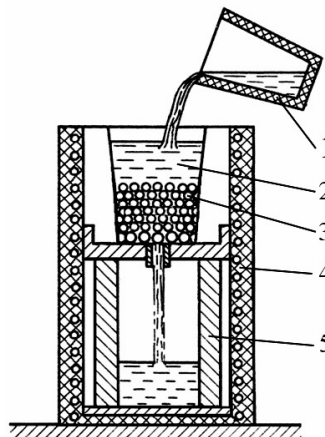


*a* – лита заготовка; *б* – осаджена і розірвана заготовка (“галета”); *в* – роз-ташування бічного надрізу; *г* – злам  
Рисунок 2.2 – Технологічна проба Добаткіна–Зіновьєва

## 2.4 Методика фільтрування алюмінієвих розплавів

Алюмінієвий розплав отримано плавленням вторинної алюмінієвої сировини шахтній лабораторній електропечі типу СШОЛ у графітових тиглях. Під час плавлення вторинної сировини проводили флюсове рафінування чотирикомпонентним флюсом (56 % NaCl, 22 % NaF, 15 % KCl, 7 % Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>) у

заданій кількості. Отриманий алюмінієвий розплав піддавали фільтруванню крізь зернисті фільтри на лабораторній фільтрувальній установці (рис.2.3).



1 – тигель; 2 – фільтрувальний елемент; 3 – шар фільтрувального матеріалу; 4 – лабораторна електропіч; 5 – тигель

Рисунок 2.3 – Схема лабораторної фільтрувальної установки

Отриманий алюмінієвий розплав фільтрували крізь зернисті фільтри під дією сили тяжіння в тиглі місткістю 200 г. Матеріал фільтра використовували одноразово. Для видалення адсорбованої вологи фільтрувальний матеріал засипали у фільтрувальну камеру та прожарювали за температури 700–720 °С. Фільтрувальний матеріал, що досліджується, насипали в камеру у кількості, потрібній для створення фільтрувального шару певної висоти і заливали алюмінієвий розплав. Вміст домішок в розплаві оцінювали за технологічними пробами. Ступінь рафінування (%) визначали як відношення різниці вмісту домішок у вихідному та відрафінованому розплаві до їх кількості у розплаві до рафінування.

## 2.5 Методика проведення термодинамічних розрахунків

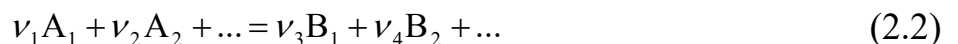
Хімічна взаємодія супроводжується виділенням або поглинанням теплоти. Кількість теплоти, яка виділяється або поглинається в ході хімічної реакції при заданій температурі початкових речовин і продуктів реакції, нази-

вається тепловим ефектом.

Для розрахунку енергії Гіббса запропоновано два методи: ентропійний і розрахунок по рівнянню Гіббса-Гельмгольца. Розрахунок константи рівноваги також можна проводити, використовуючи рівняння нормального хімічного засобу і рівняння ізобари хімічної реакції. У всіх випадках розрахунок може бути точним і наближеним. Допускається три наближення:

- перше наближення:  $\Delta C_p = 0$ ;
- друге наближення:  $\Delta C_p = \text{const}$ ;
- третє наближення:  $\Delta C_p = f(T)$ .

Стандартну зміну ентальпії  $\Delta H_{298}^0$  реакції, що досліджується,



визначають, використовуючи закон Гесса, за стандартними змінами ентальпій речовин  $\Delta H_{298}^0$  [32, 33]:

$$\Delta H_{298}^0 = \sum (\nu_i \Delta H_{298, B_i}^0)_{\text{кін}} - \sum (\nu_i \Delta H_{298, A_i}^0)_{\text{поч}}. \quad (2.3)$$

По знаку  $\Delta H_{298}^0$  визначають характер вірогідності хімічної реакції за температури  $T = 298$  К. Якщо  $\Delta H_{298}^0 > 0$ , реакція вважають ендотермічною, якщо  $\Delta H_{298}^0 < 0$ , реакція вважають екзотермічною.

Аналогічно розраховують стандартні зміни ентропії  $\Delta S_{298}^0$  реакції:

$$\Delta S_{298}^0 = \sum (\nu_i S_{298, B_i}^0)_{\text{кін}} - \sum (\nu_i S_{298, A_i}^0)_{\text{поч}}. \quad (2.4)$$

Зміну стандартної енергії Гіббса даній хімічній реакції розраховують по ентропійному методу:

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - \Delta S_T^0 \cdot T. \quad (2.5)$$

У першому наближенні, приймаючи, що  $\Delta C_p = 0$ , рівняння (2.6) приймає вид:

$$\Delta G_{298}^0 = \Delta H_{298}^0 - \Delta S_{298}^0 \cdot T, \quad (2.6)$$

де  $T = 298$  К.

По знаку  $\Delta G_{298}^0$  визначають напрям хімічної реакції при  $T=298$  К і  $P=10^2$  кПа. Якщо  $\Delta G_{298}^0 < 0$ , то реакція протікає мимовольно зліва направо; якщо  $\Delta G_{298}^0 > 0$ , напрям реакції зворотній. Якщо  $\Delta G_{298}^0 = 0$ , реакція знаходиться в стані рівноваги.

Абсолютна величина  $\Delta G_{298}^0$  показує ступінь видалення реакції від стану рівноваги за стандартних умов.

Залежність ізобарної теплоємності від температури в довідниках термодинамічних величин звичайно задається рівняннями типу для неорганічних речовин:

$$C_p^0 = a + v \cdot 10^{-3} T + c \cdot 10^{-5} T^{-2}, \quad (2.7)$$

для органічних речовин

$$C_p^0 = a + v \cdot 10^{-3} T + q \cdot 10^{-6} T^2. \quad (2.8)$$

Зміну теплоємності речовин в хімічній реакції розраховують, використовуючи закон Гесса:

$$\Delta C_p^0 = \sum (v_i C_{p,B_i})_{\text{кін}} - \sum (v_i C_{p,A_i})_{\text{поч}}, \quad (2.9)$$

яке приймає вид:

$$\Delta C_p^0 = \Delta a + \Delta v \cdot 10^{-3} T + \Delta c \cdot 10^5 T^{-2}$$

або

$$\Delta C_p^0 = \Delta a + \Delta v \cdot 10^{-3} T + \Delta q \cdot 10^{-6} T^2.$$

Підставляючи значення  $T=298$  К, знаходимо стандартну зміну теплоємності для даної хімічної реакції.

Залежність зміни ентальпії і ентропії від температури виражається рівняннями:

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^{T_{\text{ф.пер}}} \Delta C_p' dT \pm \Delta H_{\text{ф.пер}} + \int_{T_{\text{ф.пер}}}^T \Delta C_p'' dT; \quad (2.10)$$

$$\Delta S_T^0 = \Delta S_{298}^0 + \int_{298}^{T_{\text{ф.пер}}} \frac{\Delta C_p' dT}{T} \pm \frac{\Delta H_{\text{ф.пер}}}{T_{\text{ф.пер}}} + \int_{T_{\text{ф.пер}}}^T \frac{\Delta C_p'' dT}{T}, \quad (2.11)$$

де  $T_{\text{ф.пер}}$  – температура фазових перетворень, К;

$\Delta H_{\text{ф.пер}}$  – зміна ентальпії при фазових перетвореннях, Дж;

$\Delta C'_p$  та  $\Delta C''_p$  – зміни теплоємності для хімічних реакцій до і після фазових перетворень речовин, що реагують, Дж/(моль·К).

Якщо фазових переходів немає або їх не враховують, ці формули спрощуються, маючи тільки по два перші члени рівнянь.

По другому наближенню, приймаючи, що  $\Delta C_p = \text{const} = \Delta C_{p,298}^0$ , проводимо розрахунок  $\Delta H_T^0$  і  $\Delta S_T^0$  для всіх вказаних в завданні температур;  $\Delta G_T^0$  – розраховуємо для тих же температур; розрахунок  $\lg K_p$  і  $K_p$  – по рівнянню нормальної хімічної спорідненості. Точніші значення величин  $\Delta H_T^0$ ,  $\Delta S_T^0$ ,  $\Delta G_T^0$ , а також  $\lg K_p$  і  $K_p$  одержують при розрахунку по третьому наближенню, коли  $\Delta C_p = f(T)$ . Тоді, в рівняння для розрахунку залежностей  $\Delta H_T^0$  і  $\Delta S_T^0$  від температури підставляють значення:

$$\Delta C_p = \Delta a + \Delta v \cdot 10^{-3} T + \Delta c \cdot 10^5 T^{-2} \quad (2.12)$$

або

$$\Delta C_p = \Delta a + \Delta v \cdot 10^{-3} T + \Delta g \cdot 10^{-6} T^2. \quad (2.13)$$

Наближеними і точними методами можна провести розрахунок за рівнянням Гіббса-Гельмгольца:

$$\Delta G_T^0 = -T \int \frac{\Delta H_T^0}{T^2} dT + BT, \quad (2.14)$$

де  $B$  – стала інтегрування.

Для першого наближення ( $\Delta C_p^0 = 0$ ) використовують стандартну зміну ентальпії  $\Delta H_{298}^0$ , енергії Гіббса  $\Delta G_{298}^0$  і стандартну температуру 298 К:

$$\Delta G_{298}^0 = -298 \int \frac{\Delta H_{298}^0}{298^2} dT + B \cdot 298, \quad (2.15)$$

Після визначення постійної інтегрування  $\Delta G_T^0$  розраховують при всіх вказаних в завданні температурах, а також  $\lg K_{p_T}$  і  $K_{p_T}$ .

Для другого наближення в рівняння Гіббса-Гельмгольца вводиться значення, що розраховується за рівнянням:

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_{p_{298}}^0 dT = \Delta H_{298}^0 + \Delta C_{p_{298}} (T - 298). \quad (2.16)$$

Розраховують постійну інтеграції, визначають значення  $\Delta G_T^0$  при різних температурах, а потім  $\lg K_{p_T}$  і  $K_{p_T}$ .

Для третього наближення в рівняння залежності ентальпії від температури вводять багаточлен  $\Delta C_p = f(T)$ , а після визначення постійної інтеграції при  $T = 298$  К розраховують  $\Delta G_0$ ,  $\lg K_{p_T}$  и  $K_{p_T}$  відповідно.

Розрахунок можна проводити за рівнянням ізобари хімічної реакції, що має вигляд:

$$\ln K = -\frac{\Delta H_T^0}{RT^2} dT + B,$$

або

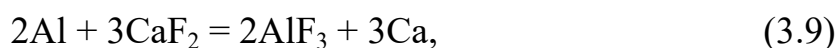
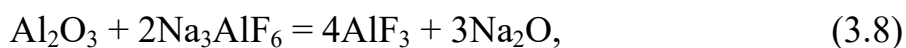
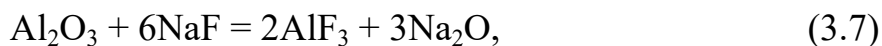
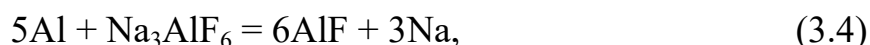
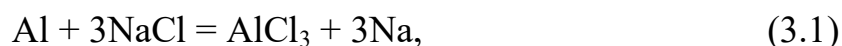
$$\lg K = -\frac{\Delta H_T^0}{T^2} dT + B.$$

Розрахунки проводять також в першому наближенні ( $\Delta C_p = 0$ ,  $\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0$ ), другому наближенні ( $\Delta C_p = \Delta C_{p,298}$ ,  $\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \Delta C_p(T - 298)$ ), третьому наближенні, для розрахунку  $\Delta H_T^0$  використовують  $\Delta C_p = f(T)$  [32,33].

### 3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1 Термодинамічний аналіз реакцій взаємодії алюмінію та оксиду алюмінію з компонентами флюсу та фільтрувальними матеріалами

В дослідженні розглянуто взаємодії алюмінію та оксиду алюмінію з чотирикомпонентним флюсом (NaCl, KCl, NaF, Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>) і фільтрувальними матеріалами (CaF<sub>2</sub>, MgF<sub>2</sub>, MgO). В результаті взаємодії компонентів імовірно протікають такі реакції:



Розрахунки термодинамічних характеристик реакцій (3.1) – (3.8) виконано в роботі [36], з аналізу яких випливає, що всі розглянуті солі не вступають у взаємодію з алюмінію та оксиду алюмінію в інтервалі температур від 573 К до 1473 К. Тому всі перелічені солі можна використовувати як чотирикомпонентний флюс для плавлення вторинної алюмінієвої сировини та рафінування алюмінієвих розплавів за температур 573–1473 К.

Для дослідження термодинамічних характеристик реакцій взаємодії алю-

мінію та оксиду алюмінію з фільтрувальними матеріалами ( $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{MgO}$ ) вибраний температурний діапазон 673-1073 К з інтервалом в 100 градусів. Розрахунок виконано з використанням електронних таблиць Microsoft Excel та перевірено на програмі HSC. Розрахунок термодинамічних характеристик виконано з урахуванням фазових перетворень речовин за третім наближенням по рівнянню Гіббса-Гельмгольца. За розрахункові данні були прийняті данні із довідників [33-35]. Значення термодинамічних характеристик речовин, що беруть участь в реакціях, надано в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Термодинамічні характеристики речовин [33-35]

Речовина	Фаза	Ентальпія $\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	Ентропія $\Delta S_{298}^0$ , Дж/моль·К	Коефіцієнти рівняння $\Delta C_p = f(T)$ , Дж/(моль·К)			Температура перетворення $T_{пр}$ , К	Ентальпія перетворення $\Delta H_{пр}$ , кДж/моль
				$a_0$	$a_1$	$a_2$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Al	ТВ	0	28,34	20,67	12,38	–	932	10,76
	Ж	–	–	29,31	–	–	2600	284,38
AlCl <sub>3</sub>	ТВ	–695,9	167,5	55,48	117,22	–	453	56,10
	Г	–	–	82,9	–	–	–	–
AlF	ТВ	–427,1	61,7	43,9	13,4	–	1100	21,80
	Ж	–	–	64,7	–	–	1675	155,0
AlF <sub>3</sub>	ТВ	–1352,3	99,5	77,5	23,4	–7,49	1545	318,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ТВ	–1675,6	50,02	119,36	18,37	–30,43	2300	109,0
Na	ТВ	0	51,54	23,685	13,615	–	371	2,64
	Ж	–	–	37,49	–19,16	–	1187	97,97
	Г	–	–	20,81	–	–	–	–
NaCl	ТВ	–411,1	72,13	45,94	16,32	–	1073	30,23
	Ж	–	–	66,99	–	–	1738	170,85
NaF	ТВ	–569,4	54,85	40,44	18,84	–1,38	1265	32,66
	Ж	–	–	66,99	–	–	1977	222,99
Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	$\alpha_\phi$	–3309,5	283,49	172,27	158,45	–	834	9,29
	$\beta_\phi$	–	–	151,49	144,29	–	1279	107,28
	Ж	–	–	396,22	–	–	2500	–
Na <sub>2</sub> O	ТВ	–416,2	72,9	65,73	22,61	–	1193	29,7
	Ж	–	–	92	–	–	–	–



Продовження табл. 3.1

Речовина	Фаза	Ентальпія $\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	Ентропія $\Delta S_{298}^0$ , Дж/моль·К	Коефіцієнти рівняння $\Delta C_p = f(T)$ , Дж/(моль·К)			Температура перетворення $T_{пр}$ , К	Ентальпія перетворення $\Delta H_{пр}$ , кДж/моль
				$a_0$	$a_1$	$a_2$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
К	ТВ	0	63,64	5,55	81,24	–	337	2,33
	Ж	–	–	37,19	–19,11	–	1052	79,05
	Г	–	–	20,81	–	–	–	–
KCl	ТВ	–436,68	82,55	41,38	21,76	3,22	1043	26,84
	Ж	–	–	66,99	–	–	1680	162,62
K <sub>2</sub> O	ТВ	–361,7	96	66,60	26,8	–	980	28,5
	Ж	–	–	92,00	–	–	–	–
Ca	$\alpha_\phi$	0	41,66	21,94	14,65	–	723	1,0
	$\beta_\phi$	–	–	26,33	5,86	–	1123	9,21
	Ж	–	–	31	–	–	1755	161,6
CaO	ТВ	–635,09	38,08	41,86	20,26	–4,52	2860	75,0
CaF <sub>2</sub>	$\alpha_\phi$	–1215,4	68,91	59,83	30,46	1,97	1424	4,77
Mg	ТВ	0	32,53	22,32	10,26	–0,43	923	9,21
	Ж	–	–	33,5	–	–	1393	131,9
MgO	ТВ	–602,23	26,8	45,47	5,012	–8,74	3075	77,5
MgF <sub>2</sub>	ТВ	–1103,3	57,275	70,673	11,3	–11,14	1536	58,19

Для реакції (3.9) обчислено термодинамічні характеристики ( $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ,  $\Delta G$ ), значення термодинамічних сталих речовин і елементів, що беруть участь у взаємодії взяті з табл. 3.1. Результати розрахунків занесено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків для реакції (3.9)

Температура, К	Термодинамічні характеристики		
	$\Delta H$ , кДж	$\Delta S$ , Дж/К	$\Delta G$ , кДж
673	644,245	4,90	640,947
773	647,778	9,80	640,200
873	647,871	9,92	639,212
973	626,558	–12,95	639,163
1073	627,188	–12,34	640,428

Значення термодинамічних характеристик ( $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ,  $\Delta G$ ) для реакцій (3.10) – (3.13) обчислено аналогічно розрахунку для реакції (3.9) в інтервалі температур 673-1073 К. Результати розрахунків для вказаних реакцій занесено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків для реакцій (3.10) – (3.13)

Температура, К	Зміна енергії Гіббса, кДж			
	реакція (3.10)	реакція (3.11)	реакція (3.12)	реакція (3.13)
673	340,073	1759,748	413,937	218,670
773	341,137	1729,213	414,301	221,796
873	342,107	1696,764	414,479	224,933
973	342,353	1662,541	414,439	228,002
1073	342,160	1623,558	414,155	230,940

За даними табл.3.2 і табл.3.3 побудовано графічні залежності  $\Delta G_T^0 = f(T)$ , які зображено на рис. 3.1.

