

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

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

на тему Технологічні особливості сушіння алюмінієвої стружки при виробництві алюмінієвих сплавів

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1360-м

Старій Є.В.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Металургія

(шифр і назва)

Керівник Нестеренко Т.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Проценко В.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя - 2024 року

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

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

Спеціальність 136 Металургія  
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Металургія  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МТЕТБ  
Ю.О. Белоконь

“ 12 ” 02 2024 року

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ**

Старій Євгенію Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) «Технологічні особливості сушіння алюмінієвої стружки при виробництві алюмінієвих сплавів»

керівник роботи (проекту) Нестеренко Тетяна Миколаївна, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “26” грудня 2023 року № 2215-с

2. Строк подання студентом роботи (проекту) 14.06.2024

3. Вихідні дані до роботи (проекту) Вихідна алюмінієва стружка містить 14,0 % вологи; 6,0 % заліза; 4,5 % мастила; 3,0% неметалевих домішок. Хімічний склад мастила відповідає формулі  $C_4H_{10}$ . Після сушіння стружка містить 0,3 % вологи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Конструкційна частина. Охорона праці та техногенна безпека. Висновки. Перелік джерел посилання.

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
<i>Загальна частина</i>	<i>Нестеренко Т.М., доцент</i>	
<i>Технологічна частина</i>	<i>Нестеренко Т.М., доцент</i>	
<i>Конструкційна частина</i>	<i>Нестеренко Т.М., доцент</i>	
<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>Нестеренко Т.М., доцент</i>	
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Белоконь Ю.О., завідувач кафедри</i>	

7. Дата видачі завдання 12.02.2024 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>10.06-16.06.2024</i>	
2	<i>Реферат</i>	<i>10.06-16.06.2024</i>	
3	<i>Загальна частина</i>	<i>13.05-19.05.2024</i>	
4	<i>Технологічна частина</i>	<i>20.05-26.05.2024</i>	
5	<i>Конструкційна частина</i>	<i>27.05-02.06.2024</i>	
6	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>03.06-09.06.2024</i>	
7	<i>Висновки</i>	<i>10.06-16.06.2024</i>	

Студент \_\_\_\_\_ *Старій Є.В.*  
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

## РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 65 с., 8 табл., 14 рис., 23 джерела.

АЛЮМІНІЄВА СТРУЖКА, БАРАБАННА СУШАРКА, ВОЛОГА, ЗНЕЖИРЕННЯ, МАСТИЛО, ТЕРМІЧНЕ СУШІННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Технологічні особливості сушіння алюмінієвої стружки при виробництві алюмінієвих сплавів.

Мета роботи – вивчення технологічних особливостей та розробка технології сушіння алюмінієвої стружки для використання у виробництві алюмінієвих сплавів.

У розділі “Загальна частина” проаналізовано джерела утворення та особливості стружкових відходів кольорових металів. Надана класифікація та характеристика різних видів алюмінієвої стружки. Проаналізовано особливості первинної обробки та підготовки алюмінієвої стружки до металургійної переробки, способи сушіння та знежирення стружки. Описано теоретичні основи і технологічні особливості термічного сушіння алюмінієвої стружки.

У розділі «Технологічна частина» розроблена технологічна лінія термічного сушіння та знежирення алюмінієвої стружки. Описано основні операції переробки алюмінієвої стружки та технологія сушіння стружки. Складено матеріальний баланс сушіння алюмінієвої стружки та визначено витратні коефіцієнти.

У розділі «Конструкційна частина» описано конструкцію барабанної сушарки для сушіння алюмінієвої. Виконано конструктивний розрахунок протитечійній барабанної сушарки. Складено тепловий баланс сушіння алюмінієвої стружки і визначено питому витрату палива.

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» проаналізовано шкідливі та небезпечні виробничі фактори ділянки сушіння алюмінієвої стружки. Розроблено заходи щодо поліпшення умов праці. Виконано розрахунок блисковкозахисту ділянки сушіння стружки.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Загальна частина.....	8
1.1 Стружкові відходи кольорових металів. Характеристика алюмінієвої стружки.....	8
1.2 Особливості первинної обробки алюмінієвої стружки.....	14
1.3 Способи сушіння та знежирення стружки кольорових металів.....	19
1.4 Технологічні особливості та устаткування для термічного сушіння та знежирення алюмінієвої стружки .....	22
2 Технологічна частина.....	33
2.1 Технологічна схема підготовки стружки до металургійної переробки.....	33
2.2 Опис технології термічного сушіння алюмінієвої стружки.....	34
2.3 Матеріальний баланс сушіння алюмінієвої стружки.....	38
3 Конструкційна частина.....	41
3.1 Конструкція барабанної сушарки для сушіння алюмінієвої стружки.....	41
3.2 Конструктивний розрахунок барабанної сушарки.....	42
3.3 Матеріальний баланс горіння палива.....	44
3.4 Тепловий баланс сушіння алюмінієвої стружки .....	48
4 Охорона праці та техногенна безпека.....	53
4.1 Шкідливі та небезпечні фактори виробничого середовища під час сушіння алюмінієвої стружки .....	53
4.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів виробничого середовища.....	55
4.3 Розрахунок блисковкозахисту ділянки сушіння стружки.....	59
Висновки.....	62
Перелік джерел посилання.....	64

## ВСТУП

Неухильне зростання обсягів споживання виробів з алюмінію та його сплавів у всіх галузях промисловості сприяє збільшенню кількості алюмінієвих брухту і відходів, що утворюються, і потребує застосування раціональних технологій їх переробки для повторного використання. Від загальної кількості брухту і відходів стружка становить 40 % [1].

Значна частина брухту та відходів кольорових металів надходить на переробку в нерозробленому та несортованому вигляді. Безпосереднє плавлення такої вторинної сировини призводить до втрат як основного металу, так і легуючих добавок, зниження якості сплавів, збільшення енергоємності металургійних процесів. Забезпечення споживчих властивостей металів, одержуваних із вторинної сировини, та зменшення енерговитрат на отримання кондиційних сплавів багато в чому залежать від первинної підготовки брухту та відходів до металургійної переробки.

Оптимальні умови збирання та використання стружкових відходів (алюмінієвих, титанових, мідних та ін.) в даний час ще не досягнуто. Стружка, що утворюється на металообробних, металургійних і машинобудівних підприємствах, є найбільш забрудненим видом вторинної сировини кольорових металів та без попередньої первинної обробки не придатна для рециркулювання.

Залежно від розмірів напівфабрикатів і виду обробки стружка утворюється різних розмірів: завтовшки від 0,05 до 4,00 мм, довжиною окремого витка від декількох міліметрів до 1 м і більше. Більшість операцій механічної обробки здійснюють з охолодженням зони різання змащувальними і охолоджуючими рідинами (МОР) різних складів. Кількість мастила та вологи на поверхні стружки залежить від її товщини [1,2].

Ступінь забруднення стружки мастилом, вологою і неметалевими домішками також залежить як від пори року, так і від терміну зберігання на складах і тривалості транспортування її з металообробних підприємств на підприємства вторинної кольорової металургії. При зберіганні на відкритому

повітрі сумарний вміст вологи і масилл може досягати 20–30 % [3-7].

Допустима кількість вологи в шихті, що надходить на переплавлення, не повинна перевищувати 4 %, а в шлаках та флюсі – 1 %. Фактично у виробничих умовах кількість вологи може досягати 10-15 % і більше. Для використання алюмінієвої стружки у металургійному виробництві алюмінієвих сплавів до неї висувають певні вимоги та обмежують залишкову кількість вологи і мастила, що в сумі не повинна перевищувати 3 %.

Для видалення вологи і мастила застосовуються механічний, гідрохімічний і термічний способи. У світовій промисловій практиці найбільшого поширення набуло термічне сушіння алюмінієвої стружки в сушильних печах.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є вивчення технологічних особливостей та розробка технології сушіння алюмінієвої стружки для використання у виробництві алюмінієвих сплавів.

Завдання кваліфікаційної роботи бакалавра:

1. Проаналізувати джерела утворення та особливості різних видів стружкових відходів кольорових металів.
2. Вивчити особливості первинної обробки алюмінієвої стружки та підготовки її до металургійної переробки.
3. Проаналізувати способи сушіння та знежирення стружки кольорових металів, їх технологічні особливості та розробити технологію сушіння алюмінієвої стружки.
4. Вибрати і розрахувати сушильне устаткування для сушіння алюмінієвої стружки. Описати конструкцію сушильного устаткування.
5. Розрахувати матеріальний баланс процесу сушіння алюмінієвої стружки.
6. Розрахувати тепловий баланс сушіння алюмінієвої стружки та визначити питому витрату енергоносіїв.
7. Виявити шкідливі і небезпечні фактори виробничого середовища під час сушіння алюмінієвої стружки.

## 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

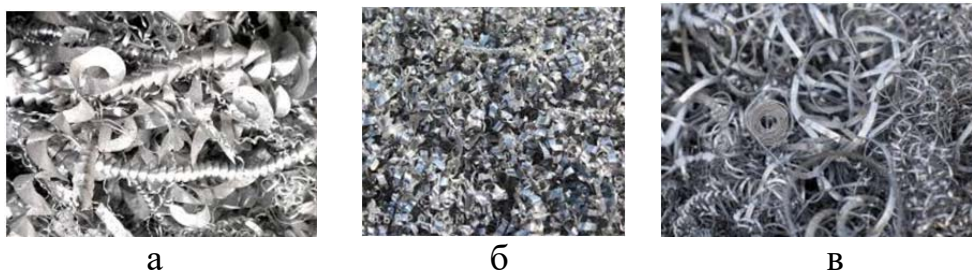
### 1.1 Стружкові відходи кольорових металів. Характеристика алюмінієвої стружки

Стружка утворюється під час обробки металів і сплавів на металорізальних верстатах. Залежно від хімічного складу сплаву, виду різального інструмента за формою і розміром окремі часточки стружки можуть істотно відрізнятися.

Стружку поділяють на [8]:

- в'юноподібна – стружка із довжиною витка більше 0,1 м,
- сипка – стружка із довжиною витка менше 0,1 м;
- змішана, низькоякісна – стружка, що складається із суміші в'юноподібної і сипкої стружки;
- стружка, що містить сторонні включення.

Стружку також поділяють крупну і дрібну, однорідну та змішану (по сипкості і розміру).



а – в'юноподібна; б – сипка; в – змішана

Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд алюмінієвої стружки

Оптимальні умови збирання та використання стружкових відходів кольорових металів (алюмінієвих, титанових, мідних та ін.) в даний час ще не досягнуто. Так, титанова стружка, що утворюється на металообробних,



металургійних і машинобудівних підприємствах, є найбільш забрудненим видом титанових відходів та не придатним для рециркулювання титану.

Залежно від розмірів напівфабрикатів і виду обробки титанова стружка утворюється різних розмірів: завтовшки від 0,05 до 4,00 мм і довжиною окремого витка від декількох міліметрів до 1 м і більше. Більшість операцій механічної обробки здійснюють з охолодженням зони різання змащувальними і охолоджуючими рідинами (МОР) різних складів. Кількість мастила та вологи на поверхні стружки залежить від її товщини: при товщині стружки 0,05; 0,10 і 0,20 мм вміст вологи та мастила дорівнює 30,0; 15,0 і 7,5 % відповідно [9-11].

У загальному обсязі вторинної алюмінієвої сировини 40 % становить стружка, що утворюється в основному на машинобудівних підприємствах.

Під час обробки металу різанням, збирання, зберігання та транспортування до місця переробки стружка замаслюється, зволожується, забруднюється сторонніми предметами (обтиральними кінцями, трісками та іншим сміттям), змішується з пилом від стирання різця і стружкою чорних металів. Основна маса алюмінієвої стружки (95 %) містить 3–18 % води та мастильно-охолоджувальної рідини (МОР), які застосовують під час різання алюмінієвих сплавів [3,6-8]. МОР – це складні композиції водних емульсій або мастильних рідин, що містять поверхнево-активні речовини, інгібітори корозії і мастило.

Ступінь засміченості стружки МОР, вологою і неметалевими домішками залежить як від пори року, так і від терміну зберігання на складах і тривалості транспортування її з металообробних підприємств на підприємства вторинної кольорової металургії. При зберіганні на відкритому повітрі сумарний вміст вологи і МОР може досягати 20–30 % [4-8].

Для отримання якісних сплавів стружку слід підготувати до металургійної переробки. Підготовка стружки до плавки полягає в сортуванні по крупності, дробленні великої фракції, сушінні, відсіванні дрібниці, видаленні заліза. У підготовленій стружці залишковий вміст вологи і мастила в

сумі не повинен перевищувати 0,1 %, металургійний вихід – не менше 90 % (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Вимоги до алюмінієвої стружки за ДСТУ 3211 [2]

Вид метало-брухту	Характеристика	Показники	Норма
Алюміній 21 (Telic)*	Стружка алюмінієва сипка змішана: токарна, свердлильна, фрезерна, обробки плит, профілів, литих деталей тощо Стружка, змішана з двох або кількох сплавів	Металургійний вихід, %, не менше Засміченість за масою, %, не більше, у тому числі залізом вологою та оливою Без сміття. Масу фракції 0,6 мм та менше віднімають від маси партії. Якщо вміст фракції від 0,6 мм до 20 мм становить більше ніж 3 %, то роблять знижку. У разі наявності більше ніж 10 % заліза і/або вільного магнію або нержавкої сталі, а також легкозапалювальної охолоджувальної рідини партія не відповідає виду. Хімічний склад представницької проби за масою, %: алюміній, не менше кремній, не більше залізо, не більше мідь, не більше цинк, не більше марганець, не більше магній, не більше свинець, не більше олово, не більше нікель, не більше титан, не більше	90 10 0,5 5                83 9,0 1,0 3,5 1,5 0,5 0,3 0,2 0,1 0,3 0,15
Алюміній 22	Стружка алюмінієва витка змішана	Металургійний вихід, %, не менше Засміченість за масою, %, не більше, у тому числі залізом. Постачають за домовленістю споживача і продавця. Хімічний склад представницької проби за масою, %:	40 60 2

Продовження таблиці 1.1

Вид метало-брухту	Характеристика	Показники	Норма
Алюміній 22		алюміній, не менше кремній, не більше залізо, не більше мідь, не більше цинк, не більше марганець, не більше магній, не більше свинець, не більше олово, не більше нікель, не більше титан, не більше	75 1,2 1,0 6,5 0,8 1,0 13,0 0,15 0,1 0,5 0,15
	* У дужках зазначено назву закордонного аналога виду металобрухту. Відповідні назви видів зазначено згідно з [1] та наведено лише для довідки		

Пакування брухту і відходів алюмінію та його сплавів:

а) брухт і кускові відходи постачають без пакування, крім брухту і відходів алюмінію, що покритий селеном, який пакують у щільні дерев'яні ящики згідно з ГОСТ 2991, ГОСТ 5959;

б) кабельно-провідниковий брухт зв'язують у бухти, рулони, зв'язки відповідно до вимог ГОСТ 26653;

в) стружку постачають без пакування. Допускають за згодою сторін пакування стружки в пакети або брикети відповідно до вимог ГОСТ 26653;

г) подріблений брухт пакують у паперові мішки згідно з ГОСТ 2226 або в поліетиленові мішки згідно з ГОСТ 17811;

д) шлаки, зйоми, дроби, піну, попіл, залишки від рафінування алюмінієвих сплавів постачають без пакування.

Правила зберігання. Брухт і відходи кольорових металів та сплавів, що підлягають первинній обробці, зберігають роздільно за видами відповідно до

встановленої класифікації в коробах, бункерах, відсіках і на спеціально обладнаних майданчиках із твердим покриттям, яке унеможливує засмічення брухту і відходів.

Стружку, порошкоподібні відходи і шлаки алюмінію, окалини, що містять цинк, свинець, які пройшли первинну обробку, зберігають в умовах, що унеможливають попадання вологи. Стружку алюмомагнієвих сплавів зберігають у спеціально обладнаних складах, розташованих в ізольованих і вогнестійких приміщеннях.

Контроль металобрухту, що надходить, рекомендовано проводити згідно зі схемою, наведеною на рисунку 1.2.

Процедуру випробовування металобрухту на відповідність технічним вимогам стандарту ДСТУ 3211 проводять згідно з таблицею 21 [2]. Випробовування металобрухту проводять не менше ніж на двох представницьких пробах, відібраних з партії. За результат випробування беруть середньоарифметичне значення.

Відбирання і готування проб для проведення процедури випробовування металобрухту на відповідність технічним вимогам цього стандарту проводять згідно з ГОСТ 28192 (для відходів кольорових металів і сплавів), згідно з ГОСТ 28053 (для стружки кольорових металів і сплавів). Відбирання і готування проб кускового брухту проводять за методиками, погодженими між постачальником і споживачем.

Відповідно до ДСЕПіН 6.6.1-079/211.3.9.001 [5] уся партія брухту і відходів кольорових металів та сплавів, що постачають, перебуваючи у транспортному засобі, повинна пройти перший етап вхідного радіаційного контролю. У разі виявлення металобрухту з рівнем іонізуючого випромінювання, що перевищує встановлені норми, партію не приймають, транспортний засіб відправляють на спеціально відведені майданчики (тупики) для подальшого прийняття рішень разом з органами держсаннагляду згідно з чинними нормативними документами.

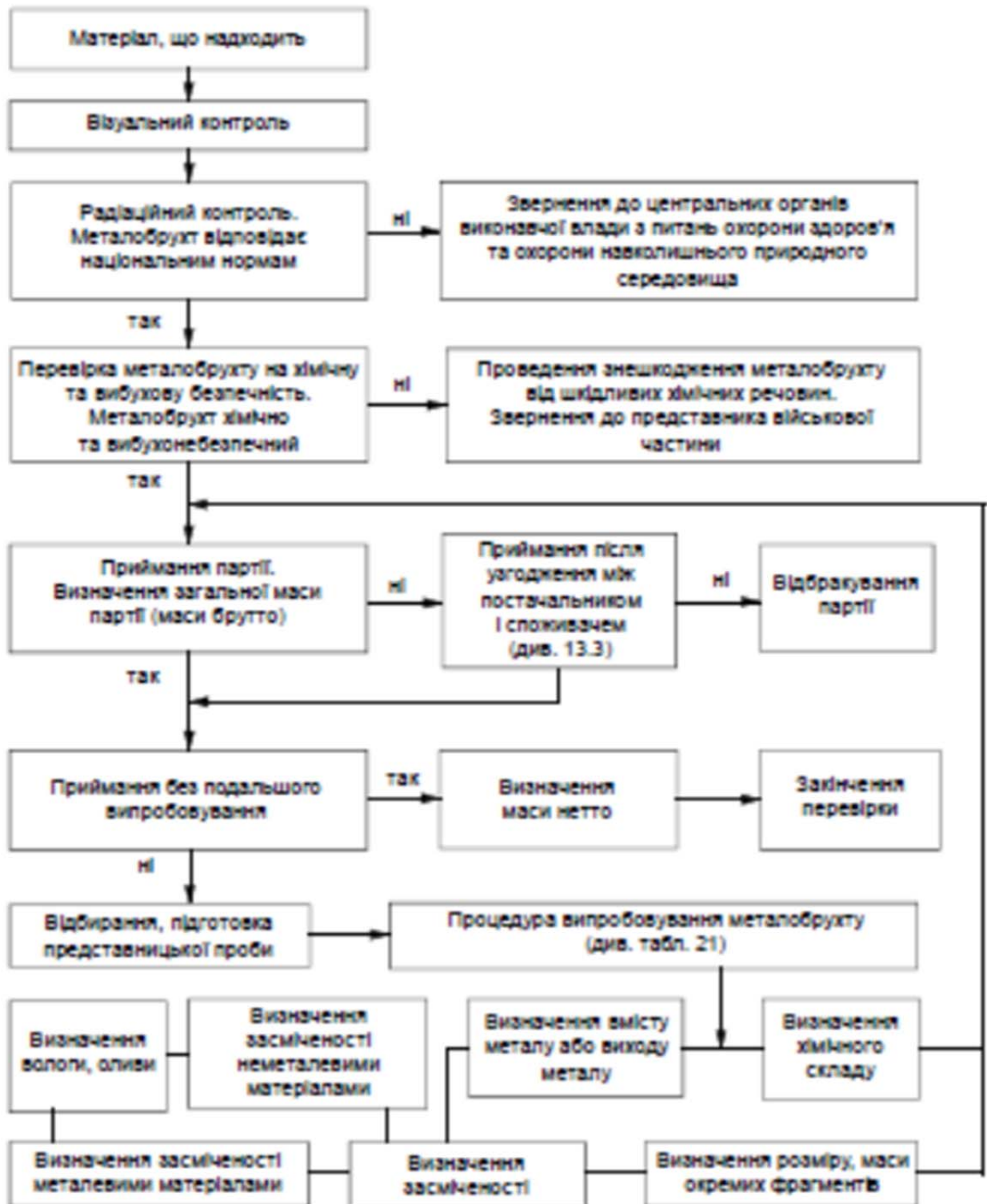


Рисунок 1.2 – Схема перевірки металобрухту, що постачають [2]

Приймання стружкових відходів кольорових металів та сплавів проводять за масою нетто металу. Металобрухт зважують на вагах споживача [2].

Маса нетто металу (сплаву) у брухті й відходах кольорових металів і сплавів є різницею між масою брутто і масою транспортного засобу, тари і засміченості. Для алюмінію, магнію і титану наявність оксидів цих металів є засміченістю.

Правила приймання. Брухт і відходи кольорових металів та сплавів приймають партіями. Кожна партія повинна супроводжуватися:

- а) документом про якість (паспортом), який повинен містити:
- назву підприємства-постачальника;
  - вид металобрухту;
  - марку сплаву або номерне позначення марки сплаву (зазначають, якщо постачання конкретної марки обумовлено між постачальником та споживачем);
  - походження металобрухту;
  - масу партії металобрухту;
  - дату відправлення;
  - номер транспортного засобу (вагона, автомобіля тощо);
  - хімічний склад.

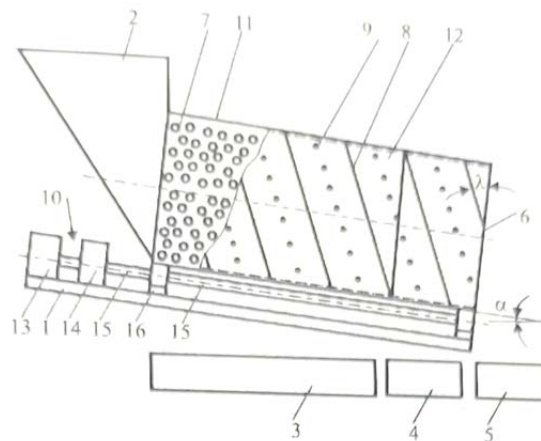
Форму оформлення паспорта зазначено у додатку Д [2].

б) посвідченням про радіаційну і вибухову безпеку, оформленим відповідно до додатка А [2].

## **1.2 Особливості первинної обробки алюмінієвої стружки**

В даний час металургійні підприємства, що переробляють вторинну алюмінієву сировину, застосовують наступні технологічні операції: класифікацію, пакетування або брикетування, фрагментування, дроблення, магнітну сепарацію, видалення вологи і масла.

Класифікацію некомпактної алюмінієвої сировини проводять для розділення її по крупності. Так, стружку поділяють на сипку і в'юноподібну, а також для виділення певних класів сипкої стружки. Для класифікації брухту і відходів алюмінієвих сплавів застосовують грохоти барабанні і плоскі (для виділення фракції –3 мм з роздробленої сировини). Поділ змішаної стружки кольорових металів на кускову, сипку і в'юноподібну фракції запропоновано здійснювати сепарацією у барабанних гуркотах (рис.1.3).