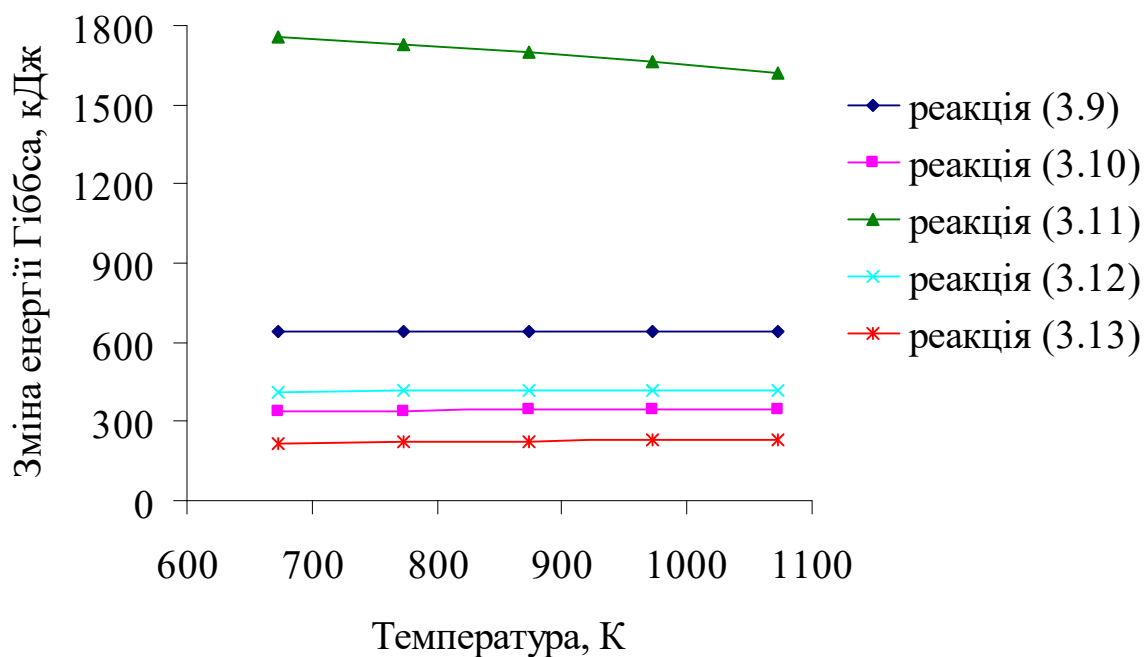


Рисунок 3.1 – Залежність зміни енергії Гіббса від температури для реакцій (3.9) – (3.13)

Таким чином, всі розглянуті солі та фільтрувальні матеріали не вступають

у взаємодію з алюмінієм і оксидом алюмінію (зміна енергії Гіббса для реакцій (3.1) – (3.13) позитивна, істотно більше нуля), тому всі перелічені солі та фільтрувальні матеріали можна використовувати для комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих шляхом плавлення вторинної алюмінієвої сировини під чотирикомпонентним флюсом, з подальшим фільтруванням цих розплавів за температур 673-1073 К.

### **3.2 Вплив температури флюсового рафінування на якість очищення алюмінієвих розплавів**

Рафінування алюмінієвих розплавів перед розливанням в злитки, особливо під час приготування сплавів відповідального призначення, є обов'язковою операцією. Витрати на цю операцію набагато нижчі витрат на придбання шихтових матеріалів. При виборі способів рафінування необхідно керуватися принципами достатності залежно від вибору реагентів для рафінування розплаву від водню і неметалевих включень, оскільки при цінах, що склалися на ринку, на шихтові матеріали додаткові витрати на виробництво можуть вивести його за межі рентабельності.

Використання флюсів під час приготування алюмінієвих розплавів істотно скорочує їх газонасиченість. Вважають, що рідкий флюс, частково розчиняючи і адсорбуючи оксидну плівку з поверхні розплаву, полегшує процес видалення газів з розплаву в атмосферу. Шар флюсу також зменшує інтенсивність взаємодії алюмінію з парами води атмосфери печі.

Розглянуті в главі 1 закономірності взаємодії алюмінієвого розплаву, флюсів і оксидних плівок справедливі також для аналізу процесів відокремлення металу від шлаку під час переплавлення вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям. Мінімальні втрати алюмінію зі шлаком досягаються при використанні добавки фториду алюмінію від 5 % до 10 % у складі флюсу на основі хлоридів натрію і калію.

Для дослідження процесу рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям, готувалася шихта у співвідношенні 2 : 1 з двох видів сировини: металеві стрічки використаних алюмінієвих банок для напоїв, покритої з обох сторін анодною плівкою і шаром харчового лаку, а з зовнішньої сторони – додатковим шаром декоративного лаку; кришки для закупорювання прохолоджуючих напоїв, на поверхні яких нанесено лакофарбове покриття.

Дослідження плавлення вказаної вторинної алюмінієвої сировини і рафінування розплаву складаються з визначення змін якісних характеристик розплаву при його рафінуванні флюсом. Як флюс використано чотирикомпонентний флюс системи  $\text{NaCl-NaF-KCl-Na}_3\text{AlF}_6$ , попередньо переплавлений, подрібнений з відокремленням часточок розміром від 3 мм до 5 мм.

Застосування гранульованого флюсу складу 56 %  $\text{NaCl}$ , 22 %  $\text{NaF}$ , 15 %  $\text{KCl}$ , 7 %  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  дозволяє понизити питому витрату флюсу шляхом зниження його механічних втрат під час завантаження в пічні агрегати і пиловиносу в систему газоочищення порівнянно з традиційним приготуванням флюсу змішуванням солей. Зниження витрати флюсу приводить до зменшення кількості шлаку, що утворюється, і, отже, механічних втрат металу зі шлаком.

Для визначення оптимальних умов рафінування флюсами алюмінієвих розплавів, отриманих при плавленні вторинної алюмінієвої сировини, досліджували вплив температури рафінування в інтервалі від 670 °C до 760 °C на металургійний вихід і пористість металу.

Отримані значення металургійного виходу і балу пористості металу, за однакової температури рафінування гранульованим флюсом при його витраті 2 % та триразовому проведенні паралельних дослідів, усереднюємо і записуємо в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати дослідження рафінування флюсом

Номер досліджу	Температура рафінування, °С	Металургійний вихід (%) під час витрати флюсу	Бал пористості під час витрати флюсу
1	670	75,6	2
2		76,7	2
3		75,8	2
4	700	79,8	2
5		80,3	2
6		80,5	1
7	730	80,1	1
8		79,9	2
9		80,0	1
10	760	79,7	1
11		79,8	1
12		79,3	1

Побудовані за даними табл.3.4 графічні залежності металургійного виходу і балу пористості металу надано на рис. 3.2, рис. 3.3.

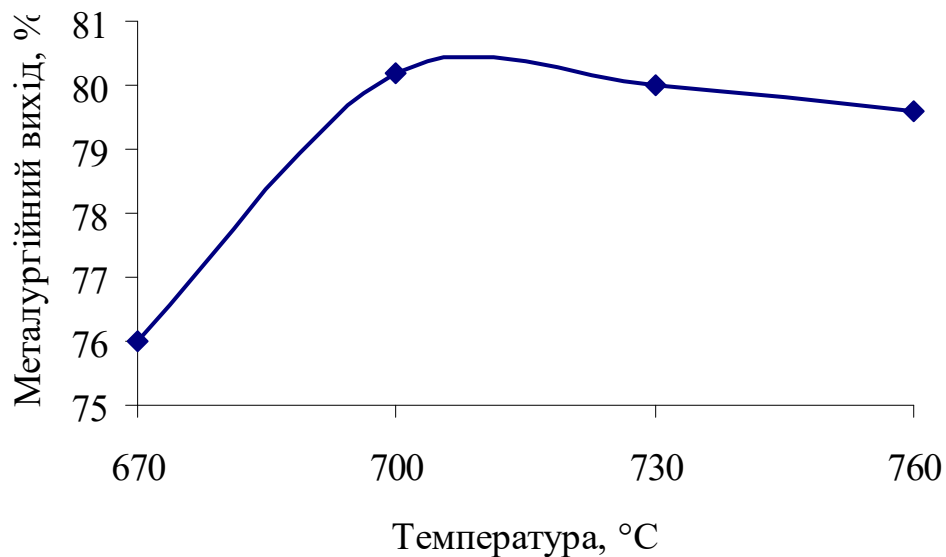


Рисунок 3.2 – Залежність металургійного виходу від температури рафінування флюсом

З даних, наданих у табл. 3.4, можна зробити висновок, що металургійний вихід має достатньо великі значення в дослідженому інтервалі температур. На

металургійний вихід температура рафінування істотно не впливає, проте невеликий максимум (80,2 %) спостерігається при температурі 700 °С (рис. 3.2).

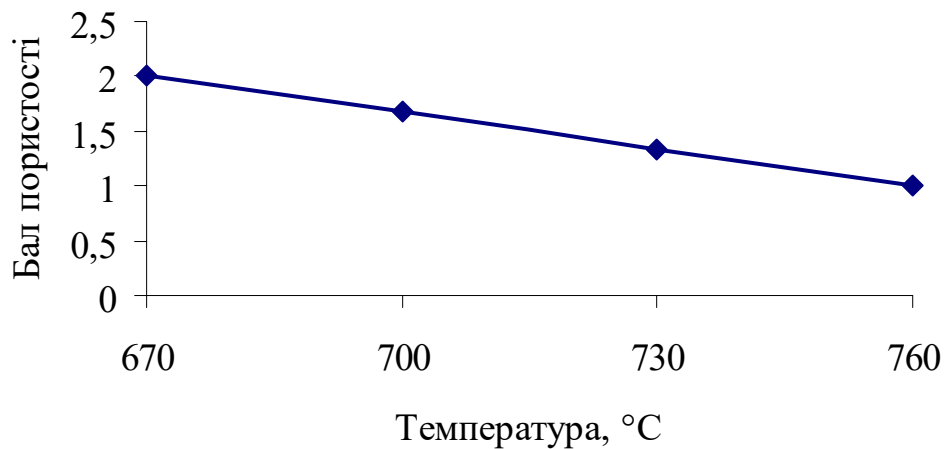


Рисунок 3.3 – Залежність балу пористості від температури рафінування флюсом

В дослідженому інтервалі температур з підвищенням температури рафінування від 670 °С до 760 °С газонасиченість (бал пористості) металу поступово знижується до першого балу (рис.3.3).

Відомо [14-18], що при підвищенні температури плавлення збільшується ступінь окислення алюмінію і більша кількість металу ошлаковується. Із збільшенням температури додавання флюсу в печі збільшуються втрати сольового флюсу за рахунок випаровування (відповідно знижується ефект захисту алюмінієвого розплаву від використання флюсів). Підвищення робочої температури в печі приводить також до збільшення вмісту водню в алюмінієвому розплаві (за рахунок збільшення абсорбції водню металом), тому необхідно обмежувати робочі температури проведення процесів плавлення та рафінування, вибираючи в розумних межах перегрів розплаву над температурою його плавлення.

Таким чином, з експериментальних даних, наданих у табл. 3.4, можна зробити висновок, що зниження газонасиченості розплавів, отриманих під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям,

залежить від температури рафінування. При температурі рафінування 760 °С газонасиченість металу знижується до 1 балу пористості (рис. 3.3). Проте найбільший металургійний вихід металу досягається при температурі 700 °С. Тому можна рекомендувати температуру близько 730 °С як оптимальну для рафінування гранульованим флюсом з його витратою 2,0 %.

Для підвищення якості рідкого металу, отриманого із вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям, перед його розливанням необхідно проводити додаткове очищення розплаву від дрібних зважених домішок шляхом фільтрування крізь зернисті фільтри.

### **3.3 Вплив технологічних умов фільтрування крізь зернисті фільтри на якість очищення алюмінієвих розплавів**

На підставі теоретичних досліджень для видалення неметалевих домішок із алюмінієвих розплавів, отриманих під час плавлення використаного алюмінієвого пакування, вибрано фільтрування крізь зернисті фільтри. Як фільтрувальний матеріал для експериментального дослідження вибрано магнетит, сплав фторидів кальцію та магнію (50 %  $\text{CaF}_2$ , 50 %  $\text{MgF}_2$ ), графіт [37].

Отриманий алюмінієвий розплав фільтрували крізь зернисті фільтри під дією сили тяжіння в тиглі місткістю 200 г. Матеріал фільтра використовували одноразово. Для видалення адсорбованої вологи фільтрувальний матеріал засипали у фільтрувальну камеру та прожарювали за температури 700–720 °С. Фільтрувальний матеріал, що досліджується, насипали в камеру у кількості, потрібній для створення фільтрувального шару певної висоти і заливали алюмінієвий розплав. Вміст домішок в розплаві оцінювали за технологічними пробами. Ступінь рафінування визначали як відношення різниці вмісту домішок у вихідному та рафінованому розплаві до їх кількості у розплаві до рафінування.

Для дослідження впливу технологічних умов фільтрування алюмінієвих

розплавів, що утворюються під час плавлення використаного алюмінієвого пакування, на ступінь рафінування змінювали середній розмір зерен фільтрувального матеріалу від 3 мм до 13 мм та висоту шару від 40 мм до 120 мм. Проведено серії дослідів з варіюванням розмірів фільтрувальних матеріалів в межах 2–4 мм, 4–6 мм, 6–8 мм, 8–10 мм, 10–12 мм, 12–14 мм.

Експериментально встановлено, що незалежно від матеріалу та висоти фільтра просочення алюмінієвого розплаву крізь фільтрувальний матеріал з розміром зерен 2–4 мм під дією сили тяжіння відбувається дуже повільно, в окремих випадках фільтрування майже не відбувається.

Вплив розміру зерен фільтрувального матеріалу на ступінь рафінування алюмінієвого розплаву від неметалевих домішок для фільтрів із сплаву фторидів і магнезиту при висотах шару фільтрувального матеріалу в інтервалі 40–120 мм приведено на рис.3.4.