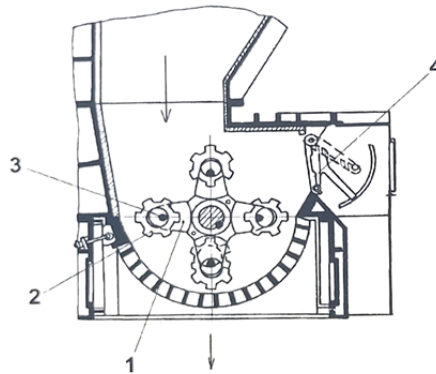
1 – рама; 2 – бункер; 3 ,4, 5 – розвантажувальний для сипких, кускових і в'юноподібних матеріалів відповідно; 6 – барабан; 7 – перфоровані отвори; 8 – гвинтові лопаті; 9 – голки; 10 – привід обертання барабана; 11, 12 – ділянки барабана; 13 – електродвигун; 14 – редуктор; 15 – трансмісійні вали; 16 – ковзанки

Рисунок 1.3 – Сепаратор для поділу суміші кускових, сипких і в'юноподібних матеріалів

Розділену на класи легковагу та некомпактну сировину пакетують для зручності її транспортування у вагонах, контейнерах, автомашинах до місця подальшої переробки, а також для прискорення операції завантаження плавильних агрегатів. Для пакування некомпактної алюмінієвої сировини, наприклад, стружки застосовують преси різних типів із зусиллям пресування від 0,6 до 10 МН продуктивністю 0,5–6,5 т/год. [3,7–9,11]. Проте цю операцію застосовують порівняно рідко (частка стружки, що пакується складає менше 3 %), оскільки надалі потрібні спеціальні розривні (фрагментуючі і дробильні)

агрегати для розкриття пакетів з метою видалення вологи, масла і інших домішок. До того ж плавлення незбагаченої сировини, що пакується, приводить до збільшення угару металу, не гарантує отримання якісних марок сплавів, може привести до вибуху із-за прихованих усередині пакету скупчень вологи, масел і тому подібне.

Процес брикетування алюмінієвої стружки як некомпактної вторинної сировини здійснюють в гарячому і в холодному станах. Гаряче брикетування в Україні не отримало практичного застосування. Холодне брикетування застосовують тільки на машинобудівних заводах. Такі брикети мають недостатню механічну міцність і легко руйнуються при транспортуванні. Термічна стійкість їх також низька. Щільність брикета при імпульсному брикетуванні може досягати  $1700\text{--}2000\text{ кг/м}^3$ . Наявність МОР в сировині сприяє інтенсивній корозії брикетів, тому вони не можуть зберігатися тривалий час. При плавці такого матеріалу потрібна підвищена витрата палива, щоб розплавити більш тугоплавкі шари оксидів.



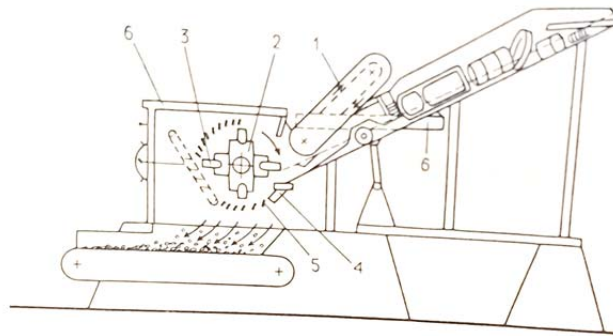
1 – ротор; 2 – молоток-фреза; 3 – вісь молотка;  
4 – заслінка для викиду не подрібнених предметів  
Рисунок 1.4 – Молоткова дробарка фірми «Bekker»

Операція фрагментації призначена для розриву або розрізу пучків в'юноподібної стружки, обрізі та ін. з максимальним розміром початкових пучків до 2000 мм в діаметрі. Продуктом фрагментації є сировина з лінійним розміром частинок до 250 мм. Фрагментація дозволяє надалі видаляти із



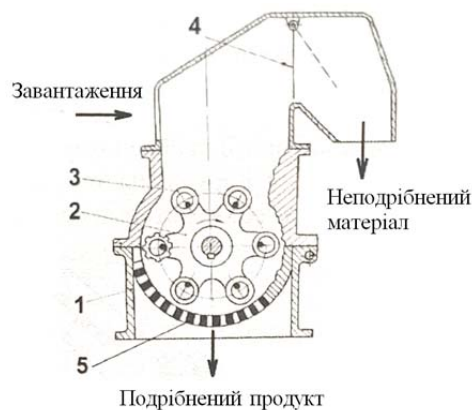
некомпактної сировини предмети, що не дробляться. Так, для фрагментації в'юноподібної стружки застосовують агрегати різних конструкцій: розривні пристрої, комбіновані машини у вигляді пресів пакування з ножицями і ін. Процес дроблення (рис.1.4) некомпактної алюмінієвої стружки забезпечує видалення феромагнітних матеріалів, вологи і масла при подальших операціях.

Для дроблення некомпактної сировини застосовують різноманітні типи дробильного устаткування, що відрізняються конструктивними елементами і техніко-економічними показниками, зокрема, ножові і молоткові дробарки фірми «Vekker» (рис.1.4), фірми «Hammermils» (рис.1.5), СМД-135 (рис.1.6), стружкоподрібнювальні агрегати (рис.1.7) та ін.



- 1 – вузол попереднього стиснення; 2 – ротор; 3 – молотки;  
4 – ріжуча штанга з пазами; 5 – ґрати; 6 – кришка

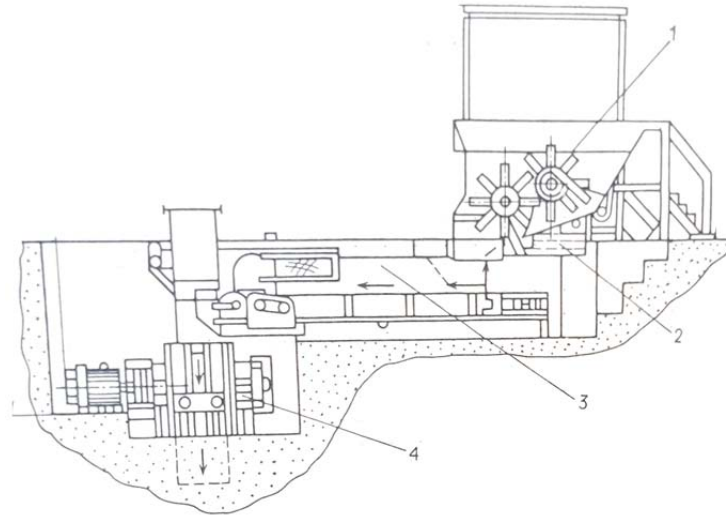
Рисунок 1.5 – Дробарка фірми «Hammermils»



- 1 – корпус; 2 – ротор; 3 – молотки-фрези; 4 – заслінка  
для викиду не подрібнених предметів; 5 – ґрати

Рисунок 1.6 – Молоткова дробарка СМД-135

В даний час для видалення феромагнітних включень із некомпактної сировини застосовують різні типи сепараторів: електромагнітні барабанні з напруженістю магнітного поля на поверхні барабана до 200 кА/м і частоти обертання барабана  $0,8-1,0 \text{ с}^{-1}$ , електромагнітні шайби, шківни.



1 – приймальний бункер; 2 – розривний пристрій;

3 – стрічковий конвеєр; 4 – молоткова дробарка

Рисунок 1.7 – Стружкоподрібнювальний агрегат

ВНШПвторколмет спільно з Гіпромашвуглезбагаченням було розроблено нову технологію і обладнання магнітогідростатичної (МГС) сепарації розподілу змішаної некомпактної стружки на алюмінієвій основі на системи сплавів, з яких можлива виплавка марочних сплавів [4,6,7]. Аналіз існуючих технологій [1,3–8], що застосовуються на підприємствах, для підготовки алюмінієвої стружки як легковагої некомпактної вторинної сировини дозволяє зробити висновок про наявні недоліки:

а) відсутні ефективні засоби для видалення із сировини немагнітних матеріалів, що не дробляться, що приводить до поломки дробильних агрегатів і, отже, викликає необхідність значно (у 3–5 разів) завищувати потужність приводу і підсилювати конструктивні елементи дробарки. Наприклад, фірма «Беккер» (Німеччина) використовує дробарку для некомпактної сировини з потужністю приводу 400 кВт, при цьому максимальний розмір предметів, що

не дробляться, складає тільки 50–60 мм, а маса – до 4 кг. В той же час для подрібнення вторинної сировини без недроблених предметів при тій же продуктивності потрібна потужність приводу дробильного агрегату до 80 кВт;

б) вживані агрегати для фрагментації алюмінієвої стружки як легкової сировини не задовольняють технологічній вимозі отримання сипкого транспортабельного продукту;

в) існуюча практика підготовки алюмінієвої стружки до плавлення передбачає дроблення її в одну стадію. При цьому спостерігається підвищений вміст продукту у вигляді крупних частинок. Усередині таких частинок сировини знаходяться дрібні сталеві включення, землястий бруд і залишки МОР, що приводить при металургійній переробці до збільшення вмісту заліза в сплаві і додаткової витрати флюсу;

г) відсутні агрегати для розділення змішаної алюмінієвої стружки на сплави або групи марок сплавів, близьких по хімічному складу.

### **1.3 Способи сушіння та знежирення стружки кольорових металів**

Для отримання якісних металевих виробів з розплавів, отриманих переробкою стружкових відходів кольорових металів, необхідно заздалегідь очистити стружку від механічного забруднення, залишків змащувальних і охолоджуючих рідин (МОР) і поверхневої оксидної плівки. Для видалення вологи, мастила, залишків МОР з поверхні стружки кольорових і чорних металів відомо наступні способи очищення: механічний, гідрохімічний і термічний.

Механічний спосіб, заснований на відгонянні мастил, емульсій і води за допомогою відцентрових сил, випробувано для алюмінієвої і мідної стружки при утриманні МОР на поверхні матеріалу до 6 %. Залишковий вміст рідини після обробки стружки в спеціальних центрифугах (2-4 %) не забезпечує без досушіння іншими способами можливості використання стружки (титанової, мідної стружки) під час металургійної переробки.

Очищення від поверхневих забруднень в рідких середовищах за допомогою ультразвукових коливань забезпечує високу якість знежирення стружки. Проте через складність устаткування і шкідливий вплив ультразвука на обслуговуючий персонал метод не знайшов промислового застосування.

Вакуумне знежирення економічно виправдане для глибокого очищення титанової стружки при її підшихтуванні для виплавки злитків титану та його сплавів [12].

Гідрохімічний (реагентний) спосіб, що полягає у відмиванні мастила з поверхні стружки миючими розчинами, для титанової стружки вивчено Джонсом М. М., Скрипнюк С. О., Шаповаловою О. М., Богочаровим М. О., Раскіною Р. Д. та ін. достатні повно, і вдосконалення способу продовжується [9,11-14].

У крупнолабораторному масштабі досліджено струменевий і барботаажний варіанти даного способу очищення титанової стружки в лужних розчинах. Як компоненти розчину, що використовуються для гідрохімічного очищення титанової стружки, зазвичай рекомендуються каустична і кальцинована сода, силікат натрію, натрієві солі ортофосфорної і пірофосфорної кислот, а також поверхнево-активні речовини.

Струменеве очищення складається із замочування стружки в гарячому лужному розчині, активної обробки гарячою водою, що подається під тиском, і промивання холодною водою. Ступінь очищення стружки за струменевою технологією достатньо високий і задовольняє вимогам, що висувають до титанових відходів під час їх переробки різними способами. Залишковий вміст вуглецю в стружці досягає 0,04-0,09 %.

Барботаажне очищення складається із замочування забрудненої стружки в лужних розчинах та подальшого промивання з продуванням стислим повітрям (барботування). Процес очищення закінчують шестиразовим промиванням стружки від лужного розчину спочатку гарячою, а потім холодною водою. Використання барботерів як апаратів для промислового очищення титанової стружки характеризується застосуванням ручної праці, періодичністю і малою

продуктивністю технологічного процесу, великими витратами гарячої і холодної води. Цей спосіб придатний для очищення стружки, забрудненої пилоподібними включеннями, та в обмеженому масштабі – для забрудненої мастилом.