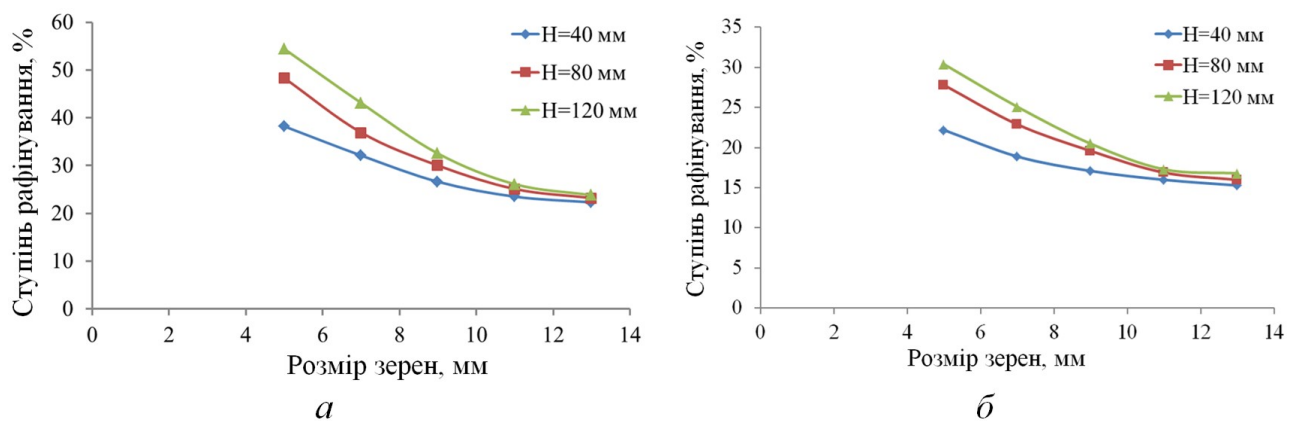


Рисунок 3.4 – Залежності ступеня рафінування розплаву від розміру зерен сплаву фторидів (а) і магнезиту (б) для фільтрів різної висоти

За даними рис.3.4 встановлено, що в досліджуваному інтервалі розмірів зерен фільтрувального матеріалу ступінь рафінування алюмінієвого розплаву зростала при фільтруванні крізь сплав фторидів кальцію і магнезиту з 22,3 % до 38,2 % при висоті шару фільтра 40 мм і з 23,8 % до 54,4 % (рис.3.4, а) при висоті шару фільтра 120 мм. При використанні магнезиту ступінь рафінування алюмінієвого розплаву зростала з 14,2 % до 22,7 % при



висоті шару фільтра 40 мм і з 18,1 % до 30,5 % (рис.3.4, б) при висоті шару фільтра 120 мм.

Для отримання однакового ступеня рафінування алюмінієвих розплавів від неметалевих домішок розмір зерна фільтра зі сплаву фторидів може бути в 1,5–2 рази більший, ніж розмір зерна магнезиту [38,39].

Кінетику фільтрування металевих розплавів крізь зернисті фільтри описують рівнянням [6]:

$$C = C_0 / (1 + K_a \cdot H/d^2), \quad (3.14)$$

де  $C$  та  $C_0$  – кількість домішок у розплаві до та після фільтрування відповідно;

$H$  і  $d_{\text{зер}}$  – висота шару і середній діаметр зерна фільтра, мм;

$K_a$  – коефіцієнт адгезійної активності матеріалу фільтра.

Математичною обробкою експериментальних даних, наведених на рис.3.4, визначено, що величина коефіцієнта адгезійної активності матеріалу фільтра, обчислена за рівнянням кінетики фільтрування (3.14), дорівнює для фільтра із зерен сплаву фторидів  $K_a=6,8$  (розбіжність з теоретичною величиною 9,6 %), для фільтра із зерен магнезиту –  $K_a=2,156$  (розбіжність 7,8 %).

Вплив висоти шару фільтрувального матеріалу на ступінь рафінування алюмінієвого розплаву від неметалевих домішок для фільтрів зі сплаву фторидів і магнезиту при різних розмірах зерен приведено на рис.3.5.

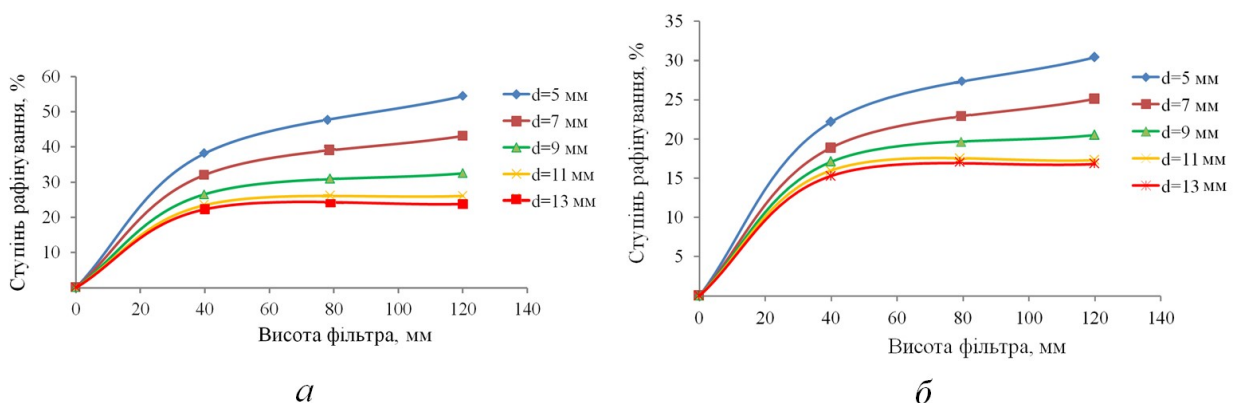


Рисунок 3.5 – Залежності ступеня рафінування розплаву від висоти фільтра зі сплаву фторидів (а) і магнезиту (б) з різним середнім розміром зерен

Експериментально встановлено, що в досліджуваному інтервалі розмірів зерен і висоти шару фільтра ступінь рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих з вторинної сировини, від зважених неметалевих домішок залежить від розмірів зерен, висоти шару і типу фільтрувального матеріалу (рис.3.4, рис.3.5). Чим більша висота шару і менший розмір зерна матеріалу фільтра, тим більша кількість домішок затримується фільтром із сплаву фторидів і магнезиту [38,39].

Вплив температури фільтрування на ступінь рафінування алюмінієвих розплавів крізь фільтри однакової висоти фільтра (120 мм) з різних матеріалів надано в табл.3.5.

Таблиця 3.5 – Результати дослідження впливу температури фільтрування алюмінієвих розплавів на якість отриманого металу

Температура фільтрування, °С	Ступінь рафінування розплавів залежно від матеріалу фільтра, %	
	сплав фторидів	магнезит
700	42,8	25,1
730	43,1	24,2
760	43,1	24,9

Графічна залежність ступеня рафінування алюмінієвих розплавів крізь фільтри однакової висоти із сплаву фторидів і магнезиту надана на рис.3.6.

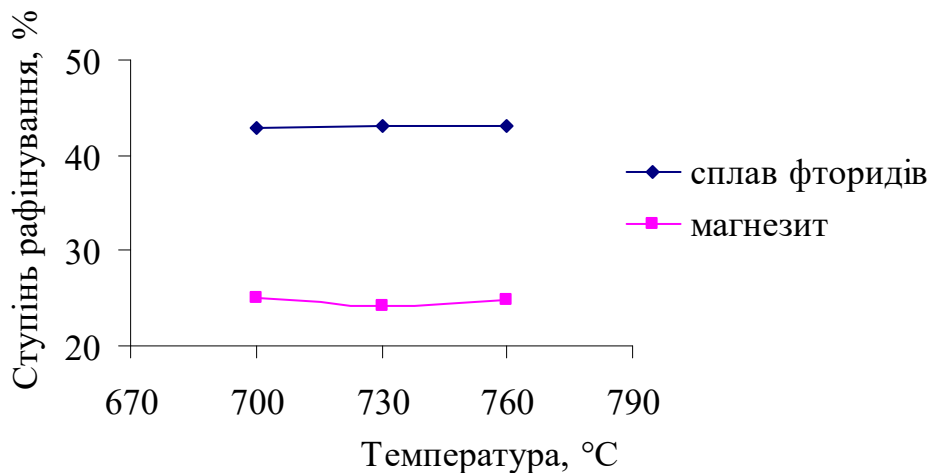


Рисунок 3.6 – Залежність ступеня рафінування розплаву від температури і матеріалу фільтра

За даними рис.3.6 встановлено, що змінення температури розплаву в інтервалі температур 700–750 °С при фільтруванні крізь досліджувані фільтри суттєво не впливало на ступінь рафінування розплаву від неметалевих домішок.

Використані фільтри вилучали з фільтрувальної камери, розрізали за вертикальною віссю та оцінювали ефективність видалення неметалевих домішок із алюмінієвого розплаву. Встановлено, що фільтр разом з фільтрзалишками є достатньо міцним конгломератом зерен, сполучених металевими нитками. Спостерігали потемніння зерен зі сплаву фторидів кальцію та магнію, проте розміри та форма зерен будь-якого фільтрувального матеріалу не зазнали змінення. Накопичення оксидних плівок, що перемішані з металом, відбувалося переважно у верхній частині фільтра. Так, верхня частина фільтра (20–22 мм від верху) для фільтра з загальною висотою шару 120 мм була засмічена оксидними плівками. Отже, для видалення великих за розміром неметалевих домішок з досліджених алюмінієвих розплавів достатньо використовувати фільтри з висотою шару фільтрувального матеріалу менше, ніж 120 мм [39].

Всі досліджені фільтрувальні матеріали, з яких виготовлені зернисті фільтри, у досліджених умовах фільтрування зменшують забруднення алюмінієвих сплавів твердими неметалевими домішками (табл.3.6). Проте магнетитовий фільтр не знижує газонасиченість розплавів.

Таблиця 3.6 – Вплив матеріалу фільтра на вміст неметалевих домішок і водню у сплаві [39]

Матеріал фільтра	Масова частка $Al_2O_3$ , $mm^2/cm^2$		Масова частка $H_2$ , $cm^3/100\text{ г}$	
	до рафінування	після рафінування	до рафінування	після рафінування
Сплав фторидів	0,26	0,12	0,31	0,22
Магнетит	0,25	0,21	0,31	0,31

Запропоновані технологічні умови комплексного рафінування шляхом рафінування флюсом під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям і подальше фільтрування отриманих алюмінієвих

розплавів дозволяють знизити газонасиченість металу до  $0,22 \text{ см}^3/100 \text{ г}$  металу (вміст водню не перевищує встановленого показника) і масову частку оксиду алюмінію до  $0,12 \text{ мм}^2/\text{см}^2$ .

Таким чином, проведеними дослідженнями підтверджено доцільність використання зернистих фільтрів, виготовлених зі сплаву фторидів кальцію та магнію, для видалення зважених неметалевих домішок із розплавів, отриманих під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям.

Експериментально встановлено, що ступінь рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих з вторинної сировини, від зважених неметалевих домішок залежить від розмірів зерен, висоти шару і типу фільтрувального матеріалу. Чим більша висота шару і менший розмір зерна матеріалу фільтра, тим більша кількість домішок затримується фільтром.

Ступінь рафінування розплавів, отриманих під час плавлення під флюсом використаного алюмінієвого пакування, від оксидних плівок і великих за розміром неметалевих домішок підвищується з  $23,8 \%$  до  $54,4 \%$  при висоті шару сплаву фторидів  $120 \text{ мм}$  та з  $18,1 \%$  до  $30,5 \%$  при висоті шару магнезиту  $120 \text{ мм}$  в дослідженому інтервалі розмірів зерен фільтрувального матеріалу.

Виявлені закономірності є основою для вибирання технологічних умов фільтрування розплавів, отриманих під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини, від неметалевих домішок і водню в промислових умовах.

### **3.4 Заходи щодо впровадження результатів дослідження**

Застосування гранульованого чотирикомпонентного флюсу розміром від  $3$  до  $5 \text{ мм}$  при плавленні вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям дозволяє понизити витрату флюсу і температуру рафінування на  $25\text{-}35 \text{ }^\circ\text{C}$  і забезпечує отримання якісного металу. Рафінування при нижчій температурі дозволяє зменшити енергетичні витрати на розігрівання металу і

підтримку його при заданій температурі, зменшити угар металу і втрати флюсу за рахунок зменшення його випаровування.

На підставі проведених досліджень розроблено схему комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям, шляхом плавленням шихти з використанням гранульованого чотириккомпонентного флюсу та фільтрування крізь зернисті фільтри з сплаву фторидів для виготовлення алюмінієвих сплавів в умовах вітчизняних металургійних підприємств (рис. 3.7).

Початкові флюсові солі ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) дозуються у відповідній кількості, змішуються у механічному змішувачі та надходять у гранулятор. Після грануляції отриманий флюс розсівають на гуркотах для відокремлення частинок розміром від 3 до 5 мм, які є готовим гранульованим флюсом.

Приготування алюмінієвого розплаву з вторинної алюмінієвої сировини проводиться в індукційній тигельній печі ІАТ-6. Технологічний процес виробництва алюмінієвих сплавів в індукційній печі складається з таких операцій: завантаження в піч шихтових матеріалів; плавлення (до повного розчинення шихтових матеріалів); флюсове рафінування розплаву; відстоювання металу; зняття шлаку; проведення експрес-аналізу сплаву; переливання розплаву в ківш і фільтрування крізь зернистий фільтр; розливання металу у чушки.

Перед завантаженням матеріалів піч потрібно повністю звільнити від залишків попередньої плавки, ретельно видалити шлак. На очищений черинь тигля печі рівномірно і щільно укладають розрахункову кількість пакетів вторинної алюмінієвої сировини і первинного алюмінію у вигляді чушок для утворення щільної монолітної маси. Піч поступово розігрівають до температури від 750 до 800 °С для утворення розплаву (пускової садки).

Далі в підігріту піч завантажують розрахункову кількість алюмінію, а потім силіцію. Силіцій завантажують порціями по 40-50 кг зі спеціального



Рисунок 3.7 – Технологічна схема виготовлення алюмінієвих сплавів шляхом комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям

бункера, встановленого над піччю. Після завантаження силіцію в розплав вводять всі інші легуючі компоненти сплаву, крім магнію. Після введення легуючих компонентів (крім магнію) нагрівають розплав в печі до температури 830-850 °С, при якій йде інтенсивне перемішування і розчинення завантаженої шихти. Після повного розчинення завантажених шихтових матеріалів у розплав вводять магній за допомогою шумівки або дірчатого короба, які перед

використанням слід добре нагріти разом із магнієм. Враховуючи високий угар магнію, кількість його в шихті слід брати дещо більшою за верхню межу вмісту в сплаві. Після введення магнію піч удруге вмикають на 10-15 хвилин для розчинення магнію і рівномірного розподілу його по всій масі розплаву. Потім піч відключають, розплав відстоюють протягом  $9 \pm 3$  хвилин, із поверхні металу збирають шлак, відбирають пробу сплаву на експрес-аналіз для визначення вмісту основних компонентів сплаву і домішки заліза.

За результатами експрес-аналізу розплав рафінують за температури 700-720 °С. Для цього в розплав графітовою мішалкою замішують відповідну кількість чотирикомпонентного флюсу і повторно перемішують метал включенням печі на 5-10 хв. Виготовлений сплав зливають з індукційної печі в ківш, виливають у фільтрувальну установку для фільтрування крізь зернистий фільтр із сплаву фторидів кальцію і магнію, потім по жолобу розплав надходить у ливарний конвеєр для розливання чушок масою 15 кг.

Висновки. Проведеними дослідженнями підтверджено доцільність використання зернистих фільтрів, виготовлених зі сплаву фторидів кальцію та магнію, для видалення зважених неметалевих домішок із розплавів, отриманих під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям

Досліджено вплив технологічних умов комплексного рафінування з використанням чотирикомпонентного флюсу та фільтрування крізь зернисті фільтри на якість алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям.

Запропонована технологічна схема отримання алюмінієвих сплавів шляхом комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на дослідника в металургійній лабораторії

Під час роботи в приміщенні металургійної лабораторії на людину можуть негативно впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі чинники: а) небезпека ураження електричним струмом; б) підвищена або знижена температура повітря; в) надмірна запиленість і загазованість повітря; г) підвищена або знижена вологість повітря; д) підвищений рівень тепловиділення; е) небезпека отруєння парами хімічних речовин; є) недостатня освітленість робочого місця.

Під час дослідження плавлення вторинної алюмінієвої сировини (банок для напоїв, фольги та іншого пакування) і рафінування отриманих розплавів основними потенційними небезпеками є ураження електричним струмом. Джерелами прихованої небезпеки дії електричного струму є електроустановки. Робота електротермічного устаткування створює небезпеку теплового ураження.

Основними шкідливими чинниками під час дослідження особливостей комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих плавленням вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям, є тепло- і газовиділення, а також неіонізуюче випромінювання. Найбільша кількість теплоти виділяється під час плавлення під флюсом вторинної алюмінієвої сировини, фільтраційного рафінування і розливання алюмінієвих сплавів, менша кількість тепловиділень – під час твердіння злитків.

Джерелом інтенсивних тепловиділень є лабораторна шахтна електропіч опору СШОЛ–11,6 12–МЗ. При проведенні експерименту температура у печі не більше 900 °С, проте завдяки вогнетривкої кладки і кожуху печі температура поверхні печі складає близько 20 °С. Основна кількість теплоти виділяється при вийманні алюмінієвого розплаву з печі, тому цю операцію слід проводити з



використанням допоміжних щипців у спеціальних захисних рукавицях.

Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів та карта умов праці для робочого місця дослідника щодо комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих плавленням вторинної алюмінієвої сировини, надано в табл. 4.1 [40-44].

Таблиця 4.1 – Оцінка чинників виробничого та трудового процесу

№	Чинники виробничого середовища і процесу праці	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії чинників за зміну, %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup>						
	2 клас безпеки:						
	фторид натрію	1,0	1,12	–	–	–	35
	фторид кальцію	0,03	0,01	–	–	–	35
	фторид магнію	0,03	0,01	–	–	–	35
	кріоліт	1,0	0,85	–	–	–	35
	3-4 клас безпеки:						
хлорид натрію	5,0	4,0	–	–	–	35	
хлорид калію	5,0	3,0	–	–	–	35	
2	Неіонізуючі випромінювання: - діапазон промислової частоти, кВ/м	20	20	–	–	–	35
3	Мікроклімат в приміщенні:						
	- температура повітря, °С	18	24	–	6	–	85
	- швидкість руху повітря, м/с	0,5	0,4	–	–	–	85
	- відносна вологість повітря, %	40-60	50	–	–	–	85
4	Категорія важкості і напруженість праці	Категорія праці – легка, помірно напружена					

Таким чином, проведений аналіз умов праці під час дослідження особли-

востей комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих плавленням вторинної сировини з лакофарбовим покриттям, дозволяє зробити висновок про незначне перевищення нормативних показників по рівню для фториду натрію, але за рахунок незначної тривалості дії чинників це дозволяє вважати категорію праці легкою, помірно напруженою.

#### 4.2 Заходи з поліпшення умов праці

При дослідженні особливостей комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих плавленням вторинної сировини з лакофарбовим покриттям, для приготування алюмінієвих сплавів, робота, яка 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 дослідженні, зведений у табл. 4.1. Фториди натрію, кальцію і магнію, хлориди натрію та калію, кріоліт проникають в організм людини крізь дихальні шляхи, шкіряні та слизові покриви. Фторид натрію викликає гострі і хронічні отруєння з ураженням життєво важливих органів і систем, при контакті з шкірою і слизовою викликає опіки [40-45]. Хлорид натрію викликає подразнення слизових оболонок верхніх дихальних шляхів і шкіри. При попаданні хлориду калію на шкіряні рани ускладнюють їх загоєння. Кріоліт є токсичною речовиною, викликає порушення діяльності центральної нервової системи, хвороби кісних тканин, очей і шкіряних покривів.

Для захисту і попередження від шкідливої дії хімічних речовин (вказаних вище фторидів і хлоридів, кріоліту) слід застосовувати засоби індивідуального захисту, виконувати правила гігієни і працювати під витяжною шафою. Не до-

пускати потрапляння на рани хлориду калію, кріоліту – всередину організму.

Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які трапляються при проведенні дослідження особливостей комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, надано в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Найменування шкідливого виробничого фактору	Параметр (норма)	Значення параметра на робочому місці	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, електротравма, електроудар, термічні опіки тіла, зупинка роботи серця і дихання	Діелектричні рукавиці
<p>Джерело: Електрична піч опору, муфільна електропіч.            Заходи запобігання: Корпуси печей мають бути надійно заземленими.            Строго стежити за станом електроізоляції і заземлення устаткування.            Всі поверхні устаткування мають бути чистими і сухими.</p>				

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 дослідників.

Для захисту від дії шкідливих хімічних речовин під час дослідів передбачена механічна вентиляція (витяжна шафа) та природна аерація. На роботах зі шкідливими умовами праці, а також в особливих температурних умовах повинні бути використаними засоби індивідуального захисту (халат, нарукавники, рукавиці гумові, рукавиці бавовняні, захисні окуляри).

### 4.3 Виробнича санітарія

Мікроклімат визначається сукупністю фізичних параметрів повітряного середовища, таких як температура, швидкість руху, вологість і барометричний тиск повітря, температура поверхонь, що оточують людину, та інтенсивність інфрачервоного випромінювання. Кількість тепла, що утворюється в організмі людини, залежить від фізичних навантажень, а рівень тепловіддачі – від мікрокліматичних умов, переважно температури повітря.

Згідно з категорії виконуваних робіт, важкості та характеристикою приміщення стосовно надлишку тепловипромінювання, з урахуванням періоду року встановлюють значення показників мікроклімату, базуючись на вимогах санітарних норм зведених в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Нормовані величини температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Пе-ріод року	Ка-те-го-рія ро-біт	Температура, °С					Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с	
		Опти-маль-на	Допустима				Опти-маль-на	Допус-тима на робочих місцях постій-них і непостій-них, не більш	Опти-маль-на	Допустима на робо-чих місцях постійних і непостій-них
			верхня межа		нижня межа					
			на робочих місцях							
по-стій-них	не-по-стій-них	по-стій-них	не-по-стій-них							
Хо-лод-ний	Лег-ка	21-23	24	25	20	17	40-60	75	0,1	не більше 0
Теп-лий	Лег-ка	22-24	28	30	21	19	40-60	60 (при 27 °С)	0,2	0,1-0,3

Освітлення виробничих приміщень. Вплив світла спостерігається на функцію зору та на діяльність організму в цілому (посилюється обмін речовин, збільшується поглинання кисню і виділення вуглекислого газу). Недостатня або

надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору втомлює очі, призводить до зниження продуктивності праці; при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Надмірна яскравість джерел світла може спричинити головний біль, різь в очах, розлад гостроти зору; світлові відблиски – тимчасове засліплення.

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути природним, штучним і суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним [43]. Для створення сприятливих умов зорової роботи для виконання роботи середньої точності використовуємо такі норми освітлення, які зазначені в табл. 4.4 і табл. 4.5.

Таблиця 4.4 – Нормовані значення природного освітлення для виробничих процесів за СНіП І-4-79

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкту для розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Коефіцієнт природного освітлення $e_n$ , %	
			При верхньому і комбінованому освітленні	При звичайному освітленні
Середньої точності	0,5-0,1	IV	3,6	1,4

Таблиця 4.5 – Норми освітлення штучним світлом за СНіП ІІ-4-79

Характеристика роботи	Розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд роботи	Підрозряд роботи	Контраст об'єкта з фоном	Фон	Найменше освітлення, Лк			
						При газорозрядних		При лампах розжарювання	
						Комбіноване	Загальне	Комбіноване	Загальне
Середньої точності	0,5-1	IV	Г	Великий	Світлий	300	150	300	100

Вентиляція є сукупністю заходів і пристроїв, необхідних для забезпечення заданої якості повітряного середовища в робочих приміщеннях. В умовах виробництва вентиляція може бути: природна та механічна (за способом переміщення повітря), місцева та загальна (за формою організації

повітрообміну). Вентиляційні установки можуть бути витяжними, що призначені для видалення повітря, та припливними, які здійснюють подачу повітря [41].

Повітрообмін при природній вентиляції відбувається за рахунок різниці температур, а отже, і питомої маси повітря всередині виробничого приміщення і поза ним. Природна вентиляція виробничих приміщень може бути неорганізованою (провітрювання) і організованою (аерація). На відміну від природної механічна дозволяє виробляти попередню обробку припливного повітря (зволоження, нагрів або охолодження і очищення). Загальна вентиляція застосовується коли шкідливі речовини, надлишкове тепло і волога виділяються розосереджено по всьому робочому приміщенню і видалити їх за допомогою місцевих відсмоктувань технічно не можливо, а також в тих випадках, коли необхідно розбавити до ГДК залишки повітря, що не видаляється місцевими відсмоктуваннями. Рециркуляція повітря в системах припливно-витяжної вентиляції застосовується в холодну і перехідну пору року. При рециркуляції частина повітря, що видаляється з приміщення після відповідного очищення від шкідливих речовин, знову прямує в приміщення.

#### **4.4 Електробезпека**

Приміщення металургійної лабораторії згідно Правил будови електроустановок (ПБЕ) можна віднести до 1 класу – без підвищеної небезпеки ураження струмом (сухе, безпилоче, з нормальною температурою повітря, ізольованими підлогами і малим числом заземлених приладів). На робочому місці дослідника з усього обладнання лабораторії металевим є лабораторна електропіч опору, муфельна електропіч.

Основними причинами поразки дослідника електричним струмом в металургійній лабораторії можуть бути: а) дотик до металевих неструмоведучих частин печі, які можуть опинитися під напругою в результаті

пошкодження ізоляції; б) заборонене використання непромислових електричних приладів, таких як електричні чайники, обігрівачі.

Для освітлення металургійної лабораторії і живлення устаткування використовують найчастіше змінний електричний струм напругою 220-380 В. Змінний струм напругою більше 42 В небезпечний, силою струму 0,1 А і вище смертельний. Для мережі загального освітлення допускається напруга не вище 220 В. В приміщеннях з підвищеною безпекою, а також особливо небезпечних приміщень напруга для переносних освітлювачів і ручного інструменту не повинно перевищувати 12 В [43-46].

Тягар поразки електричним струмом залежить від сили струму, електричного опору тіла людини, тривалості протікання струму через тіло, роду та частоти струму, індивідуальних властивостей людини, умов довкілля. Основний чинник, що обумовлює той або інший ступінь ураження людини – сила струму. Для характеристики його дії на людину встановлено три критерії (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Середні значення порогових струмів [43]

Струм	Значення струму		
	пороговий відчутний, мА	пороговий невідпускаючий, мА	порогово-фібриляційний, мА
Змінний частотою 50 Гц	0,5-1,5	6-10	50-100
Постійний	5,0-20	50-80	300

Основними заходами запобігання ураження електричним струмом в металургійній лабораторії є захист від дотику до частин електрообладнання, що знаходяться під напругою, застосування малих напруг, подвійна ізоляція, захисне заземлення і відключення, спеціальні засоби захисту (гумовий килимок), а також організаційні заходи.

Основними організаційними заходами запобігання ураження електричним струмом є інструктаж і навчання безпечним методам праці, перевірка знань правил безпеки та інструкцій відповідно до виконуваної роботи. Проведення позапланового і планового ремонту електроприладів

виконуються електротехнічним персоналом, які відповідають за обслуговування та ремонтні роботи. Якщо ремонт проводиться на струмоведучих частинах, що знаходяться під напругою, тоді роботу виконують не менш як дві особи із застосуванням електрозахисних засобів.

Усі електрощітки, зборки повинні постійно знаходитись з закритому положенні і не захаращувати сторонніми предметами. Струмopовідні частини устаткування, які знаходяться під високою напругою, повинні бути заземлені.

**Розрахунок захисного заземлення.** В металургійній лабораторії пропонується застосувати захисне заземлення для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою у результаті пошкодження ізоляції. Захисне заземлення призначено для створення між корпусом лабораторної електричної печі опору СШОЛ–11,6 12–МЗ і землею електричного з'єднання досить малого опору, щоб у разі замикання на землю при дотику людини через його тіло пройшов струм малої величини, безпечний для організму [43-46].

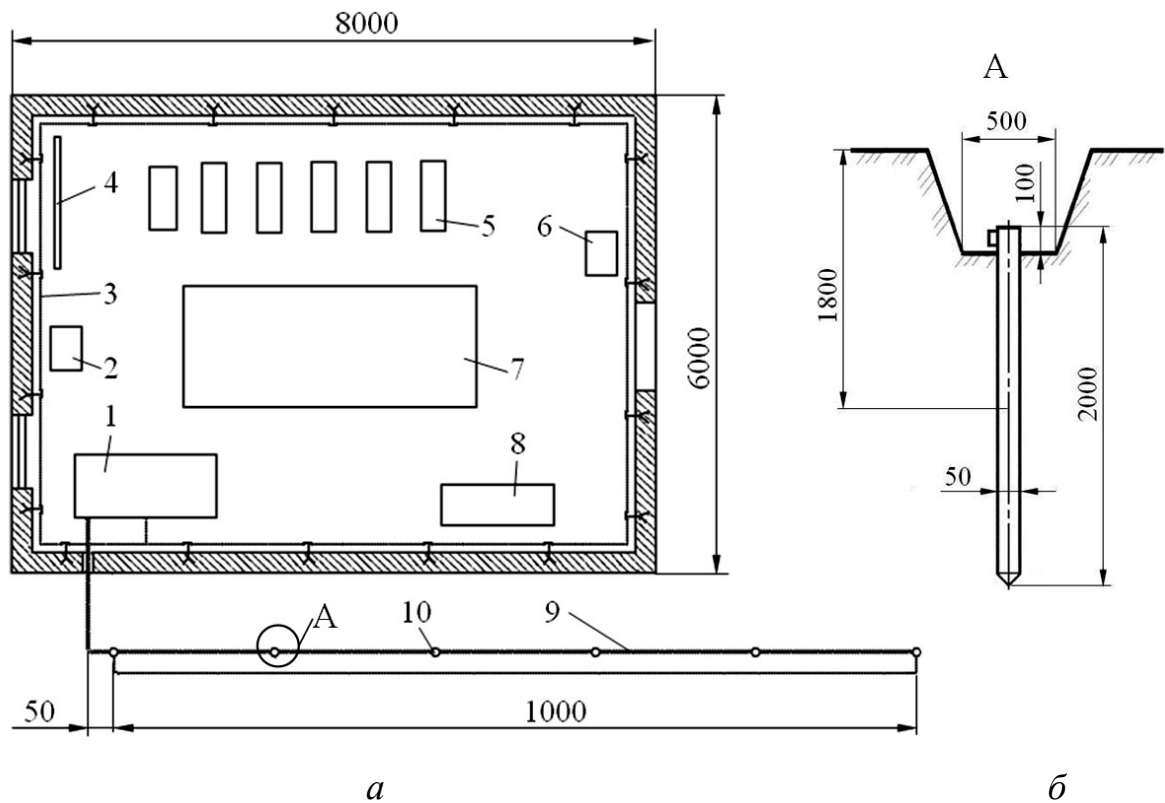
Заземлення лабораторної електричної печі опору СШОЛ забезпечено підведенням заземлювальної жили до живильних розеток. Опір заземлення становить 4 Ом згідно ПБЕ для електроустановок до 1000 В [43].

Виконаємо розрахунок захисного заземлення для металургійної лабораторії, у якій розташована електропеч опору СШОЛ–11,6 12–МЗ з напругою 380/220 В (рис. 4.1).

Вибираємо заземлювальний пристрій, який застосовується при малих струмах замикання на землю, зокрема в установках до 1000 В.