У роботі [9] приведено результати дослідження гідрохімічного очищення стружки титанових сплавів ВТЗ-1 і ТС6 від поверхневих забруднень. Встановлено, що гідрохімічне очищення титанової стружки від залишків змащувальних і охолоджуючих рідин в апаратах із механічним перемішуванням є ефективним способом її підготовки для рециркулювання титану. Після знежирення і промивання стружка містила не більше 0,034 % вуглецю.

Гідрохімічне знежирення алюмінієвої стружки полягає в промиванні гарячим лужним розчином у шнекових змішувачах або центрифугах. Після видалення розчину в стружці залишається не більше 0,2 % вологи і мастила. Розчин повертають у процес після очищення від твердих частинок і мастила [4].

Узагальнена характеристика способів сушіння та знежирення стружки кольорових металів надана в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Характеристика способів сушіння та знежирення алюмінієвої стружки

Показник	Механічний спосіб	Гідрохімічне знежирення	Термічне сушіння
Вихідна кількість вологи та мастил у стружці, не більше %	6	20	30
Залишкова кількість вологи та мастил у стружці, %	2–4	0,2	0,1
Особливості способу	Потребує досушування стружки іншими способами	Потребує підігріву лужного розчину до 60–80 °С	Підігрів сушильного агента до 700 °С та охолодження до 150–200 °С після процесу

Термічний спосіб (випал) для знежирення титанової стружки на практиці не отримав застосування через окислення і можливе загоряння стружки. Проте дослідження і вдосконалення цього способу продовжуються. Вакуумне знежирення економічно виправдане для глибокого очищення титанової стружки при її підшихтуванні для виплавки злитків титану та його сплавів.

Термічне знежирення алюмінієвої стружки в сушильних печах отримало найбільше поширення. Перспективним методом стабілізації роботи сушильних установок і підвищення їх продуктивності є попереднє видалення МОР центрифугуванням.

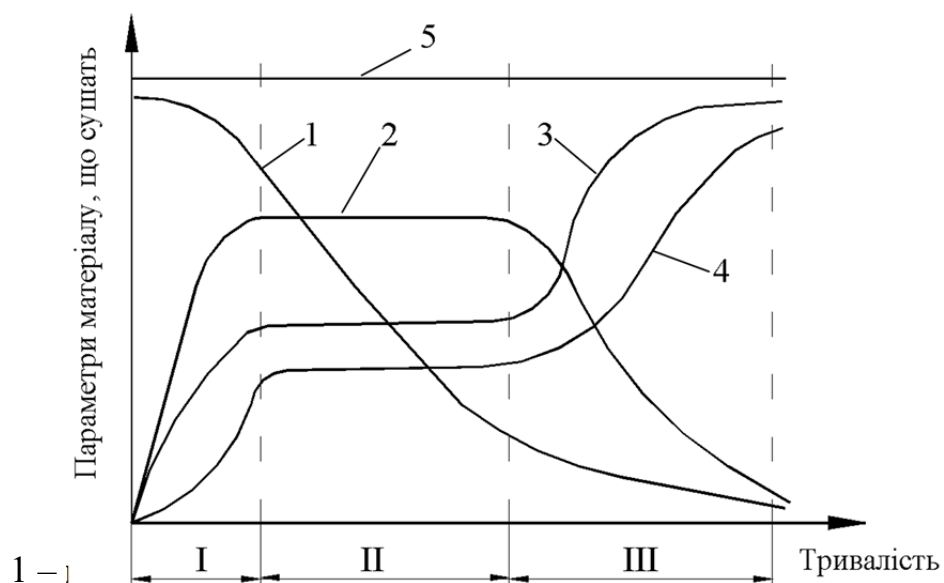
Видаленню МОР із стружки центрифугуванням притаманні такі недоліки: зниження ефективності фільтрувальної поверхні центрифуги через забивання щілин мастилом, брудом, ганчір'ям та іншими матеріалами, присутніми в стружці; швидке зношування підшипників через сильну вібрацію вертикального валу, оскільки рівномірно розподілити стружку по поверхні ротора практично неможливо.

#### **1.4 Технологічні особливості та устаткування для термічного сушіння та знежирення алюмінієвої стружки**

За напрямком руху матеріалу і сушильного агента розрізняють установки прямотечійного і протитечійного типу. У сушарках першого типу матеріал і димові гази рухаються паралельно, в протитечійних сушарках – назустріч один одному. Протитечія є кращою для глибокого сушіння, коли гази з високою температурою, стикаючись з висушеним матеріалом, не спричиняють його запалення. Недоліком протитечії є винесення легких частинок просушеного і сирого матеріалу в камеру завантаження і газохід, де можуть утворюватися відкладення. При прямотечії через загоряння СОЖ на початку робочої камери технологічний процес в сушильному барабані може виявитися некерованим.

Технологія сушіння стружки, як і інших вологих матеріалів, залежить в основному від форми зв'язку води з матеріалом. Зв'язок води і мастила з алюмінієвою стружкою носить механічний характер – рідина на поверхні та в мікропорах утримується в невизначених кількостях. Вибір способу і теплового режиму сушіння металеві стружки обмежується умовами розплавлення і окиснення. Якщо алюмінієва стружка при сушінні нагрівається до температури плавлення, то в результаті пошкодження оксидної плівки можливе утворення “коржів” із кусочків нерозплавленої стружки і оксидів, зв'язаних між собою розплавом. Тому температура сушіння не має перевищувати температуру плавлення матеріалу, що висушується.

Процес видалення води і мастила з поверхні стружки можна поділити на три періоди (рис. 1.8).



що видаляється зі стружки,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; 3 – температура поверхні стружки, що висушується,  $^{\circ}\text{C}$ ; 4 – температура центру стружки, яку сушать,  $^{\circ}\text{C}$ ; 5 – температура сушального агента,  $^{\circ}\text{C}$ ; I, II, III – періоди сушіння

Рисунок 1.8 – Динаміка змін параметрів алюмінієвої стружки під сушіння

У перший період відбувається нагрівання стружки до температури випаровування легких фракцій МОР (протягом якого метал практично не окиснюється) і випаровування вологи з поверхні. Інтенсивність сушіння при цьому невелика, оскільки значна частина теплоти витрачається на нагрівання стружки, а не на видалення вологи і МОР. Явище термовлагопровідності гальмує процес сушіння.

Протягом другого періоду швидкість видалення вологи залишається постійною. Вся теплота, що підводиться, витрачається тільки на випаровування вологи. При цьому температура стружки підтримується на рівні температури випаровування. Відбувається випаровування легких фракцій СОЖ і води, утворення твердого залишку – коксу. Інтенсивність сушіння визначається виключно влагопровідністю.

Протягом третього періоду відбувається видалення коксу, яке супроводжується підвищенням температури, збільшення товщини і погіршення характеристик міцнісних властивостей плівки  $Al_2O_3$ , внаслідок чого інтенсифікується окиснення стружки. При цьому теплота, що підводиться, витрачається не тільки на процес випаровування МОР, але і на подальше підвищення температури стружки. Знову виникає різниця температур по перетину і спостерігається падіння інтенсивності сушіння через зменшення вологості матеріалу і внаслідок виникнення термовлагопровідності. Після закінчення цього періоду видалення вологи з матеріалу, що висушується, практично завершується, і температура його поверхні наближається до температури сушильного агента.

Основне джерело надходження окислювачів в зону технологічного процесу – сушильний агент, в складі якого найбільш активним є кисень. Тому зниження втрат металу на окиснення можна досягти якщо використовувати для сушіння димові гази з вмістом кисню не більше 7–9 %.

Як устаткування для сушіння та знежирення залежно від розмірів і вологості вихідного матеріалу, вимог до вмісту вологи у кінцевому матеріалі та



інших умов застосовують сушарки барабанні, камерні, індукційні, радіаційні та ін. [3,8,14,15].

Барабанні індукційні сушарки призначені для сушіння дрібнозернистого матеріалу, наприклад флюсових солей розміром до 10 мм [7,9]. Сушарка являє собою футерований барабан з зовнішньою трифазною обмоткою, з'єднаною у «зірочку». Матеріал пересувається за допомогою системи лопаток, приварених до внутрішньої поверхні барабана. Пери води і повітря видаляються з барабанної сушарки димовсмотувачем крізь отвір в ущільнювальній пристрої, що з'єднує трубу, що обертається, з нерухомим кожухом гвинтового живильника.

Камерна сушарка призначена для сушіння шматкового брухту та відходів, які потрапляють у сушильну камеру у вагонетках із сітчастими кошиками. Опалення камери виробляють мазутом або газом, які згоряють у топці, змішуються з холодним повітрям і газоходами подають у камеру під візки з кошиками.

У світі в промисловій практиці для термічного сушіння стружки кольорових металів і сплавів на їх основі на підприємствах переважно використовують барабанні сушильні установки продуктивністю 1–5 т/год [3].

Сушильні барабани застосовуються також в промисловості будівельних матеріалів у різних технологічних лініях для теплового сушіння вапняку, глини, піску, крейди та ін. сипких матеріалів великою кількістю частинок до 60 мм.

Так, для сушіння сипких матеріалів топковими газами або підігрітим повітрям конвективним протівідним способом призначений сушильний барабан [14]. Барабан сушильний, наведений на рис. 1.9, продуктивністю 1 кг/год складається з корпусу, наполегливої й опорних опор, привода, бандажів, вінця зубчастого.

Корпус барабана являє собою зварну конструкцію, виготовлену з окремих обичайок. У середині корпусу для активізації передавання тепла залежно від модифікації барабана встановлюються різні типи насадок: гвинтова, для підіймання; лопатна; ланцюгова; секторна.



Рисунок 1.9 – Зовнішній вигляд барабанної сушарки [14]

Барабан встановлюється відносно горизонту під кутом  $1-5^\circ$ . Нахил корпусу в поєднанні з обертанням навколо осі забезпечує переміщення матеріалу в напрямку розвантажувальної камери. Барабан обертається зі швидкістю 8 об за хвилину.

Опорою корпусу є два сталеві бандажу. Один із бандажів має скоси під упірні ролики, які перешкоджають поздовжньому зміщенню барабана. Бандажами корпус спирається на ролики опорні та опорно-упорні. На корпусі барабана за допомогою траверс кріпиться вінець зубчастий, за допомогою якого барабан приводиться у обертання від приводу. Привод складається із шестерні приводного, редуктора й електродвигуна, з'єднаних між собою муфтами та встановлених на одній рамі.

Гарячі топкові гази (до  $\sim 400^\circ\text{C}$ ) або гаряче повітря надходять у корпус і стикаючись із матеріалом нагрівають його, випаровуючи вологу, що міститься в ньому. Передавання тепла відбувається трьома основними способами:

- а) у зваженому стані під час падіння матеріалу з лопаток;
- б) від топкових газів через зовнішню поверхню матеріалу, що лежить у завалі;
- в) від більш нагрітих деталей внутрішнього пристрою барабана й обичайки.

Режими сушіння для різних матеріалів змінюються залежно від вологості сировини на вході в барабан і необхідної вологості готового матеріалу на виході з барабана, фракційного складу матеріалу, що підходить сушиться, властивостей матеріалу.

При первинній переробці брухту та відходів кольорових металів, особливо з впровадженням нових технологічних процесів сортування та оброблення вторинної сировини, виникає необхідність застосування технологічного та допоміжного обладнання для зневоднення та сушіння продуктів, згущення шламів та освітлення оборотних і сточних вод, уловлювання пилу та очищення скиданих у повітря газів.

Таке ж обладнання застосовується для підготовки шлаків і флюсів до подальшої металургійної переробки.

Теплове сушіння брухту і відходів кольорових металів, оборотних шлаків і флюсів відбувається в процесі підготовки складових шихти до її металургійної переробки [8,14]. Допустимий вміст води в шихті, що надходить у переплавлення, не повинен перевищувати 4 %, а флюсів та шлаків 1 %. Фактична ж вологість цих матеріалів у виробничих умовах досягає 10-15 % і більше. Сушінню піддають стружку алюмінієвих та мідних сплавів, брухт і шматкові відходи, флюси, шлаки, відходи та інші продукти.