Заземлювач передбачається виконати з вертикальних труб  $l=2$  м із зовнішнім діаметром  $d=0,05$  м, верхні кінці яких з'єднуються між собою за допомогою горизонтального електрода – сталеві смуги перетином 4x40 мм, покладеної в землю на глибині  $t=1,8$  м. Питомий опір ґрунту  $\rho=40$  Ом·м. Коефіцієнт сезонності для вертикального заземлювача дорівнює  $\psi=1$ . Нормативний опір заземлювача становить 4 Ом.





- 1 – лабораторна електропіч; 2 – рундук з піском;  
 3 – внутрішній контур заземлення; 4 – дошка; 5 – столи;  
 6 – рукомийник; 7 – лабораторний стіл; 8 – шафа з  
 лабораторним посудом; 9 – сполучна смуга; 10 – заземлювач

Рисунок 4.1 – Схеми розташування заземлювачів групового заземлення (а)  
 і вертикального заземлювача в ґрунті (б)

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту для заглибленого вертикального заземлювача [43]:

$$\rho_p = \psi \cdot \rho = 1 \cdot 40 = 40 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Опір растіканню струму одиночного вертикального заземлювача, заглибленого в землю на 1,8 м визначаємо за формулою:

$$R_{од} = \frac{\rho_p}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[ \ln \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot t + 1}{4 \cdot t - 1} \right]. \quad (4.1)$$

Тоді за формулою (5.1), отримаємо

$$R_{од} = \frac{10}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \left[ \ln \frac{2 \cdot 2}{0,05} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot 1,8 + 2}{4 \cdot 1,8 - 2} \right] = 14,86 \text{ Ом.}$$

Орієнтовна кількість вертикальних заземлювачів складе

$$n = \frac{R_{од}}{R_{ц} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2} = \frac{14,86}{4 \cdot 0,74 \cdot 0,9} = 5,58 \approx 6 \text{ шт.}$$

Знаходимо відношення відстані між заземлювачами до їх довжини:

$$A = a/l = 2/2 = 1.$$

Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів становить  $\eta_B=0,7$  та горизонтальних заземлювачів  $\eta_r=0,74$  [43,44].

Визначаємо опір растріканню струму групи вертикальних заземлювачів

$$R_B = \frac{R_{од}}{n \cdot \eta_B} = \frac{14,86}{6 \cdot 0,7} = 3,5 \text{ Ом.}$$

Довжину горизонтальної сполучної смуги визначаємо за формулою:

$$L_r = a \cdot (n - 1). \quad (4.2)$$

Отже, за формулою (4.2) отримаємо:

$$L_r = 2 \cdot (6 - 1) = 10 \text{ м.}$$

Коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача при довжині смуги 10 м становить  $\psi_r=2,5$ .

Розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтального заземлювача:

$$\rho_r = \psi_r \cdot \rho = 2,5 \cdot 40 = 100 \text{ Ом.}$$

Опір горизонтальної смуги шириною  $b=0,04$  м, заглибленої в землю на 1,8 м становить:

$$R_r = \frac{\rho_r}{2 \cdot \pi \cdot l_r \cdot \eta_r} \cdot \ln \left[ \frac{2 \cdot l_r^2}{b \cdot t} \right]. \quad (4.3)$$

Тоді за формулою (4.3)

$$R_r = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 0,74} \cdot \ln \left[ \frac{2 \cdot 10^2}{0,04 \cdot 1,8} \right] = 17,06 \text{ Ом.}$$

Опір заземленню в цілому дорівнює

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_r}{R_B + R_r} = \frac{3,5 \cdot 17,06}{3,5 + 17,06} = 2,9 \text{ Ом.}$$

Отриманий опір заземлювачів не перевищує номінальний (4 Ом), що відповідає вимогам ПБЕ [46]. Розташовуємо 6 заземлювачів в ряд на відстані 2 м один від одного.

#### 4.5 Заходи пожежної безпеки

Пожежна безпека об'єкту повинна забезпечуватися системами запобігання пожежі і протипожежному захисту, у тому числі організаційно-технічними заходами. Для попередження пожеж і обмеження розповсюдження вогню передбачають необхідну вогнестійкість будівель [40-42]. Згідно з ОНТП 24-86 приміщення відноситься до категорії В по вибухопожежній і пожежній небезпеці (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Категорія приміщень вибухопожежної та пожежної небезпеки за ОНТП 24-86

Категорія	Конструктивні характеристики
В	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ТГРiГР з <math>T_{сп} &gt; 61</math> °С;</li> <li>- Пил і волокна з НМС <math>&gt; 65</math> г/м<sup>3</sup>;</li> <li>- ТР, пальні і важко горючі речовини і матеріали;</li> <li>- Речовини при взаємодії з H<sub>2</sub>O; O<sub>2</sub> і один з одним без наслідків.</li> </ul>

Ступінь вогнестійкості за СНіП 2.09.02-85 П–І, його характеристика надана в табл.°4.8. Необхідний ступінь вогнестійкості виробничих будівель визначається залежно від категорії вибухопожежної небезпеки, площі і поверхні будівлі [40].

Для гасіння пожеж в металургійній лабораторії використовується вуглекислотний вогнегасник ОУ-5 та ручний пожежний інструмент – сокири, гаки, ломи, відра, лопати, ножиці для різання металу. Вуглекислотний вогнегасник призначений для гасіння при спалахі горючих і тліючих матеріалів усіх видів, а також електроустановок, що знаходяться під напругою до 1000 В, з відстані 1,5 м. Інструмент розміщується на видному і доступному місці на

стендах.

Таблиця 4.8 – Конструктивні характеристики будівель залежно від їх ступеня вогнестійкості за СНіП 2.01.02–85

Ступінь вогнестійкості	Конструктивні характеристики
I	Будівлі з несучими і огорожуючими конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону з застосуванням листових і плиткових негорючих матеріалів.

Усі легкозаймисті рідини повинні берегатися в зачинених металевих ящиках, реактиви в зачинених шафах. Заборонено залишати без догляду включені схеми і устаткування.

Для швидкого виявлення та повідомлення про місце виникнення пожежі в лабораторії є автоматична пожежна сигналізація АДС (автоматичний димовий сповіщувач) і автоматична система пожежогасіння. Необхідними заходами для запобігання пожежі є своєчасний ремонт електроприладів, якісне виправлення поломок, не використання несправних приладів, протипожежний інструктаж, на якому працівники ознайомлюються з правилами протипожежної безпеки та використання первинних засобів пожежогасіння.

Висновки. Виконано розрахунок захисного заземлення для металургійної лабораторії, у якій розташована лабораторна електропід опору СШОЛ–11,6 12–МЗ. Вибрано заземлювальний пристрій, який складається з 6 заземлювачів, розташованих в ряд на відстані 2 м один від одного.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Організація виконання науково-дослідницької роботи

#### 5.1.1 Планування етапів науково-дослідницької роботи

Планування науково-дослідницької роботи (НДР) включає визначення складу та послідовності виконання етапів і робіт по них, їх трудомісткості, тривалості і календарних строків виконання [47,48].

У проведенні дослідження з комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини, можна виділити наступні етапи, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Етапи НДР з дослідження особливостей комплексного рафінування розплавів, отриманих з вторинної алюмінієвої сировини

Номер етапу	Етап НДР	Зміст етапу
1	Літературний огляд і постановка задачі	1.1 Видача завдання. 1.2 Збір, вивчення, аналіз інформації по вітчизняним й закордонним джерелам. 1.3 Узгодження й твердження мети й завдання дослідження. 1.4 Виявлення можливих напрямків дослідження. 1.5 Затвердження програми дослідження. 1.6 Вибір состава виконавців.
2	Теоретичні дослідження	Розробка методики дослідження
3	Експериментальні дослідження	Проведення досліджень з комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих з вторинної алюмінієвої сировини
4	Узагальнення й оцінка результатів дослідження	4.1 Аналіз й обробка експериментальних даних 4.2 Виконання графічної частини
5	Завершальний	5.1 Приймання дослідницької роботи 5.2 Захист дослідницької роботи

### 5.1.2 Визначення трудомісткості виконання НДР

Для визначення трудомісткості запланованих робіт найбільш часто застосовується метод імовірних оцінок. Його суть полягає в тому, що безпосередній виконавець робіт оцінює максимальну  $T_{\max i}$  і мінімальну  $T_{\min i}$  трудомісткість роботи. На основі цих оцінок визначається очікувана трудомісткість  $T_{\text{оч}i}$  (чол·днів) робіт за формулою [47]:

$$T_{\text{оч}i} = \frac{3T_{\min i} + 2T_{\max i}}{5}, \quad (5.1)$$

де  $T_{\max i}$  – максимальна трудомісткість роботи;

$T_{\min i}$  – мінімальна трудомісткість роботи;

$T_{\text{оч}i}$  – очікувана трудомісткість.

Визначаємо трудомісткість першого етапу:

$$T_{\text{оч}1} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 10}{5} = 8 \text{ чол.·днів.}$$

Визначаємо трудомісткість другого етапу:

$$T_{\text{оч}2} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 8}{5} = 7 \text{ чол.·днів.}$$

Визначаємо трудомісткість третього етапу:

$$T_{\text{оч}3} = \frac{3 \cdot 22 + 2 \cdot 26}{5} = 24 \text{ чол.·днів.}$$

Визначаємо трудомісткість четвертого етапу:

$$T_{\text{оч}4} = \frac{3 \cdot 8 + 2 \cdot 10}{5} = 9 \text{ чол.·днів.}$$

Визначаємо трудомісткість п'ятого етапу:

$$T_{\text{оч}5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 7}{5} = 5 \text{ чол.} \cdot \text{днів.}$$

### 5.1.3 Визначення числа виконавців НДР

У таблиці 5.2 наведена кількість виконавців необхідних для виконання НДР.

Таблиця 5.2 – Кількість виконавців НДР

Номер етапу	Виконавець НДР	Кількість виконавців
1	Дослідник	1
2	Дослідник, провідний інженер	2
3	Дослідник, провідний інженер, старший науковий співробітник, лаборант-вимірник	4
4	Дослідник, провідний інженер	2
5	Дослідник	1

### 5.1.4 Розрахунок тривалості етапів НДР

Тривалість етапів дослідження  $t_{\text{оч}i}$  розраховується за формулою:

$$t_{\text{оч}i} = \frac{T_{\text{оч}i}}{P_i \cdot K_{\text{вн}}}, \quad (5.2)$$

де  $T_{\text{оч}i}$  – очікувана трудомісткість виконання даної роботи, чол.-днів;

$P_i$  – кількість виконавців, чол.;

$K_{\text{вн}}$  – коефіцієнт виконання норми,  $K_{\text{вн}}=0,95$ .

Тривалість 1 етапу:

$$t_{\text{оч1}} = \frac{8}{1 \cdot 0,95} = 8,42 \approx 8 \text{ дн.}$$

Тривалість 2 етапу:

$$t_{\text{оч2}} = \frac{7}{2 \cdot 0,95} = 3,68 \approx 4 \text{ дн.}$$

Тривалість 3 етапу:

$$t_{\text{оч3}} = \frac{24}{4 \cdot 0,95} = 6,32 \approx 6 \text{ дн.}$$

Тривалість 4 етапу:

$$t_{\text{оч4}} = \frac{9}{2 \cdot 0,95} = 4,74 \approx 5 \text{ дн.}$$

Тривалість 5 етапу:

$$t_{\text{оч5}} = \frac{5}{1 \cdot 0,95} = 5,26 \approx 5 \text{ дн.}$$

### **5.1.5 Побудова стрічкового графіка проведення науково-дослідної роботи**

При невеликій кількості робіт з етапів і виконавців, основним документом планування виконання НДР є стрічковий графік.

Відрізком горизонтальної прямої показується тривалість етапу роботи від першого до останнього дня роботи. За розрахованими даними будемо стрічковий графік, що наведений у табл. 5.3.





Загальна тривалість робіт склала 28 днів.

## 5.2 Розрахунок кошторису витрат на проведення дослідження

Кошторисну калькуляцію складають на весь обсяг робіт по темі. Для визначення витрат для проведення дослідження необхідно розрахувати:

- витрати на основні матеріали;
- витрати на заробітну плату;
- витрати на амортизацію використаного обладнання;
- витрати на електроенергію;
- накладні витрати.

### 5.2.1 Розрахунок витрат на основні матеріали

У дану статтю включаються всі витрати на придбання матеріалів, покупних виробів і напівфабрикатів, необхідних для безпосереднього виконання роботи з теми з урахуванням транспортно-заготівельних витрат.

Транспортно-заготівельні витрати  $S_{ТЗ}$  становлять 2 % від суми основних матеріалів і розраховуються по формулі:

$$S_{ТЗ} = \frac{\sum S_M \cdot 2}{100}, \quad (5.3)$$

де  $S_M$  – витрати на основні матеріали, грн.

$$S_{ТЗ} = \frac{1863,08 \cdot 2}{100} = 37,26 \text{ грн.},$$

де 1863,08 – сума витрат на основні матеріали, грн.

Витрати на основні матеріали при виконанні НДР показано в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Розрахунок вартості матеріалів по НДР

Найменування матеріалів	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за кг, грн	Усього витрат, грн
Вторинна алюмінієва сировина	кг	10,0	56,40	564,00
Натрію хлорид	кг	2,0	9,10	18,20
Калію хлорид	кг	0,6	13,65	8,19
Натрію фторид	кг	0,8	70,50	56,40
Кріоліт	кг	0,5	45,98	22,99
Магнезит	кг	10,0	65,88	658,80
Фторид кальцію	кг	5,0	57,20	286,00
Фторид магнію	кг	5,0	49,70	248,50
Транспортно-заготівельні витрати				37,26
Разом				1900,34

### 5.2.2 Розрахунок витрат на амортизацію обладнання

Витрати на амортизацію  $S_{ам}$  використаного при дослідженнях обладнання визначаються за формулою:

$$S_{ам} = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_{амі}}{100} \cdot K_i \cdot \frac{T_{др}}{T_p}, \quad (5.4)$$

де  $\alpha_{амі}$  – норма амортизаційних відрахувань для даного виду обладнання або приладу приймаємо 15%;

$K_i$  – вартість обладнання або приладу  $i$ -го виду, грн;

$T_{др}$  – тривалість використання даного  $i$ -го виду обладнання або приладу в дослідницькій роботі, години;

$T_p$  – можливе число годин використання обладнання або приладів на протязі року.

При однозмінній роботі  $T_p$  приймається 2000 годин.

Розрахунок витрат на амортизацію обладнання й приладів наведений в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Витрати на амортизацію обладнання

Найменування обладнання	Кількість одиниць	Ціна за одиницю, грн.	Норма амортизації, %	Тривалість використання, год.	Усього, грн.
Персональний комп'ютер	1	21000	15	144	226,80
Фільтрувальна установка	1	2000	15	12	1,80
Електропіч опору	1	118000	15	12	106,20
Муфільна піч	1	58400	15	60	262,80
Мікроскоп	1	34000	15	10	25,50
Набір плавильного і допоміжного інструмента	5	12000	15	12	54,00
Разом					677,10

### 5.2.3 Розрахунок витрат на електроенергію

Вартість електроенергії  $S_e$  витраченої на проведення дослідження визначають за формулою:

$$S_e = \sum_{i=1}^N T_e \cdot N_{ci} \cdot T_{vi} \cdot m_i, \quad (5.5)$$

де  $T_e$  – тариф за кожен споживаний кВт/годину, грн;

$N_{ci}$  – середня споживана потужність і-го виду обладнання, кВт;

$T_{vi}$  – час використання і-го виду обладнання або приладу, година/цикл;

$m_i$  – кількість обладнання і-го виду, примірників.

Тариф за 1 кВт електроенергії з урахуванням ПДВ становить 2,10 грн.

Розрахунок витрат на електроенергію наведений у таблиці 5.6.

### 5.2.4 Розрахунок заробітної плати й відрахувань

У розрахунок заробітної плати входять наступні статті: основна заробітна плата наукових, інженерно-технічних і допоміжних працівників, зайнятих виконанням робіт з теми; додаткова заробітна плата, що включає

Таблиця 5.6 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Кількість одиниць	Потужність, кВт	Число годин використання, година	Тариф за 1кВт-год, грн.	Усього витрат, грн.
Персональний комп'ютер	1	0,4	144	2,10	120,96
Електропіч опору	1	5,6	12	2,10	141,12
Фільтрувальна установка	1	2,0	12	2,10	50,40
Муфільна піч	1	3,0	60	2,10	378,00
Мікроскоп	1	0,7	10	2,10	14,70
Разом					705,18

виплати по оплаті чергових і додаткових відпусток, на виконання державних і суспільних доручень, винагороди.

Величина заробітної плати по темі може бути розрахована за формою представленої в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Величина заробітної плати

Виконавець	Кількість, чол.	Оклад, грн.	Тривалість, дні	Оплата праці, грн.
Провідний інженер	1	8400	15	6000,00
Лаборант	1	3700	6	1057,14
Старший науковий співробітник	1	9800	6	2800,00
Разом				9857,14

Заробітна плата виконавців НДР  $Z_{\text{осн}}$  розраховується за формулою:

$$Z_{\text{осн}} = \frac{Z_{\text{окл}}}{T_{\text{міс}}} \cdot T_{\text{ет}}, \quad (5.6)$$

де  $Z_{\text{окл}}$  – посадовий оклад, грн;

$T_{\text{міс}}$  – кількість робочих днів у місяці, днів;

$T_{\text{ет}}$  – тривалість певного етапу, днів.

Заробітна плата провідного інженера  $Z_{\text{осн}}^{\text{i-к}}$  :

$$Z_{\text{осн}}^{\text{i-к}} = \frac{8400}{21} \cdot 15 = 6000,00 \text{ грн.}$$

Заробітна плата лаборанта-технолога  $Z_{\text{осн}}^{\text{л-т}}$  :

$$Z_{\text{осн}}^{\text{л-т}} = \frac{3700}{21} \cdot 6 = 1057,14 \text{ грн.}$$

Заробітна плата старшого наукового співробітника  $Z_{\text{осн}}^{\text{пл.}}$  :

$$Z_{\text{осн}}^{\text{с.н.с.}} = \frac{9800}{21} \cdot 6 = 2800,00 \text{ грн.}$$

Премія  $Z_{\text{пр}}$  становить 20 % від основної заробітної плати і розраховується за формулою:

$$Z_{\text{пр}} = \frac{Z_{\text{осн}} \cdot 20}{100}. \quad (5.7)$$

Премія виконавців НДР:

$$Z_{\text{пр}}^{\text{i-к}} = \frac{6000,00 \cdot 20}{100} = 1200,00 \text{ грн.};$$

$$Z_{\text{пр}}^{\text{л-т}} = \frac{1057,14 \cdot 20}{100} = 211,43 \text{ грн.};$$

$$Z_{\text{пр}}^{\text{с.н.с.}} = \frac{2800,00 \cdot 20}{100} = 560,00 \text{ грн.}$$

Загальна заробітна плата виконавців НДР розраховується по формулі:

$$Z_{\text{заг}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{пр}} + Z_{\text{дод}}, \quad (5.8)$$

де  $Z_{\text{дод}}$  – додаткова заробітна плата виконавців (10 % від  $(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{пр}})$ ).

$$Z_{\text{заг}} = 9857,14 + 1182,86 = 11040,00 \text{ грн.}$$

Нарахування на фонд оплати праці  $Z_{\text{нар}}^{\text{ФОП}}$  становить 37,5 %:

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФОП}} = \frac{Z_{\text{заг}} \cdot 37,5}{100}. \quad (5.9)$$

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФОП}} = \frac{11040,00 \cdot 37,5}{100} = 4140,00 \text{ грн.}$$

З них:

– у фонд державного соціального страхування  $Z_{\text{нар}}^{\text{ФДСС}}$  становить 2,5 %:

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФДСС}} = \frac{Z_{\text{заг}} \cdot 2,5}{100}. \quad (5.10)$$

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФДСС}} = \frac{11040,00 \cdot 2,5}{100} = 276,00 \text{ грн.};$$

– у пенсійний фонд  $Z_{\text{нар}}^{\text{ПФ}}$  становить 32 %:

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ПФ}} = \frac{Z_{\text{заг}} \cdot 32,0}{100}. \quad (5.11)$$

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ПФ}} = \frac{11040,00 \cdot 32,0}{100} = 3532,80 \text{ грн.};$$

– у фонд безробіття  $Z_{\text{нар}}^{\text{ФБ}}$  становить 1,5 %:

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФБ}} = \frac{Z_{\text{заг}} \cdot 1,5}{100}. \quad (5.12)$$

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФБ}} = \frac{11040,00 \cdot 1,5}{100} = 165,60 \text{ грн.};$$

– у фонд соціального страхування від нещасного випадку  $Z_{\text{нар}}^{\text{ФНВ}}$  становить 1,5 %:

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФНВ}} = \frac{Z_{\text{заг}} \cdot 1,5}{100}. \quad (5.13)$$

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФНВ}} = \frac{11040,00 \cdot 1,5}{100} = 165,60 \text{ грн.}$$

### 5.2.5 Накладні витрати

Накладні витрати  $H_{\text{в}}$  становлять 40 % від фонду оплати праці:

$$H_{\text{в}} = \frac{Z_{\text{заг}} \cdot 40}{100}. \quad (5.14)$$

$$H_{\text{в}} = \frac{11040,00 \cdot 40}{100} = 4416,00 \text{ грн.}$$

### 5.2.6 Зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи

Кошторис витрат на науково-дослідну роботу визначається на весь обсяг виконаних робіт.

Кошторис витрат наведений у таблиці 5.8.



Таблиця 5.8 – Кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи

Статті витрат	Усього витрат	
	грн.	%
1. Витрати на матеріали	1900,34	8,31
2. Основна заробітна плата	9857,14	43,08
3. Додаткова заробітна плата	1182,86	5,17
4. Нарахування на фонд оплати праці (37,5 %):	4140,00	18,10
– на держ. соцстрах (2,5 %)	276,00	1,22
– пенсійний фонд (32 %)	3532,80	15,44
– у фонд безробіття (1,5 %)	165,60	0,72
– у фонд соц. страхування від нещасного випадку (1,5 %)	165,60	0,72
5. Амортизаційні відрахування	677,10	2,96
6. Витрати на електроенергію	705,18	3,08
7. Накладні витрати	4416,00	19,30
Разом	22878,62	100,00

В результаті проведення науково-дослідної роботи в організаційній частині був побудований стрічковий календарний план. Загальна тривалість виконання науково-дослідної роботи склала 28 днів. В економічній частині розрахований зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідницької роботи. Загальні витрати на проведення роботи склали 22878,62 грн.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Плавлення вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям спричинює додаткове насичення алюмінієвих розплавів, що утворюються, неметалевими домішками. Для підвищення якості таких розплавів обов'язковою технологічною операцією є комплексне рафінування: флюсове рафінування під час плавлення сировини, фільтрування отриманих алюмінієвих розплавів.

Термодинамічними дослідженнями взаємодії алюмінію та оксиду алюмінію з чотирикомпонентним флюсом ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) і фільтрувальними матеріалами ( $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{MgO}$ ) встановлено, що всі розглянуті речовини не вступають у взаємодію з алюмінієм і оксидом алюмінію, тому всі перелічені речовини можна використовувати як флюс або фільтрувальний матеріал для плавлення вторинної алюмінієвої сировини та комплексного рафінування алюмінієвих розплавів за температур 400-800 °С.

На підставі теоретичних досліджень для захисту алюмінієвих розплавів від окислення та рафінування від газових і шлакових включень під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям вибрано чотирикомпонентний флюс, що містить 56 %  $\text{NaCl}$ , 15 %  $\text{KCl}$ , 22 %  $\text{NaF}$ , 7 %  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ .

Експериментально встановлено, що ступінь рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих з вторинної сировини, від зважених неметалевих домішок залежить від розмірів зерен, висоти шару і типу фільтрувального матеріалу. Чим більша висота шару і менший розмір зерна матеріалу фільтра, тим більша кількість домішок затримується фільтром.

Ступінь рафінування розплавів, отриманих під час плавлення під флюсом використаного алюмінієвого пакування, від оксидних плівок і великих за розміром неметалевих домішок підвищується з 23,8 % до 54,4 % при висоті

шару сплаву фторидів 120 мм та з 18,1 % до 30,5 % при висоті шару магнезиту 120 мм в дослідженому інтервалі розмірів зерен фільтрувального матеріалу.

Запропоновані технологічні умови комплексного рафінування шляхом рафінування флюсом під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям і подальше фільтрування отриманих алюмінієвих розплавів дозволяють знизити газонасиченість металу до  $0,22 \text{ см}^3/100 \text{ г}$  металу (вміст водню не перевищує встановленого показника) і масову частку оксиду алюмінію до  $0,12 \text{ мм}^2/\text{см}^2$ .

Виявлені закономірності є основою для вибирання технологічних умов фільтрування розплавів, отриманих під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини, від неметалевих домішок і водню в промислових умовах. Запропонована технологічна схема отримання алюмінієвих сплавів шляхом комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям.

Виконано розрахунок захисного заземлення для металургійної лабораторії, у якій розташована лабораторна електропіч опору СШОЛ–11,6 12–МЗ. Вибрано заземлювальний пристрій, який складається з 6 заземлювачів, розташованих в ряд на відстані 2 м один від одного.

В результаті проведення науково-дослідної роботи в організаційній частині побудований стрічковий календарний план. Загальна тривалість виконання науково-дослідної роботи склала 28 днів. В економічній частині розрахований зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідницької роботи. Загальні витрати на проведення роботи склали 22878,62 грн.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Макаров Г. С. Мировые тенденции в области переработки и применения вторичных алюминиевых сплавов. *Технология легких сплавов*. 2011. № 1. С. 25–26.
2. Виноградов, А. С. Снижение затрат в переработке вторичного алюминия. *Металлы Евразии*. 2010. № 1. С. 50–52.
3. Лактионов С. В., Зубкова Д. Ю. Рециклинг алюминия из лома тонкостенных изделий. *Вторичные металлы*. 2011. № 3. С. 42–44.
4. Овсянников Б. В. Изготовление деформируемых изделий с использованием лома и отходов алюминиевых сплавов. *Цветные металлы*. 2014. № 5. С. 66–70.
5. Матерова І. С., Нестеренко Т. М. Дослідження способів збирання та переробки вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям на поверхні. *Мир науки и инноваций*. Вип. 2(2). Т. 5. Иваново: Научный мир, 2015. С. 47–51.
6. Курдюмов А. В., Инкин С. В., Чулков В. С., Графас Н. И. Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых расплавов. Москва : Metallurgy, 1980. 196 с.
7. Макаров Г. С. Современные тенденции в развитии методов рафинирования деформируемых алюминиевых сплавов. *Цветные металлы*. 1998. № 4. С. 26–29.
8. ДСТУ 3211:2009 (ГОСТ 1639:2009). Брухт і відходи кольорових металів і сплавів. Загальні технічні умови. [Чинний від 2011-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2011. 80 с. (Інформація та документація).
9. Голоднова А. И., Советкин В. Л., Дружинин Г. М. Рециклинг алюминия. *Вторичные металлы*. 2011. № 3. С. 39–41.
11. Kevorkjian V. The recycling of standard quality wrought aluminum alloys from low-grade contaminated scrap. *J. Miner., Metals and Mater. Soc.* 2010. Vol. 62. № 8. P. 37–42.
12. Ищенко А. П. 5 Юбилейная международная конференция “Алюминий-

- 21/Рециклинг”. *Вторичные металлы*. 2010. № 6. С. 62.
13. Тен Э. Б. Фильтрационное рафинирование жидких металлов. *Цветные металлы*. 2003. № 3. С. 64–70.
  14. Нестеренко Т. М., Нестеренко О. М., Колобов Г. О., Грицай В. П. Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини : навч. посіб. Київ : Вища шк., 2007. 207 с.
  15. Металлургия алюминия : учеб. пособие / Ю. В. Борисоглебский и др. Новосибирск : Наука, 1999. 438 с. URL: <http://ebooks.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi12/0009536.djvu> (дата звернення: 03.10.2019).
  16. Технология вторичных цветных металлов : учебник / И. Ф. Худяков и др.; под ред. И. Ф. Худякова. Москва :Металлургия, 1981. 280 с.
  17. Москвитин В. И., Николаев И. В., Фомин Б. А. Металлургия легких металлов : учебник. Москва : Интернет Инжиниринг, 2005. 416 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/65688/> (дата звернення: 03.10.2019).
  18. Галевский Г. В., Кулагин Н. М., Минцис М. Я. Металлургия вторичного алюминия : учебник. Новосибирск: Наука, 1998. 289 с.
  19. Эскин Г. И. Ультразвуковая обработка расплавленного алюминия. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Металлургия, 1983. 232 с.
  20. Ecomelt furnaces considerably reduce energy consumption. *Heat process*. 2012. Vol. 10. № 2. P. 64.
  21. Hall C. Norton Aluminium choose tilt rotary furnace over reverbatory. *Aluminium International Today*. 2008. Vol. 20, № 2. P. 26.
  22. Нестеренко Т. Н. Технологические особенности переработки алюминиевого баночного лома. *Металл и литье Украины*. 2007. №8. С.41–42.
  23. Пискарев Д. В., Казаков П. В., Ульянов Д. С. Флюсовая обработка – просто и доступно. *Цветные металлы*. 2010. №12. С.64–68.
  24. Усовершенствованный способ фильтрования расплавленных алюминия и алюминиевых сплавов: пат. 2465356 Рос. Федерация: МПК С22В21/06, С22В9/02; заявл. 16.06.2013; опубл. 27.10.2014, Бюл. № 23. 14 с:
  25. Воеводина М.А. Оценка эффективности фильтрационного рафинирования металлических расплавов. *Вестник КрасГАУ*. 2011. № 1. С.163–166.

26. Крушенко Г. Г., Решетникова С. Н., Воеводина М. А., Платонов О. А. Фильтрация алюминиевых сплавов, применяемых в аэрокосмической отрасли. *Решетневские чтения*. 2017. С. 509–510.
27. Нестеренко Т. М., Грицай В. П. Виробництво сплавів кольорових металів методичні вказівки до лабораторних занять для студентів ЗДІА спеціальності 6.090402 “Металургія кольорових металів”. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 75 с.
28. ГОСТ 4233-77. Реактивы. Натрий хлористый. Технические условия. [Чинний від 1978-07-01]. Вид. офіц. Москва : Стандартинформ, 2008. 11 с.
29. ГОСТ 4568-95. Калий хлористый. Технические условия. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Москва : Изд-во стандартов, 1995. 14 с.
30. ГОСТ 10561-80. Криолит искусственный технический. Технические условия. [Чинний від 1982-01-01]. Вид. офіц. Москва : Изд-во стандартов, 1991. 11 с.
31. ГОСТ 4463-76. Реактивы. Натрий фтористый. Технические условия. [Чинний від 1977-07-01]. Вид. офіц. Москва : Изд-во стандартов, 1993. 9 с.
32. Металургійна термодинаміка : методичні вказівки до практичних занять, самостійної роботи та виконання контрольних завдань / І. Ф. Червоний та ін. ; під заг. ред. І. Ф. Червоного. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 75 с.
33. Волков В. С., Пелькис П. С. Справочник физико-химических характеристик различных веществ. Киев : Наукова думка, 1987. С.73–87.
34. Гурвич, Л. В. Термодинамические свойства индивидуальных веществ : справочное издание в 4-х т. / Л. В. Гурвич и др. ; под ред. Л. В. Гурвич. 3-е изд., перераб. и расширен. Т.IV. Кн. 1. Москва : Наука, 1982. 623 с.
35. Краткий справочник физико-химических величин : справочник / Н. М. Барон и др. ; под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. – Ленинград : Химия, 1998. 232 с.
36. Нестеренко Т. М., Пилипко М. С. Рафінування флюсами алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини з лаковим і фарбовим покриттям. *Научний взгляд в будущее*. Т. 2, Вип. 6. Одесса : КУПРИЕНКО СВ, 2017. С. 4–9. DOI: 10.21893/2415-7538.2017-06-2-044
37. Кучер Д. С., Нестеренко Т. М. Дослідження комплексного рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини.