Операція сушіння є одним із операцій технологічного процесу підготовки сировини до подальшої металургійної переробки. Технічні характеристики ліній термічного сушіння та знежирення стружки приведені в табл.1.3 [17].

Таблиця 1.3 –Технічні характеристики ліній термічного сушіння та знежирення стружки [17]

Параметр	Металева основа стружки	
	алюмінієва	бронзо-латунна
Масова частка у вихідній стружці, %:		
вологи	до 20	10 – 16
МОР	12 – 18	10 – 16
заліза	до 8	до 10
землистих відходів	до 6	до 4
Температура, °С:		
випалення	350 – 400	300 – 350
стружки на вході	до 700	до 750
стружки на виході	до 200	до 210
газів на виході	200	200
Розміри сушильного барабана, м	2,2x12,0 (1,2x8,0)	1,2x8,0 (1,0x9,5)

Так, технологією підготовки алюмінієвої стружки до плавлення передбачаються дроблення, відсівання дрібниць, сушіння, сепарація, знежирення. Сушенню великокускового матеріалу передують видові сортування, сушінню флюсів - дроблення флюсів і т.п.

Забруднена залишками мастил, олив та вологою алюмінієва стружка завантажується в установку за допомогою вібраційного живильника. Під час транспортування в сушило вона додатково зрошується водою та мастилом за допомогою зрошувачів, встановлених над вібраційним живильником.

Велике значення в роботі установки має співвідношення мастил, олив та води у стружці. Стружка з низьким співвідношенням мастил та води або тільки з водою утворює в першій зоні барабана незначну кількість сильно розбавленої масляної пари або тільки водяної пари. У середині барабана цієї зони горіння відсутнє, і тому вмикають форсунку непрямого нагріву для підтримки робочої температури. Для нормалізації теплового режиму в описаному вище випадку стружка зрошується мастилом безпосередньо на вібраційному живильнику для підтримки горіння в першій зоні.

Стружка з високим співвідношенням мастило – вода або така, що містить лише мастило вимагає дуже високої швидкості подачі її в сушарку. Це також

негативно позначається на тепловому режимі та продуктивності установці. Щоб уникнути порушення теплового режиму, у цьому випадку зрошують стружку водою безпосередньо на вібраційному живильнику. Випаровування води, що додається, поглинає надлишок тепла від згоряння пари олії в першій зоні і забезпечує гнучкість у роботі всієї установки.

Бризкалки для мастил та води встановлені безпосередньо над вібраційним живильником і автоматично з'єднані з терморегуляторами першої зони сушарки. За необхідності терморегулятори вмикають бризкалки для зрошування мастилом або водою вихідної стружки, що надходить у барабанну сушарку. Сушіння здійснюється в три стадії: непрямий нагрівання, безпосереднє нагрівання та охолодження. У зведенні топки зони непрямого нагріву є прорізи для розподілу тепла по довжині кожуха барабана. Це тепло йде на підігрів стружки у першій секції установки. Завдяки відновній атмосфері, що підтримується на цій ділянці, окислення стружки виключається, а заданий тепловий режим забезпечує випаровування вологи та олії з поверхні стружки і не призводить до її нагрівання. Нагріта стружка надходить у другу зону, де процес сушіння закінчується. Потім стружка направляється в холодильник (третю зону), де продувається повітрям, що надходить із регульованою швидкістю через жалюзи в розвантажувальній головці барабана. Повітря нагрівається і надходить у другу зону, звідки разом із парами олії та вологи рухається у першу зону. Висушена стружка вивантажується з барабана.

Барабанна сушарка для сушіння стружки кольорових металів є барабаном довжиною до 27 м, діаметром до 3,5 м при співвідношенні діаметра до довжини, що дорівнює від 1/4 до 1/8 [14,17,19]. Барабани з великим значенням співвідношення діаметра до довжини застосовуються для сушіння дрібніших і вологіших продуктів. Для сушіння бронзо-латунної або алюмінієвої стружки застосовуються барабанні сушарки діаметром до 2,2 м, довжиною до 16 м. Швидкість обертання барабана 2-6 об/хв. Кут нахилу у бік розвантаження вбирається у 6°. Для перемішування та транспортування матеріалу до розвантаження барабан оснащують різного виду насадками. Для остаточного

дроблення застосовують навішування якірних ланцюгів. З боку завантажувальної частини барабана є камера спалювання палива (мазуту, газу), в яку вмонтовуються відповідні паливу конструкції форсунок та пальників.

З боку розвантаження барабан примикає до камери вивантаження матеріалу, пов'язаної з камерою допалювання газів димарем і системою газоочищення. Барабан підперезаний масивними кільцями - бандажами, якими спирається на підтримуючі ролики, що обертаються на підшипникових опорах, встановлених на фундаменті агрегату.

Барабани, що застосовуються для сушіння вторинної сировини, відносяться до типу протиточних з прямим теплообміном та безпосереднім дотиком матеріалу з гарячими газами.

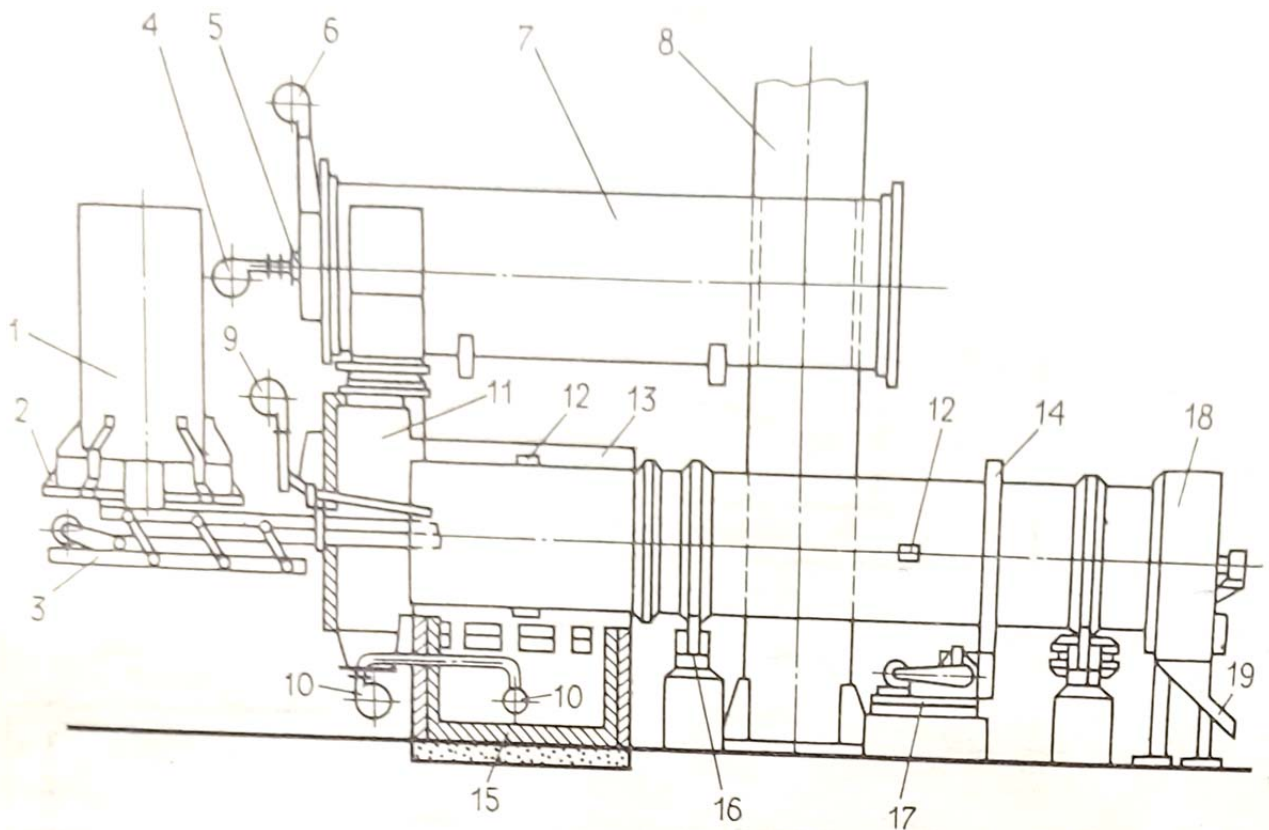
Великий інтерес з точки зору технології сушіння стружки становить установка «Intal», розроблена англійською фірмою «Nevel Dunford» (рис.1.10). На цій установці проводиться видалення вологи та мастил без виділення диму в атмосферу. Вона забезпечена холодильником і камерою допалювання і є горизонтальним барабаном, що складається з трьох секцій [17]:

- перша секція обігривається зовні внаслідок спалювання палива в камері;
- друга секція має теплову ізоляцію у вигляді шамотного футерування;
- третя секція без футерування.

Камера допалювання виконана у вигляді циліндра, футерованого шамотною цеглою, і повідомляється з газоходом першої зони. Обладнана вона форсункою для спалювання рідкого палива або газовим пальником з регульованою подачею вторинного повітря.

Сушарка та камера допалювання працюють на природній тязі, що забезпечується димовою трубою.

Мокра стружка надходить у сушарку з бункера за допомогою тарілчастого вібраційного живильника. Над живильником встановлена система зрошення водою та мастилом.



1 – бункер; 2 – тарілчастий живильник; 3 – вібраційний живильник; 4, 9 – вентилятори первинного повітря; 5, 10 – форсунки; 6 – вентилятор вторинного повітря; 7 – камера опалювання; 8 – димова труба; 11 – газохід; 12 – термопара; 13 – камера нагрівання; 14 – вінцева шестерня; 15 – вентилятор первинного повітря; 16 – опорні ролики; 17 – привід; 18 – розвантажувальна камера; 19 – розвантажувальна течка

Рисунок 1.10 – Установа безокисного сушіння стружки «Intal»

В установці стружка піддається трьом стадіям обробки, що включають непрямий нагрівання стружки з дистиляцією масел і випаром вологи, безпосереднє нагрівання і охолодження стружки.

Зона непрямого нагріву обігривається зовнішньою топкою, звід якої має прорізи для розподілу тепла по довжині кожуха барабана. Тепло від спалювання мазуту використовується для нагрівання стружки першої зони барабана. Щоб уникнути окислення стружки, атмосфера тут підтримується відновлювальною.

Паливоспалюючий пристрій відрегульований таким чином, щоб температура кожуха барабана не перевищувала заданої величини, але при цьому була достатньою для випаровування води та олії зі стружки. Перегрівання стружки не допускається.

У тому випадку, коли в стружці є велика кількість масел, тепла від його згоряння цілком достатньо для знежирення, тому форсунки непрямого нагріву автоматично відключаються.

Друга зона немає зовнішнього обігріву, оскільки тепла стружки, що надходить із першої камери, цілком вистачає закінчення процесу сушіння. Якщо температура кожуха барабана в цій зоні перевищує допустиму, то відключається тарілчастий живильник і припиняється надходження мокрої стружки в сушарку.

Третя зона барабана - холодильник - продувається повітрям, що надходить з регульованою швидкістю через жалюзі в розвантажувальній головці.

Охолоджуючи стружку в холодильнику, повітря нагрівається і надходить у другу зону, з якої він забирає в першу зону пари масел і води, де відбувається часткове спалювання парів масел. Решта суміші спалюється у камері опалювання.



## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Технологічна схема підготовки стружки до металургійної переробки

Вторинна алюмінієва сировина включає близько 76 видів найменувань [8]. Для комплексного використання сировини і зниження втрат при її переробці застосовують складні, багатостадійні технологічні схеми. Компонування конкретної технологічної схеми переробки вторинної алюмінієвої сировини визначається видами використовуваної сировини і застосовуваних плавильних агрегатів. Принципова технологічна схема підготовки алюмінієвої стружки до металургійної переробки шляхом плавлення надана на рисунку 2.1.