- Металургія як основа сучасної промисловості : матеріали XXIV науково-техн. конф. студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів (м. Запоріжжя, 26–29 лист. 2019 р.). Т. І. Запоріжжя, 2019. С. 7–8.
38. Кучер Д. С., Нестеренко Т. М. Дослідження очищення алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини, фільтруванням. Збірник наукових праць магістрантів факультету металургії ІІ ЗНУ. Вип. 1 (15). Запоріжжя: ІІ ЗНУ, 2019. С. 181-186.
39. Нестеренко Т. М., Нестеренко О. М., Кучер Д. С. Фільтрування алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям, крізь зернисті фільтри. URL: <https://sworld.education/index.php/ru/ge10-6/31891-ge10-029> (дата звернення: 28.12.2019).
40. Охорона праці : навч. посіб. / Я. І. Бедрій та ін. Львів : Афіша , 1997. 258 с.
41. Гандзюк М. П., Желібо Е. П., Халимовський М. О. Основи охорони праці : підручник. Київ : Каравела, 2005. 393 с.
42. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник. Львів : Афіша, 2002. 318 с.
43. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках : учеб. пос. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Энергоатомиздат, 1984. 448 с.
44. Правила устройства электроустановок. Москва : Энергоиздат, 1982. 89 с.
45. Румянцев В. Р., Панасейко С. П., Ткаліч І. О. Охорона праці та техногенна безпека : методичні вказівки до виконання розділу дипломних проєктів (робіт) для студентів ЗДІА напряму 8.050401 “Металургія”. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 44 с.
46. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Київ : Держгірпромнагляд України, 2001. 17 с.
47. Тюріна Н. М., Ведерніков М. Д., Капінос Г. І. Економіка промислового підприємства : підручник. Львів : Новий Світ-2000, 2008. 311 с.
48. Івашенко О. М. Методичні рекомендації до виконання організаційно-економічної частини дипломного проєкту для студентів ЗДІА спеціальності “Металургія кольорових металів”. Запоріжжя : ЗДІА, 2004. 31 с.

ДОДАТОК А

**ТЕЗИ ДОПОВІДІ НА XXIV НАУКОВО-ТЕХНІЧНІЙ  
КОНФЕРЕНЦІЇ ІІ ЗНУ**



## Оргкомітет

**Голова:** Фролов Микола Степанович, д.р. іст. наук, професор, ректор

**Заступники голови:** Васильчук Г.М. – д.р. іст. наук, професор, проректор з наукової роботи,  
Банах В.А. – д.р. іст. наук, проректор з науково-педагогічної роботи та соціальної освіти,

**Члени оргкомітету:**

Кохомельска Г.П. – директор Інженерного інституту,  
Коваленко В.Л. – декан факультету енергетики, електроніки та інформаційних технологій,  
Фурченок О.І. – декан факультету будівництва та цивильної інженерії,  
Рудашова В.Р. – декан факультету металургії,  
Триченко С.Ю. – в.о. декана факультету економіки та менеджменту,  
Чейнішко А.О. – заступник декана з наукової роботи факультету енергетики, електроніки та інформаційних технологій,  
Калпужовська М.О. – доцент, заступник декана з наукової роботи факультету будівництва та цивильної інженерії,  
Кириченко О.Г. – доцент, заступник декана з наукової роботи факультету металургії,  
Сліва І.В. – доцент, заступник декана з наукової роботи факультету економіки та менеджменту,  
Балчишко О.С. – голова НТСАДМВ,  
Щербина Т.С. – голова НТСАДМВ факультету металургії,  
Лешенко Д.М. – голова НТСАДМВ факультету економіки та менеджменту,  
Склярченко О.О. – голова НТСАДМВ факультету енергетики, електроніки та інформаційних технологій,  
Кокотушев О.П. – голова НТСАДМВ факультету будівництва та цивильної інженерії,  
Вербишак В.Г. – завідувач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем,  
Хрипко С.Л. – завідувач кафедри мікроелектронічних інформаційних систем,  
Крицька Т.В. – завідувач кафедри електроніки систем,  
Артемух В.В. – в.о. завідувач кафедри електротехніки та енергоефективності,  
Бахти В.І. – в.о. завідувач кафедри теплоенергетики та гідроенергетики,  
Компанієв Г.Б. – завідувач кафедри прикладної екології та охорони ґрунту,  
Банах А.В. – завідувач кафедри м'яського будівництва та господарства,  
Арутюнян І.А. – завідувач кафедри промислового та цивільного будівництва,  
Теремний Ю.Ф. – завідувач кафедри металургії,  
Ягупченко О.В. – завідувач кафедри обробки металів тиском,  
Опівський Й.К. – завідувач кафедри металургійного обладнання,  
Панюк М.О. – завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами,  
Мельхова Т.О. – завідувач кафедри обліку, аналізу, оптимізації та аудиту,  
Мельниченко Н.Г. – завідувач кафедри фінансів, банківської справи та страхування,  
Воронова В.Г. – завідувач кафедри менеджменту організацій та управління проєктами,  
Глушківський В.В. – завідувач кафедри економіки та інформаційних технологій,  
Дробішова А.О. – в.о. завідувач кафедри економіки підприємствами.

I

Матеріали XXIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів. Металургія як основа сучасної промисловості. Том I / П ЗНУ. – Запоріжжя: П ЗНУ. – 2019 р. – 88 с.

Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний університет  
Інженерний інститут

## МАТЕРІАЛІ

## XXIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, МОЛОДИХ вчених та викладачів

### Металургія як основа сучасної промисловості

## Том I

26-29 листопада 2019 р.

Запоріжжя  
2019

УДК 669.712.66.093.48

Агафонов О.А., магистрант гр. 8.1369 мкм-3,  
Нестеренко Т.М., доцент, канд. техн. наук – науковий керівник

### ПРО ВІДЛИВ ЗНЕВОДНОВАЧА НА ВМІСТ ВОЛОГИ У ГІДРОКСИДІ АЛЮМІНІЮ

Інженерний інститут Запорізького національного університету, кафедра М

Основним завданням барабанних вакуумних фільтрів на дліяни кальциновані є відокремлення твердої від рідкої фаз гідроксидної пульси (суспензії), а також промивання конденсатом гідроксиду алюмінію від дугу. Відмитий гідроксид алюмінію як очищена тверда фаза (кек) прямує по колекторному тракту до установок кінцевого шару (УКШ).

Для забезпечення нормальної економічної роботи УКШ остаточно вологість кеку на фільтрі має бути на рівні 10-11%. Важлив для зниження вмісту вологи в кеку, а, як наслідок, зниження питомих витрат на паливо для УКШ без суттєвих капіталовкладень не було. Для зниження вологості кеку на стадії фільтрування та зневоднення запропоновано застосовувати реагент, який є сумішшю нейонотеничних поверхнево активних речовин.

Реагенти в системі промивання фільтру поширено використовують у чорній металургії, проте для барабанних фільтрів почали застосовувати лише нещодавно. В промисловій практиці новітніх глиноземних підприємств використовують інші типи фільтрів (дискони, тарельчасті та ін.), в яких гостра пара (під тиском 0,6 МПа) подається на поверхню кеку без додавання бульб'язних реагентів.

Таким чином, було розглянуто рішення про використання в промислових масштабах зневоднювача (реагенту) в лінії промивання конденсатної рами. Реагент зливають з конденсатом та у подальшому його розшилюють через форсунки на поверхню кеку. Використання реагенту не потребує додаткових операцій його притотування, оскільки дозування відбувається за допомогою мембранного насоса. Це дозволяє в повній мірі використовувати зневоднювач на всю роботу зону барабана.

Реагент, потрапляючи на пульпу, адсорбується на поверхні мінеральних частинок та сприяє гідрофобізації їх поверхонь. Завдяки гідрофобізації поверхні мінеральних частинок відбувається різке зменшення їх здатності змочуватися водою або водними розчинами при збереженні паро- та газопроводності. Додавання реагенту сприяє інтенсифікації видалення трапляючої та кашляючої вологи.

Для визначення оптимальної витрати реагенту під час розшилення на поверхню кеку проведено декілька етапів дослідження зі зміненням кількості реагенту, що додається, в межах від 10 г до 60 г на 1 т глинозему. Після тривалих випробувань, на основі отриманих даних, встановлено, що при додаванні реагенту в кількості 50 г/т глинозему вміст вологи у гідраті знижується на 2%. Таким чином, підтверджено доцільність та економічність використання такого способу зневоднювання гідроксиду алюмінію.

УДК 669.714:669.054.8

Кучер Д.С., магистрант гр. МЕТ-18-2м,  
Нестеренко Т.М., доцент, канд. техн. наук – науковий керівник

### ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЛЕКСНОГО РАФІНУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ РОЗЛИВІВ, ОТРИМАННИХ ІЗ ВТОРИННОЇ АЛЮМІНІЄВОЇ СПРОВОНИ

Інженерний інститут Запорізького національного університету, кафедра М

Висока хімічна активність алюмінію та деяких легуючих елементів спричинює забруднення розливів під час виплавки алюмінієвих сплавів, особливо під час плавлення некомпактної і легковагої вторинної алюмінієвої сировини. Наступні забруднення розливу

твердими і газододібними неметалевими домішками впливають сортність, способи збирання та підготовки шихти, червоність заважкіших компонентів, способи перемішування та переливання розливу, рафінування, методи доставляння розливу на розливання. Перешкоди чиняться здебільшого від специфічних особливостей алюмінієвого сплаву внаслідок сьві внаслідок зміння якості розливу, проте рафінування істотно впливає на підвищення частоти металу.

Дослідниками Альтман М.Б., Макаров Г.С., Курдюмов О.В. та іншими виявлено основні закономірності щодо видалення неметалевих домішок та водню з розливу під час рафінування. Визначено, що кількість водню, адсорбованого на поверхні дрібних частинок оксиду алюмінію, який достатній для утримання їх від осадження в розливі, залежить від довжини поровини сумарного об'єму оксидних частинок. Тому кількість газододібно довшо пропоришна вмісту оксиду в розливі. Оксиди алюмінію, навіть в алюмінієвому розливі у вигляді  $\alpha$ - $\gamma$ - $Al_2O_3$ . Якщо розливу містить активні оксиди  $\alpha$ - $Al_2O_3$ , тоді водень в ньому звиводиться і як розчин, і як комплексні сполуки типу  $\gamma$ - $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ . Розклад комплексної сполуки під час охолодження та кристалізації розливу спричинює утворення газової пористості у виробу.

Процеси рафінування за технологічними ознаками поділяють на такі групи: поверхневе рафінування, струменеве рафінування, рафінування вузирками. Відомі методи рафінування характерні або для одного з процесів, або є універсальними (так, обробка флюсами застосовується в будь-якому процесі). Враховуючи різноманітність вимог до ступеня чистоти металу, особливості взаємодії окремих сплавів з газами й оксидами, різні методи рафінування слід використовувати у комбінації, тобто застосовувати комплексно для очищення розливу від декількох типів домішок. Для видалення неметалевих домішок використовують фільтрування розливу крізь сітчасті, кускові, рідкі соляні фільтри. Зважені вклюдження під час фільтрування заграються механічним способом або через фізико-хімічну взаємодію з матеріалом фільтра. За допомогою флюсів зважені неметалеві домішки відлучаються внаслідок адсорбції, розчинення або хімічної взаємодії з розливі, а також обробка флюсами супроводжується дегазацією розливу.

Під час підготовки кристалічного алюмінієвого пакування проводили флюсове рафінування з подальшим фільтруванням розливу через зернисті фільтри, виготовлені з магніситу, суміші фторидів, графіту. Матеріал фільтра використовували одшоруючо. Під час дослідження комплексного рафінування початковий і профільтрований розливи аналізували на вміст неметалевих і газових домішок. Для визначення оптимальних умов рафінування змінювали висоту шару (від 40 мм до 120 мм) та розмір зерен фільтрувального матеріалу (від 2 мм до 10 мм). Встановлено, що незалежно від матеріалу фільтра ступінь очищення розливу від домішок підвищується зі зменшенням розміру зерен, збільшенням висоти фільтрувального шару. Для фільтрування розливу, отриманого переливанням брухту алюмінієвого пакування з поверхневим лакофарбовим покриттям, вибрано зернисті фільтри із суміші фторидів.

УДК 669.712:628.477.043.61

Поляк В.В., магистрант гр. МЕТ-18-2м,  
Нестеренко Т.М., доцент, канд. техн. наук – науковий керівник

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДГОТОВКИ ЧЕРВОННИХ ШЛАМІВ ДО УТИЛІЗАЦІЇ

Інженерний інститут Запорізького національного університету, кафедра М

На підприємствах глиноземного виробництва не опрацьована технологія комплексної переробки алюмінієвої сировини, внаслідок чого утворюється нерозчинні відходи – червоні шлами, які складаються у шламохранилах. Залежно від способу переробки

ДОДАТОК Б

**СТАТТЯ У “ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ МАГІСТРАНТІВ  
ФАКУЛЬТЕТУ МЕТАЛУРГІЇ”**

УДК 669.714.669.054.8

Кучер Д.С., магістрант гр. МЕТ-18-2м  
Нестеренко Т.М., к.т.н., доц.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОЧИЩЕННЯ АЛЮМІНІЄВИХ РОЗПЛАВІВ, ОТРИМАНИХ ІЗ ВТОРИННОЇ АЛЮМІНІЄВОЇ СІРОВИНИ, ФІЛЬТРУВАННЯМ

*Анжерський інститут Запорізького національного університету, кафедро металургії*

Розглянуто причини забруднення алюмінієвих розплавів неметалевими домішками. Надана характеристика твердих неметалевих домішок і газів, які забруднюють розплави. Приведено аналіз сучасних способів рафінування алюмінієвих розплавів. Для очищення розплавів, отриманих під час плавлення вторинної сировини, від неметалевих домішок та водно вибрано фільтрування кризь зернисті фільтри. Проведено лабораторні дослідження впливу технологічних умов фільтрування алюмінієвих розплавів на ступінь рафінування отриманого металу.

Ключові слова: вторинна алюмінієва сировина, неметалеві домішки, рафінування, ступінь рафінування, фільтрування.

The causes of contamination of aluminum melts by non-metallic impurities are considered. The characteristic of solid non-metallic impurities and gases polluting the melts is given. Filtration through granular filters is selected to purify melts obtained during the melting of secondary raw materials from non-metallic impurities and hydrogen. Laboratory studies on the influence of technological conditions for the filtration of aluminum melts on the degree of refining of the obtained metal carried out.

Keywords: secondary aluminum raw materials, non-metallic impurities, refinement, degree of refinement, filtration.

*Вступ.* У складі вторинної алюмінієвої сировини за останні роки збільшилася кількість брухту, забрудненого лакофарбованими покриттями та пластмасами. Вміст неметалевих домішок у складі вторинної сировини може досягати 10 %. Затучення такої вторинної алюмінієвої сировини до металургійної переробки, незважаючи на значні економічні та екологічні переваги, стримується забрудненням розплавів, що утворюються, неметалевими домішками та газами.

*Постановка завдання.* Завдання роботи – проаналізувати джерела і закономірності забруднення алюмінієвих розплавів, особливості сучасних способів рафінування алюмінієвих розплавів та в лабораторних умовах дослідити можливість очищення розплавів, що утворюються під час плавлення використаного алюмінієвого пакування, від неметалевих домішок.

*Матеріали та методи дослідження.* Для дослідження як сировину застосовано використане алюмінієве пакування: металеву стрічку алюмінієвих

банок для напоїв, покриття з обох боків харчовим лаком, а з зовнішнього боку долатково покриття декоративним покриттям; кришки для закупорювання прохолоджуючих напоїв, на поверхні яких нанесено лакове і фарбове покриття. Алюмінієвий розплав отримано плавленням вторинної алюмінієвої сировини шахтній лабораторній електродній типу СШОЛ у графітових тиглях. Під час плавлення вторинної сировини проводили флюсове рафінування чотирьохкомпонентним флюсом (56% NaCl, 22% NaF, 15% KCl, 7% Na<sub>2</sub>AlF<sub>6</sub>) у замкнутій кількості. Отриманий алюмінієвий розплав піддавали рафінуванню. Вміст домішок в розплаві оцінювали за технологічними пробами. Ступінь рафінування (%) визначали як відношення різниці вмісту домішок у вихідному та відрафінованому розплаві до їх кількості у розплаві до рафінування.

*Результати дослідження.* Висока хімічна активність алюмінію у розплавленому стані спричинює долаткове забруднення розплавів, що утворюються під час плавлення некомпактної і легкової вторинної алюмінієвої сировини, газами та твердими неметалевими домішками. Неметалеві домішки (тверді й газоподібні) потрапляють у алюмінієвий розплав переважно з шихтових матеріалів, а насичення ними відбувається під час виплавлення і розливання сплавів. Найбільш шкідливою серед газових домішок для алюмінієвих розплавів є водень. На ступінь забруднення алюмінієвого розплаву твердими і газоподібними неметалевими домішками впливають склад і сортиність, способи збирання та підготовки шихти, черговість завантаження компонентів шихти, способи перемішування та переливання розплаву, рафінування, методи доставляння розплаву на розливання [1-4]. Перелічені чинники залежно від специфічних особливостей алюмінієвого сплаву, що виготовляють, вносять свій внесок у змінення якості розплаву.

Дослідниками Альтман М.Б., Макаров Г.С., Курдюмов О.В., Белов В.Д. та іншими виявлено, що кількість водню, адсорбованого на поверхні дрібних часточок оксиду алюмінію, який достатній для утримання їх від осадження в розплавленому алюмінії, дорівнює половині сумарного об'єму оксидних частинок. Тому кількість газоподібного водню пропорційна вмісту оксиду в розплаві. Оксиди алюмінію, наявні в алюмінієвому розплаві у вигляді  $\alpha$ - і  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Якщо розплав містить активні оксиди  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, тоді водень в ньому знаходиться і як розчин, і як комплексні сполуки типу  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·xH<sub>2</sub>. Розпад комплексної сполуки під час охолодження та кристалізації розплаву спричинює утворення газової пористості у виробу.

Останнім часом у зв'язку збільшенням обсягів застосування алюмінію в тонкостінних виробом істотно обмежують припустимий розмір дрібних неметалевих домішок. Припустимий розмір таких домішок, що залежить від товщини та маси майбутніх виробів, може становити декілька мікрон [4].

Істотно підвищити чистоту отриманого металу та зменшити його втрати внаслідок ошпалювання металу дозволяють сучасні технології рафінування. Традиційними технологіями видалення зв'язаних твердих домішок і водню з алюмінієвих розплавів є відстоювання, обробка сумішами фторидних і хлоридних солей, продування інертними й активними газами, вакуумування,

фільтрування. Запропоновані нові способи рафінування (ультразвукове, магнітно-вибушне оброблення та ін.) істотно розширюють можливості очищення розплавів, отриманих під час плавлення вторинної сировини. Перелічені способи очищення базуються на різних фізико-хімічних процесах: седиментації (відстоювання розплавів), вилучення за адсорбційно-флотатійними механізмами (оброблення флюсами), флотажі (продовольчіми газами), адгезії (фільтрування). Способи рафінування за технологічними ознаками поділяють на такі групи: поверхневе рафінування; струменеве рафінування; рафінування пазирками. Відомі технології рафінування характерні або для одної з груп, або є універсальними (так, оброблення флюсами можна застосувати для будь-якої групи) [5-8]. Враховуючи різноманітність вимог до ступеня чистоти металу, особливості взаємодії окремих алюмінієвих сплавів з газами й оксидами, для очищення розплавів від декількох типів домішок слід використовувати різні способи рафінування у послідовній, тобто комплексно.

Для ефективного видалення зв'язаних неметалевих домішок розплави слід фільтрувати крізь сітчасті (двомірні), зернисті (об'ємні) або різкі сольові фільтри. До зернистих фільтрів можна віднести також керамічні фільтри з фіксованими розмірами каналів [9]. Зв'язані домішки під час фільтрування затримуються механічним способом або через фізико-хімічну взаємодію з матеріалом фільтра.

Значно більший ефект очищення властивий зернистим фільтрам у вигляді шару висотою 1,5–20 см із зерен розміром 5–15 мм фільтрувального матеріалу (корунд, магnezит, графіт або сплав фторидних солей). Під час фільтрування крізь зернисті фільтри очищення розплаву від неметалевих домішок відбувається не тільки механічним викремленням великих за розміром домішок і оксидних шмочок. Істотно впливає змочування матеріалу фільтра розплавом (тобто для адсорбційних сил), утворення зон зниженого тиску та вихрів, які виникають під час руху рідики металу. Такий складний механізм процесу фільтрування спричинює інтенсивну дегазацію та очищення від твердих неметалевих домішок, в тому числі й дрібних. Фільтри, що змочуються розплавом, є ефективнішими порівняно з ними, що не змочуються.

На підставі теоретичних досліджень для видалення неметалевих домішок із алюмінієвих розплавів, отриманих під час плавлення використаного алюмінієвого пакування, вибрано фільтрування крізь зернисті фільтри. Як фільтрувальний матеріал для експериментального дослідження вибрано магnezит, сплав фторидів кальцію та магнію (50% CaF<sub>2</sub>, 50% MgF<sub>2</sub>), графіт.

Отриманий алюмінієвий розплав фільтрували крізь зернисті фільтри під дією сили тяжіння в тиглі місткістю 200 г. Матеріал фільтра використовували одноразово. Для видалення адсорбованої вологи фільтрувальний матеріал засипали у фільтрувальну камеру та прожарювали за температури 700–720 °С. Фільтрувальний матеріал, що досліджується, насипали в камеру у кількості, потрібній для створення фільтрувального шару певної висоти і заливали алюмінієвий розплав.

Для дослідження впливу технологічних умов фільтрування алюмінієвих розплавів, що утворюються під час плавлення використаного алюмінієвого пакування, на ступінь рафінування змінювали середній розмір зерен фільтрувального матеріалу від 3 мм до 13 мм та висоту шару від 40 мм до 120 мм. Проведено серій дослідів з варіюванням розмірів фільтрувальних матеріалів в межах 2–4 мм, 4–6 мм, 6–8 мм, 8–10 мм, 10–12 мм, 12–14 мм.

Експериментально встановлено, що незалежно від матеріалу та висоти фільтра просочення алюмінієвого розплаву крізь фільтрувальний матеріал з розміром зерен 2–4 мм під дією сили тяжіння відбувається дуже повільно, в окремих випадках фільтрування майже не відбувається.

Вплив розміру зерен фільтрувального матеріалу на ступінь рафінування алюмінієвого розплаву від неметалевих домішок для фільтрів із магnezиту і сплаву фторидів при різних висотах шару фільтрувального матеріалу приведено на рис. 1.

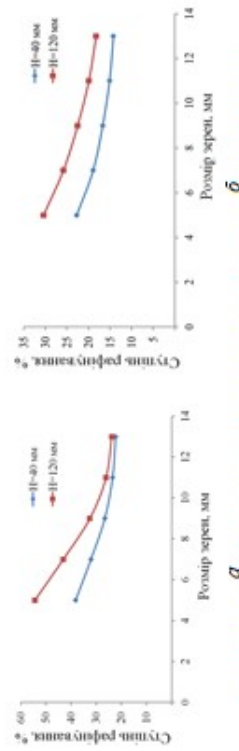


Рисунок 1 – Залежності ступеня рафінування розплаву від розміру зерен сплаву фторидів (а) і магnezита (б) для фільтрів висотою 40 мм і 120 мм

За даними рис. 1 встановлено, що в досліджуваному інтервалі розмірів зерен фільтрувального матеріалу ступінь рафінування алюмінієвого розплаву зростає при фільтруванні крізь сплав фторидів кальцію і магнію з 22,3 % до 38,2 % при висоті шару фільтра 40 мм і з 23,8 % до 54,4 % (рис. 1, а) при висоті шару фільтра 120 мм. При використанні магnezиту ступінь рафінування алюмінієвого розплаву зростає з 14,2 % до 22,7 % при висоті шару фільтра 40 мм і з 18,1 % до 30,5 % (рис. 1, б) при висоті шару фільтра 120 мм.

Для отримання однакового ступеня рафінування розмір зерна фільтра зі сплаву фторидів може бути в 1,5–2 рази більший, ніж розмір зерна магnezиту.

Кінетику фільтрування металевих розплавів крізь зернисті фільтри описують рівнянням [10]:

$$C = C_0 / (1 + K_0 \cdot H \cdot d^{1/2}), \quad (1)$$

де  $C$  та  $C_0$  – кількість домішок у розплаві до та після фільтрування відповідно;  $H$  – висота шару фільтра, мм;

$d_{\text{ср}}$  – середній діаметр зерна фільтра, мм;

$K_0$  – коефіцієнт адгезійної активності матеріалу фільтра.

Математичною обробкою експериментальних даних, наведених на рис. 1, отримано, що величина коефіцієнта адгезійної активності матеріалу фільтра, яку обчислено за рівнянням кінетики фільтрування (1), дорівнює: для фільтра із зерен сплаву фторидів  $K_a = 6,8$  (розбіжність з теоретичною величиною 9,6 %), для фільтра із зерен магнезиту  $K_a = 2,156$  (розбіжність 7,8 %).

Вплив висоти шару фільтрувального матеріалу на ступінь рафінування алюмінієвого розплаву від неметалевих домішок для фільтрів із магнезиту і сплаву фторидів при різних розмірах зерен приведено на рис. 2.

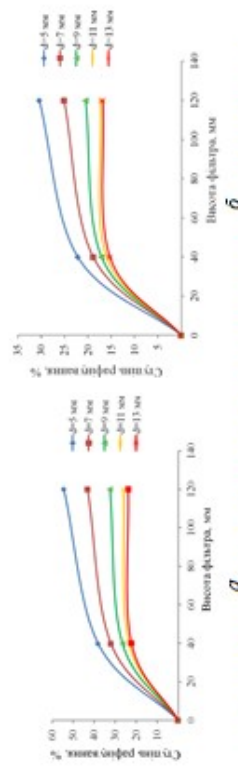


Рисунок 2 – Залежності ступеня рафінування розплаву від висоти фільтра зі сплаву фторидів (а) і магнезиту (б) для зерен з різним середнім розміром

Для оцінювання ефективності видалення неметалевих домішок з алюмінієвого розплаву використані фільтри вилучали з фільтрувальної камери та розрізали за вертикальною віссю. Фільтр разом з фільтрувальними є достатньо міцним конгломератом зерен, сполучених металевими нитками. Спостерігали потемніння зерен зі сплаву фторидів кальцію та магнію, проте розміри та форма зерен будь-якого фільтрувального матеріалу не зазнали змін. Накопичення оксидних плівок, що перемішані з металом, відбувалося переважно у верхній частині фільтра. Так, верхня частина фільтра (20–22 мм від верху) для фільтра з загальною висотою шару 120 мм була засмічена оксидними плівками. Отже, для видалення великих за розміром неметалевих домішок з досліджених алюмінієвих розплавів достатньо використовувати фільтри з висотою шару фільтрувального матеріалу менше, ніж 120 мм.

**Висновки.** Таким чином, можна зробити наступні висновки:

1. Проаналізовано сучасні способи рафінування алюмінієвих розплавів. Для очищення розплавів, отриманих під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини, від твердих дрібних неметалевих домішок вибрано фільтрування.
2. Експериментально встановлено, що ступінь рафінування алюмінієвих розплавів, отриманих з вторинної сировини, від зв'язаних неметалевих домішок залежить від розмірів зерен, висоти шару і типу фільтрувального матеріалу. Чим більша висота шару і менший розмір зерна матеріалу фільтра, тим більша кількість домішок затримується фільтром.

3. Ступінь рафінування розплавів, отриманих під час плавлення під флюсом використаного алюмінієвого пакування, від оксидних плівок і великих за розміром неметалевих домішок підвищується з 23,8 % до 54,4 % при висоті шару сплаву фторидів 120 мм та з 18,1 % до 30,5 % при висоті шару магнезиту 120 мм в дослідженому інтервалі розмірів зерен фільтрувального матеріалу.

4. Виведені закономірності є основою для вибрання технологічних умов фільтрування розплавів, отриманих під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини, від неметалевих домішок і волюно в промислових умовах.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Добаткин В. И., Габидуллин Р. М., Колачев Б. А., Макаров Г. С. Газы и окислы в алюминиевых деформируемых сплавах. Москва : Металлургия, 1976. 264 с.
2. Макаров Г. С. Рафинирование алюминиевых сплавов газами. Москва : Металлургия, 1983. 120 с.
3. Макаров Г. С. Современные тенденции в развитии методов рафинирования деформируемых алюминиевых сплавов. Известия вузов. Двеятная металлургия. 1998. № 4. С. 26–29.
4. Локшин М. З., Макаров Г. С., Сыротинский М. С. Актуальные вопросы производства и применения для упаковки Двеятные металлы. 2002. № 12. С. 47–55.
5. Нестеренко Т. М., Нестеренко О. М., Колобов Г. О., Гришай В. П. Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини : навч. посіб. Київ : Вища школа, 2007. 207 с.
6. Галевский Г. В., Кулагин Н. М., Минин М. Я. Металлургия вторичного алюминия : учебник. Новосибирск: Наука, 1998. 289 с.
7. Москвитин В. И., Николаев И. В., Фомин Б. А. Металлургия легких металлов : учебник. Москва : Интермет Инжиниринг, 2005. 416 с.
8. Нестеренко Т. М. Перспективи напрямів вдосконалення технології та обладнання для металургійної переробки вторинної алюмінієвої сировини. Неручные руды SWorld. Т. 5, Вып. 4(41). Иваново, 2015. С. 41–45.
9. Ройш Ф., Шнелле И. Современное оборудование и материалы для фильтрации алюминия и его сплавов. Двеятные металлы. 2008. № 1. С. 86–90.
10. Дробязко В. М., Фесенко А. М., Лютий Р. В., Фесенко М. А. Ливарна гідраліка : навч. посіб. Краматорськ: ДДМА, 2010. 108 с.

## ДОДАТОК В

## ДОВІДКА ПРО ПУБЛІКАЦІЮ СТАТТІ У ЖУРНАЛІ ПРОЕКТУ “SWORLD”



НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРНЕТ ПРОЕКТ  
**SCIENTIFIC WORLD “SWORLD”**  
 www.sworld.education

+380 (48) 737-6-234 +380 (66) 790-12-05 SWORLD\_ORGCOM ORGCOM@SWORLD.EDUCATION  
 +7 (499) 350-90-55

В сотрудничестве с:

PROJOURNAL ISSNpro  
 SCIENTWORLD DOIcenter

INDEX COPERNICUS  
 INTERNATIONAL

Crossref

Google scholar

Исх. GE10-029 от 27.12.2019 г.

## СПРАВКА

Дана авторам Нестеренко Татьяна Николаевна, Кучер Дмитрий Сергеевич (*Запорожский национальный университет*) в том, что подготовленная научная работа «*ФІЛЬТРУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ РОЗПЛАВІВ, ОТРИМАНИХ ІЗ ВТОРИННОЇ АЛЮМІНІЄВОЇ СИРОВИНИ З ЛАКОФАРБОВИМ ПОКРИТТЯМ, КРИЗЬ ЗЕРНИСТІ ФІЛЬТРИ*», одобрена Оргкомитетом для участия в конференции «*Мировые научно-технические тренды ‘2019’*» (26-27 декабря 2019г., секция *Металлургия и материаловедение*) и рекомендована для публикации в журнале «*MODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES*» Вып.10. Заявке присвоен №ge10-029. Выход журнала запланирован на конец января.

Справка дана для представления в: *Запорожский национальный университет*.

Председатель Оргкомитета  
 и Редакколлегии д.т.н., проф., академик

*А.Г.Шибяев*  
 А.Г.Шибяев

Научный Секретарь  
 Оргкомитета и Редакколлегии  
 Руководитель Проекта SWORLD

*С.В.Купrienko*  
 С. В. Купrienko