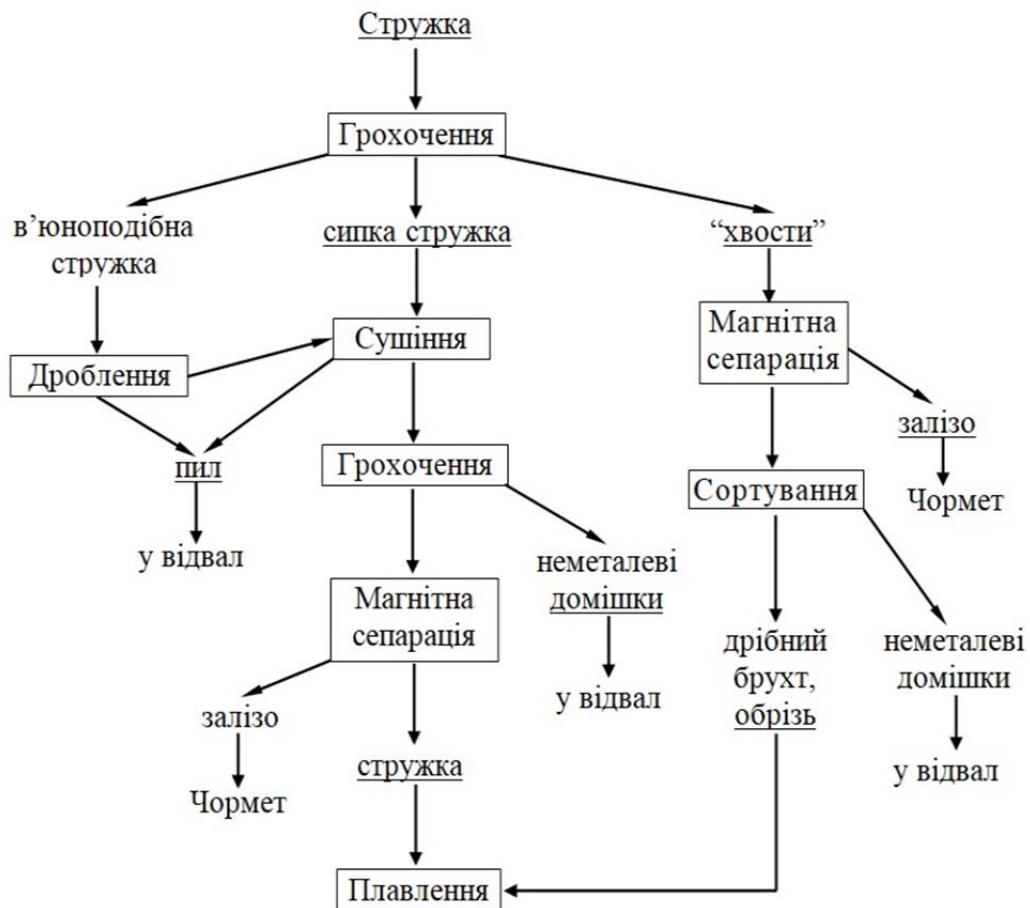


Рисунок 2.1 – Технологічна схема підготовки стружки до плавлення

Підготовка алюмінієвої стружки до металургійної переробки (плавлення) включає такі технологічні операції:

- грохочення для відокремлення в'юноподібної стружки;
- дроблення в'юноподібної стружки;
- сушіння сипкої і подрібненої стружки;
- магнітна сепарація просушеної стружки для видалення залізних включень.

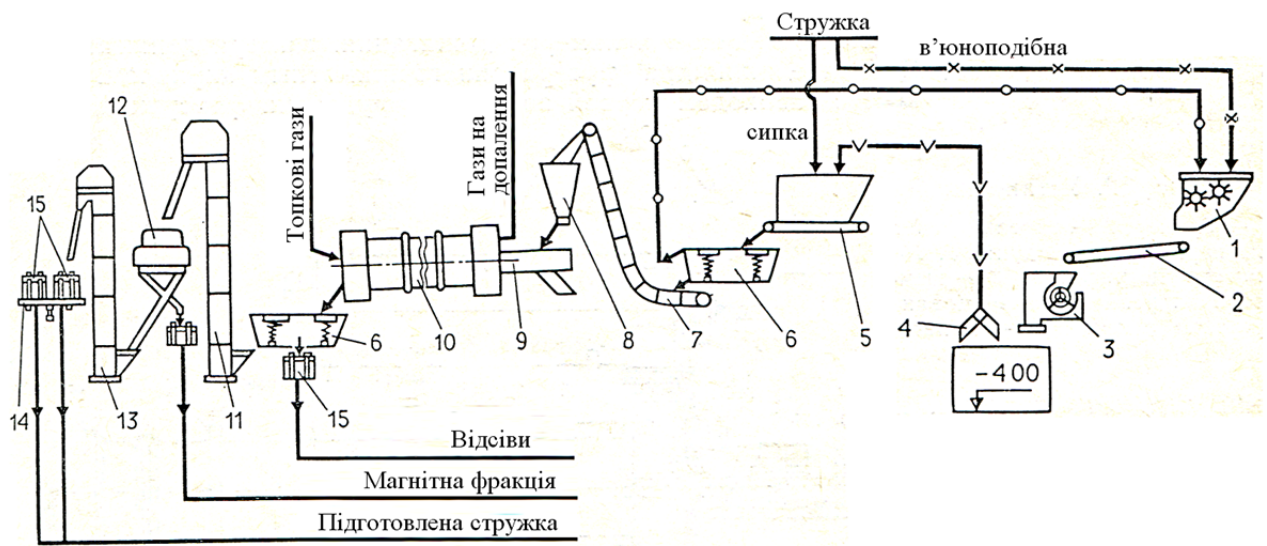
У підготовленій до плавлення стружці залишкова кількість вологи і мастила в сумі не повинна перевищувати 0,1 %, металургійний вихід становитиме не менше 90 %.

## **2.2 Опис технології термічного сушіння алюмінієвої стружки**

Підготовка алюмінієвої стружки до металургійної переробки полягає в дробленні витої стружки, відсіванні сторонніх включень і землистого засмічення (тобто бруду), вилучення феромагнітних включень, видаленні залишків мастил, олив і емульсій, сушінні стружки. Ці операції здійснюють на спеціалізованій установці термічного знежирення та сушіння стружки.

Лінія термічного знежирення та сушіння стружки (рис.2.2) незалежно від типу основного та допоміжного обладнання, а також обраного варіанту його компонування включає такі технологічні вузли з переробки алюмінієвої стружки:

1) вузол приймання сипкої та подрібненої стружки, який складається з приймального бункера з пластинчастим живильником або підвісного бункера з вібраційним живильником. Габарити та ємність приймального пристрою повинні забезпечувати можливість грейферної навантаження та безперервну годинну роботу сушильного агрегату та годинну безперервну роботу сушильного агрегату. При виборі типу та розмірів бункера об'ємна маса алюмінієвої стружки приймається рівною 0,07–0,19 т/м<sup>3</sup> [7];



- 1 – подрібнювальний пристрій; 2 – стрічковий конвейер;  
 3 – молоткова дробарка; 4 – грейфер; 5, 7 – пластинчастий конвейер; 6 – односитовий гуркіт; 8 – дисковий живильник;  
 9 – віброживильник; 10 – барабанна сушарка; 11, 13 – елеватор;  
 12 – магнітний сепаратор; 14 – поворотний стіл; 15 – короб

Рисунок 2.2 – Установа для сушіння алюмінієвої стружки

2) вузол попереднього гуркотіння сировини призначений для відокремлення негабаритних включень та сторонніх предметів від стружки до сушіння. Для цього завдання застосовують вібраційні або інші типи гуркотів з отворами сита 50–100 мм. Також можливе відокремлення землистих відходів класу –3 мм;

3) вузол знежирення та сушіння стружки включає барабанне сушило з камерою допалювання мастильних та інших відгонів, встановлення газопиловлвлення, димососів та труби для виходу очищених газів в атмосферу;

4) вузол контрольного гуркотіння та відсіву окалини, землистих відходів, металевого пилу за класом –3 мм укомплектується вібраційними гуркотами, що мають високий к.к.д. гуркотіння;

5) вузол електромагнітної сепарації призначений для видалення із сухої стружки феромагнітних включень. Операція виконується на електромагнітних сепараторах. Для цього можуть бути використані сепаратори, що допускають нагрівання до 100 °С та обладнані системою пиловловлення та водяного охолодження магнітної системи. В іншому випадку необхідно передбачати штучне охолодження стружки до температури 60 °С, за якої можуть працювати електромагнітні сепаратори звичайного виконання.

Для повнішого очищення магнітної або немагнітної фракції від засмічення стружка піддається контрольній сепарації. При використанні двобарабанних або чотирибарабанних сепараторів така операція передбачена самою конструкцією апарату. Сепаратори однобарабанні при двох стадіях сепарації встановлюються один за одним.

Суха знежирена та відсепарована від залізних включень алюмінієва стружка є товарною продукцією установки для сушіння алюмінієвої стружки.

Транспортні міжвузлові операції в лініях здійснюються за допомогою конвеєрів, елеваторів, жолобів та течок, а за значних відстаней – пневмотранспортом.

Незалежно від конструктивних особливостей та компонування обладнання, товарна стружка після сушіння повинна задовольняти певним вимогам металургійного виробництва. Так, вологість алюмінієвої стружки має бути не більше 1 %, вміст у ній заліза до 0,2 %. Вміст пилу та землистого засмічення – не більше 1 %, вміст мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) – до 0,4 % [2,6-8].

Залізний концентрат магнітної сепарації не повинен містити кольорових металів понад 5 %, а землистих відходів після гуркотіння – понад 10 %.

Установка для сушіння алюмінієвої стружки, надана на рис.2.2, працює таким чином. З бункера 1 конвеєром 2 вихідна стружка подається на гуркіт 6 для попереднього грохочення. Надрешітний продукт у вигляді неподрібненої стружки та сторонніх предметів повертається у подрібнювальний пристрій 1 для розривання на фрагменти. Підрешітний продукт крупністю 50-100 мм

надходить за допомогою пластинчастого конвейера 7 на сушіння в сушильний барабан 10.

Під дією внутрішньої спіральної насадки і завдяки ухилу барабана ( $3-6^\circ$ ) просушена стружка переміщається у бік розвантаження на гуркіт 6 для відсіву окалини, землістих відходів, металевого пилю класу  $-3$  мм.

Підрешітний продукт (алюмінієва стружка класу  $-3$  мм) завантажується в короба, для відправки споживачеві. Надрешітний продукт гуркоту 6 надходить у елеватор 11, яким транспортується в приймальну лійку електромагнітного сепаратора 12.

Топкові гази разом з парами води, мастил і пилоподібних продуктів димососом подаються в камеру допалювання, потім у систему газопиловловлення і після очищення викидаються; у атмосферу.

Електромагнітний сепаратор 12 видає товарну, очищену від заліза алюмінієву стружку та товарний залізовмісний продукт (тобто магнітну фракцію).

Скребковим конвеєром знежирена та висушена стружка транспортується до приймальних коробів 15 для відправки на металургійну переробку (плавлення).

Велике значення в роботі установки має співвідношення мастил, олив та води у стружці. Стружка з низьким співвідношенням мастил та води або тільки з водою утворює в першій зоні барабана незначну кількість сильно розбавленої масляної пари або тільки водяної пари. У середині барабана цієї зони горіння відсутнє, і тому вмикають форсунку непрямого нагріву для підтримки робочої температури.

Для нормалізації теплового режиму в описаному вище випадку стружка зрошується мастилом безпосередньо на вібраційному живильнику для підтримки горіння в першій зоні.

Стружка з високим співвідношенням мастило – вода або така, що містить лише мастило вимагає дуже високої швидкості подачі її в сушарку. Це також негативно позначається на тепловому режимі та продуктивності установці.

Щоб уникнути порушення теплового режиму, у цьому випадку зрошують стружку водою безпосередньо на вібраційному живильнику. Випаровування води, що додається, поглинає надлишок тепла від згоряння пари олії в першій зоні і забезпечує гнучкість у роботі всієї установки.

Бризкали для мастил та води встановлені безпосередньо над вібраційним живильником і автоматично з'єднані з терморегуляторами першої зони сушарки. За необхідності терморегулятори вмикають бризкалки для зрошування мастилом або водою вихідної стружки, що надходить у барабанну сушарку.

### 2.3 Матеріальний баланс сушіння алюмінієвої стружки

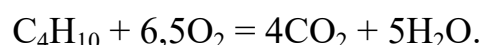
Складаємо матеріальний баланс сушіння 1000 кг алюмінієвої стружки на комплексній установці знежирення та сушіння, якщо вихідна алюмінієва стружка містить 14,0 % води, 6,0 % заліза, 4,5 % мастила; 3,0% неметалевих домішок. Хімічний склад мастила відповідає формулі  $C_4H_{10}$ . Після сушіння стружка містить 0,3 % води. З магнітною фракцією втрачається 0,08 % алюмінію.

Розрахунок проводимо на 100 кг вихідної стружки.

Для створення оптимальних технологічних умов сушіння та підтримання заданого співвідношення вода : мастило = 4 : 1 поверхню стружки під час її завантаження в барабан слід зросити

$$m_1 = 4 \cdot 4,50 - 14,00 = 4,00 \text{ кг води.}$$

Витрату повітря для згоряння мастила визначаємо за реакцією:



Звідки для згоряння 4,50 кг мастила потрібно

$$4,50 \cdot 6,5 \cdot 32/58 = 16,14 \text{ кг кисню}$$

або

17,14:0,21 = 81,62 кг повітря,  
в тому числі 81,62 – 17,14 = 64,48 кг азоту.

При згорянні 4,50 кг мастила утвориться  
4,50·5·44/58 = 13,66 кг CO<sub>2</sub>  
та 4,50·5·18/58 = 6,98 кг H<sub>2</sub>O.

Приймаємо, що на комплексній установці знежирення та сушіння стружки всю кількість заліза з вихідної стружки буде відсепаровано у магнітну фракцію, 1,0 % алюмінію втрачається з димовими газами, 0,1 % алюмінію втрачається з магнітною фракцією.

Тоді з магнітною фракцією втрачається алюмінію відповідно:

$$72,50 \cdot 0,08 / 100 = 0,06 \text{ кг.}$$

В сухій стружці міститься

$$75,164 \cdot 0,3 / 99,7 = 0,266 \text{ кг вологи.}$$

Таким чином, у димові газу надходить

$$14,00 + 4,00 + 6,98 - 0,22 = 24,76 \text{ кг води.}$$

Загальна маса димових газів, що утворюються, складає

$$m_5 = 3,00 + 13,66 + 24,76 + 60,72 = 102,14 \text{ кг.}$$

Для створення оптимальних технологічних умов сушіння поверхню стружки під час завантаження в барабан слід зрошувати 4,00 кг води. Після обробки на комплексній установці знежирення та сушіння 100 кг вихідної алюмінієвої стружки утворюється 72,66 кг сухої стружки, 6,06 кг магнітної фракції, 102,14 кг димових газів. Під час сушіння для згорання мастила витрачається 76,86 кг повітря.

Результати розрахунків матеріального балансу сушіння 1000 кг стружки зводимо у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Матеріальний баланс сушіння алюмінієвої стружки

Надходження		Витрачання	
Речовина	Кількість, кг	Речовина	Кількість, кг
Забруднена стружка, в тому числі:	1000,00	Суха стружка, в тому числі:	726,60
алюміній	725,00	алюміній	724,40
залізо	60,00	волога	2,20
волога	140,00	Магнітна фракція, в тому числі:	60,60
мастило	45,00	алюміній	0,60
неметалеві до- мішки	30,00	залізо	60,00
Повітря, в тому числі:	768,60	Димові гази, в тому числі:	1021,40
O <sub>2</sub>	161,40	неметалеві домішки	30,00
N <sub>2</sub>	607,20	CO <sub>2</sub>	136,60
Вода	40,00	H <sub>2</sub> O	247,60
		N <sub>2</sub>	607,20
Усього	1808,60	Усього	1808,60

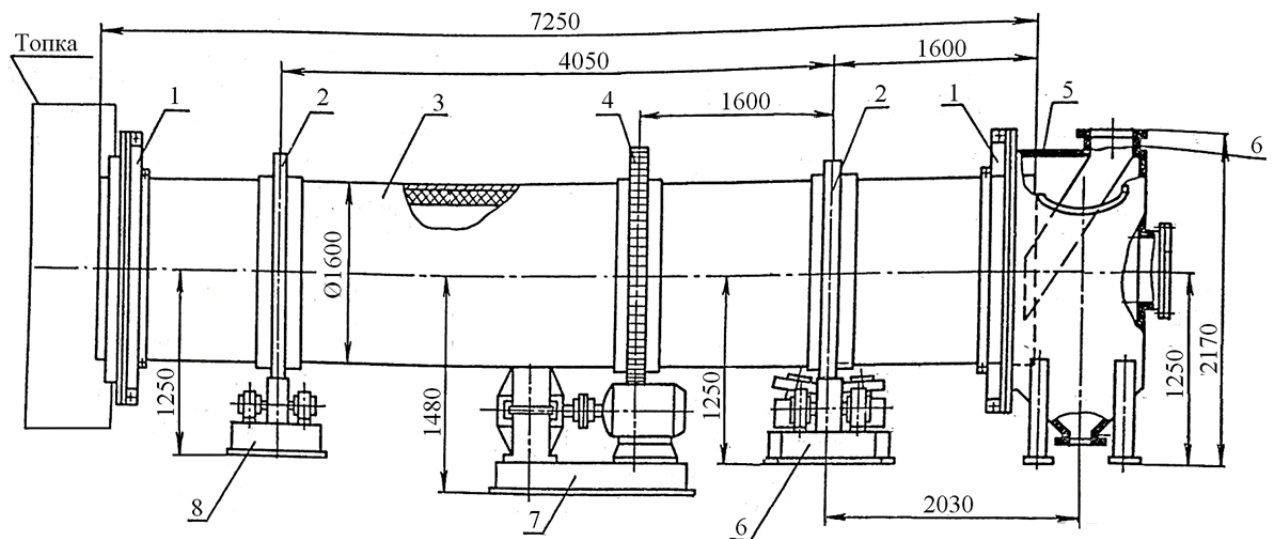
Після сушіння 1 т забрудненої алюмінієвої стружки утворюється 726,6 кг сухої стружки, 60,6 кг магнітної фракції, витрачається на сушіння 40 кг води і 768,6 кг повітря для згоряння мастила.



### 3 КОНСТРУКЦІЙНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Конструкція барабанної сушарки для сушіння алюмінієвої стружки

Барабанна сушарка (рис.3.1) за принципом дії є протитечійною обертовою барабанною піччю для сушіння алюмінієвої стружки.



- 1 – ущільнення розвантажувальної голівки;
- 2 – бандаж; 3 – барабан; 4 – зубчастий вінець;
- 5 – завантажувальна камера; 6 упорно-опорна станція; 7 – привід; 8 – опорна станція

Рисунок 3.1 – Барабанна сушарка для сушіння алюмінієвої стружки

Барабанна піч для сушіння алюмінієвої стружки встановлена у ухилом 3–5 градусів до горизонталі, завдяки чому просушена стружка рухається у бік розвантажувальної голівки 1 барабана 3. Сушильна піч обертається навколо горизонтальної вісі за допомогою приводу 7 (швидкість обертання від 2 до 6 обертів за хвилину). Обертання барабана сприяє руху стружки з верхньої

частини барабана (із завантажувальної голівки 5) до розвантажувальної голівки 1.

Димові гази, що утворюються при спалюванні природного газу у топковому пристрої, рухаються у головну верхню частину барабана назустріч стружці.

### 3.2 Конструктивний розрахунок барабанної сушарки

Визначаємо основні розміри сушильного барабана продуктивністю 1,8 т/год, тривалість сушіння алюмінієвої стружки, а також витрату палива на 1 т сухої стружки, якщо відомо: насипна маса стружки дорівнює  $160 \text{ кг/м}^3$ , дійсна кількість газів у барабані становить  $8140,5 \text{ м}^3/\text{год}$ , масова частка вологи в стружці дорівнює 12,0 % до сушіння та 0,5 % після сушіння, природний газ містить 94,0  $\text{CH}_4$ ; 1,8  $\text{C}_2\text{H}_6$ ; 0,4  $\text{C}_3\text{H}_8$ ; 0,1  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ; 0,1  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ; 0,1  $\text{CO}_2$ ; 3,5  $\text{H}_2\text{S}$ .

Розрахунок проводимо за методикою, наданою в [19]. Приймаємо за практичними даними  $\omega_r = 1,5 \text{ м/с}$ ,  $\varphi = 0,25$  та визначаємо площу поперечного перерізу барабана за формулою:

$$S_{\text{бар}} = \frac{V_r}{(1 - \varphi) \cdot \omega_r},$$

де  $S_{\text{бар}}$  – площа поперечного перерізу барабана,  $\text{м}^2$ ;

$V_r$  – дійсна кількість газів у барабані,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\varphi = V_m/V_{\text{б}}$  – коефіцієнт заповнення барабана  $V_{\text{б}}$  матеріалом  $V_m$ , приймаємо  $\varphi = 0,25$  [19];

$\omega_r$  – припустиме значення швидкості руху газів у вільному перетині на виході з барабана, звичайно знаходиться в межах до 1,5 м/с;

$$S_{\text{бар}} = \frac{8140,5/3600}{(1 - 0,25) \cdot 1,5} = 2,01 \text{ м}^2.$$

Звідки діаметр барабана становить

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,01}{3,14}} = 1,60 \text{ м.}$$

Прийнявши напругу робочого об'єму барабана за вологою, що випаровується,  $A=17 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{год})$ , визначаємо сушильного довжину барабана за формулою [19]:

$$L = \frac{M \cdot (w_n - w_k) / 100}{A \cdot S_{\text{бар}}} = \frac{M \cdot (w_n - w_k) / 100}{A \cdot \pi \cdot D^2 / 4},$$

де  $L$  – довжина сушильного барабана визначається, м:

$M$  – продуктивність сушильного барабана, кг/год;

$w_n, w_k$  – масова частка вологи в стружці до та після сушіння, %;

$A$  – напруга робочого об'єму барабана за вологою, що випаровується,  $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{год})$ ,  $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{год})$ .

$$L = \frac{1800 \cdot (14,0 - 0,3) / 100}{14 \cdot 2,01} = 7,25 \text{ м.}$$

Визначаємо тривалість сушіння стружки в барабані за формулою [19]:

$$\tau = \frac{2 \cdot \rho_{\text{нас}} \cdot \varphi \cdot (w_n - w_k)}{A \cdot [200 - (w_n - w_k)]},$$

де  $\tau$  – тривалість сушіння стружки в барабані, годин;

$\rho_{\text{нас}}$  – насипна маса вологої стружки,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

$$\tau = \frac{1,8 \cdot 160 \cdot 0,25 \cdot (14,0 - 0,3)}{17 \cdot [200 - (14,0 - 0,3)]} = 0,31 \text{ год} = 19 \text{ хв.}$$

Визначаємо кількість вологи, що випаровується:

$$m_{\text{вл}} = 1800 \cdot (14,0 - 0,3) / 100 = 246,60 \text{ кг}$$

або

$$V_{\text{вл}} = 22,4 \cdot 246,60 / 18 = 306,88 \text{ м}^3.$$

Знаходимо кількість димових газів  $V_{\text{дг}}$ , що утворюються під час згорання природного газу:

$$V_{\text{др}} = 8140,5 - 306,88 = 7833,62 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Для визначення годинної витрати палива на сушіння 2,0 т вологої алюмінієвої стружки використовуємо матеріальний баланс згоряння природного газу (див. табл. 3.2). Для горіння 100 м<sup>3</sup> природного газу потрібно 1967,66 м<sup>3</sup> повітря, при цьому утвориться 2067,66 м<sup>3</sup> димових газів (табл.3.1). Визначаємо кількість палива, при згорянні якого утвориться 7833,62 м<sup>3</sup>/год газів:

зі 100 м<sup>3</sup> палива утвориться 2149,09 м<sup>3</sup> димових газів,

з  $x_1$  м<sup>3</sup> палива утвориться 7833,62 м<sup>3</sup> димових газів,

звідки  $x_1 = 379 \text{ м}^3/\text{год.}$

Визначаємо питому витрату палива (природного газу). Кількість сухої стружки становить

$$1800 - 246,60 = 1553,40 \text{ кг.}$$

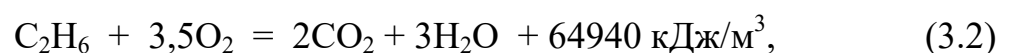
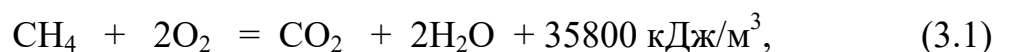
Тоді витрата палива на 1 т сухої алюмінієвої стружки становить:

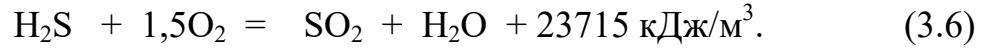
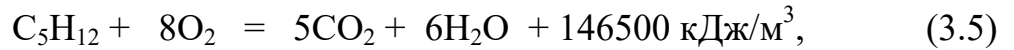
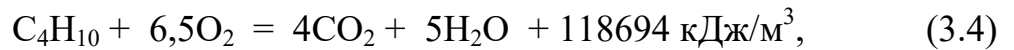
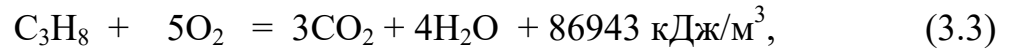
$$379 : 1,553 = 244 \text{ м}^3/\text{т.}$$

### 3.3 Матеріальний баланс горіння палива

Визначаємо витрату повітря, кількість та склад продуктів згоряння палива, нижчу теплоту згоряння палива при спалюванні в плавильній печі природного газу, що містить, %: 94,0 CH<sub>4</sub>; 1,8 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>; 0,4 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>; 0,1 C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>; 0,1 C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>; 0,1 CO<sub>2</sub>; 3,5 H<sub>2</sub>S. Розрахунок проводимо при  $\alpha=1,0$  та  $\alpha=1,06$ . Приймаємо, що газ сухий (0 % H<sub>2</sub>O) та під час розрахунків речовини реагують у стехіометричних відношеннях.

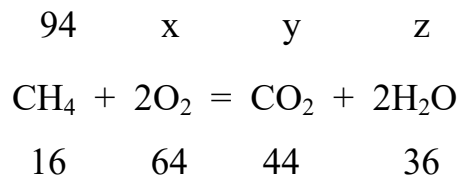
Розрахунок проводимо на 100 м<sup>3</sup> сухого газу за методикою, наданою в [15]. Горіння елементів палива відбувається за реакціями:





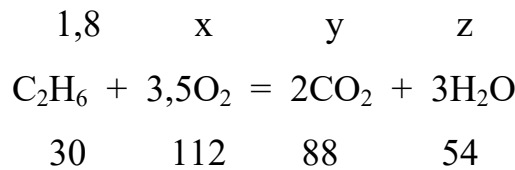
Складові природного газу  $\text{CO}_2$  та  $\text{N}_2$  переходять у димові газы.

Для перебігу реакції (3.1)



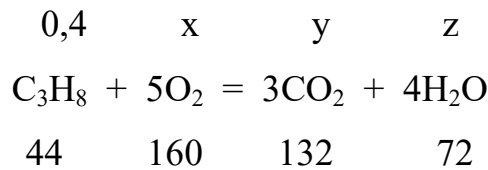
потрібно  $x = 376,00 \text{ м}^3 \text{ O}_2$  і утворюється  $y = 258,50 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$ ,  $z = 211,50 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}$ .

Для перебігу реакції (3.2)



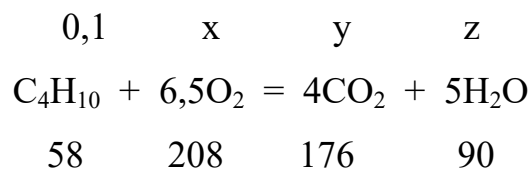
потрібно  $x = 6,72 \text{ м}^3 \text{ O}_2$  і утворюється  $y = 5,28 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$ ,  $z = 3,24 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}$ .

Для перебігу реакції (3.3)



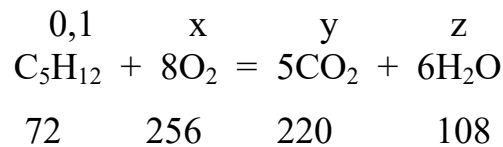
потрібно  $x = 1,45 \text{ м}^3 \text{ O}_2$  і утворюється  $y = 1,20 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$ ,  $z = 0,65 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}$ .

Для перебігу реакції (3.4)



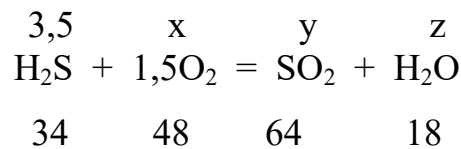
потрібно  $x = 0,36 \text{ м}^3 \text{ O}_2$  і утворюється  $y = 0,30 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$ ,  $z = 0,16 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}$ .

Для проходження реакції (3.5)



потрібно  $x = 0,35 \text{ м}^3 \text{ O}_2$  і утворюється  $y = 0,30 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$ ,  $z = 0,15 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}$ .

Для перебігу реакції (3.6)



потрібно  $x=4,94 \text{ м}^3 \text{ O}_2$  і утворюється  $y=6,59 \text{ м}^3 \text{ SO}_2$ ,  $z=1,85 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}$ .

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

В результаті розрахунку отримано:

– при  $\alpha=1,0$  потрібно  $376,00 + 6,72 + 1,45 + 0,35 + 0,36 = 389,82 \text{ м}^3 \text{ O}_2$ , або теоретична витрата повітря на  $100 \text{ м}^3$  природного газу дорівнює  $389,82:0,21=1856,28 \text{ м}^3$ ;

Таблиця 3.1 – Розрахунок витрати повітря та кількості димових газів

Компоненти, що беруть участь у горінні					
паливо			повітря, $\text{м}^3$		
компонент	кількість, % ( $\text{м}^3$ )	номер реакції горіння	$\text{O}_2$	$\text{N}_2$	всього
1	2	3	4	5	6
$\text{CH}_4$	94,0	(3.1)	376,00	1414,48	1790,48
$\text{C}_2\text{H}_6$	1,8	(3.2)	6,72	25,28	32,00
$\text{C}_3\text{H}_8$	0,4	(3.3)	1,45	5,45	6,90
$\text{C}_4\text{H}_{10}$	0,1	(3.4)	0,36	1,35	1,71
$\text{C}_5\text{H}_{12}$	0,1	(3.5)	0,35	1,32	1,67
$\text{CO}_2$	0,1	–	–	–	–
$\text{H}_2\text{S}$	3,5	(3.6)	4,94	18,58	23,52
Всього, $\alpha=1,0$	100	–	389,82	1466,46	1856,28
Всього, $\alpha=1,06$	100	–	413,21	1554,45	1967,66

Продовження таблиці 3.1

Продукти згорання, димові гази, м <sup>3</sup>					
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	всього
7	8	9	10	11	12
258,50	211,50	1414,48	–	–	1884,48
8,80	5,40	25,28	–	–	33,80
2,40	1,31	5,45	–	–	7,30
0,61	0,31	1,35	–	–	1,81
0,31	0,15	1,32	–	–	1,77
0,90	–	–	–	–	0,10
–	–	18,58	–	6,59	27,02
265,68	217,55	1466,46	–	6,59	1956,28
265,68	217,55	1554,45	23,39	6,59	2067,66

– при  $\alpha=1,06$  практична витрата повітря на 100 м<sup>3</sup> палива дорівнює  $V_n^{1,1}=1967,66$  м<sup>3</sup>, об'єм димових газів складатиме 2067,66 м<sup>3</sup>.

Визначаємо нижчу теплоту згорання природного газу:

$$Q_n^p = \sum_{i=1}^n q_i \cdot c_i,$$

де  $q_i$  – тепловий ефект реакції горіння  $i$ -ого елемента палива, кДж/м<sup>3</sup>;

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

$n$  – кількість елементів у складі палива.

$$Q_n^p = 35800 \cdot 0,94 + 64940 \cdot 0,018 + 86943 \cdot 0,004 + 118694 \cdot 0,001 + \\ + 146500 \cdot 0,001 = 36263,9 \text{ кДж/м}^3.$$

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

Таблиця 3.2 – Матеріальний баланс горіння палива

Надходження			Витрачання		
Стаття	Кількість		Стаття	Кількість	
	%	м <sup>3</sup>		%	м <sup>3</sup>
Природний газ, в т.ч	4,65	100,00	Димові гази, в	100,00	2067,66
CH <sub>4</sub>	4,37	94,00	тому числі:		
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,14	1,80	CO <sub>2</sub>	12,85	265,68
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,04	0,40	H <sub>2</sub> O	10,52	217,55
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,01	0,10	N <sub>2</sub>	75,18	1554,45
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,005	0,10	SO <sub>2</sub>	0,32	6,59
CO <sub>2</sub>	0,04	0,10	O <sub>2</sub> изб	1,13	23,39
SO <sub>2</sub>	0,045	3,50			
Повітря, в тому	95,35	1967,66			
числі: O <sub>2</sub>	20,02	413,21			
N <sub>2</sub>	75,33	1554,45			
Всього	100,00	2067,66	Всього	100,00	2067,66

### 3.4 Тепловий баланс сушіння алюмінієвої стружки

Складаємо тепловий баланс барабанної сушарки для сушіння алюмінієвої стружки та визначаємо витрату природного газу для печі продуктивністю 1,8 т/год. Температура стружки, що завантажується, становить 20 °С. Температура підігрівання повітря становить 250 °С. Температура газів на виході з печі становить 700 °С.

Визначаємо надходження теплоти за методикою, наданою в роботі [20].

1. Теплота від згоряння палива:

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



де  $Q_n^p$  – нижча теплота згоряння природного газу, кДж/м<sup>3</sup>;  
 $B$  – витрата палива, м<sup>3</sup>/год.

$$Q_T = 36263,9 \cdot B \text{ кДж/год.}$$

2. Фізична теплота, що вноситься підігрітим повітрям:

$$Q_n = B \cdot V_n^{1,06} \cdot C_n \cdot t_n,$$

де  $V_n^{1,06}$  – практична витрата повітря на одиницю палива при  $\alpha=1,06$  (табл. 3.2), м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$C_n$  – середня теплоємність повітря при  $t_n$  (табл. А.8 [20]), кДж/(м<sup>3</sup>·°С);

$t_n$  – температура підігрівання повітря, °С.

$$Q_n = B \cdot \frac{1967,66}{100} \cdot 1,3139 \cdot 250 = 6463,271 \cdot B \text{ кДж/год.}$$

3. Загальне надходження теплоти:

$$Q_{np} = Q_T + Q_n + Q_{екз}.$$

$$Q_{np} = 42727,171 \cdot B \text{ кДж/год.}$$

Визначаємо витрачання теплоти.

1. Витрата теплоти на нагрівання та сушіння алюмінієвої стружки:

$$Q_n = G \cdot [C_1 \cdot (t_p - t_n)],$$

де  $G$  – годинна продуктивність печі, кг/год;

$C_1$  – середня теплоємність алюмінію при нагріванні від  $t_n$  до  $t_p$  (табл. А.10 [20]), кДж/(кг·°С):

$$C_1 = (C_{t_n} + C_{t_{пл}}) : 2 = (0,8884 + 1,111) : 2 = 0,9997 \text{ кДж/(кг·°С);}$$

$t_n$  – температура шихти, що завантажується, 20 °С;

$t_p$  – робоча температура у печі, 450 °С.

$$Q_n = 1800 \cdot [0,9997 \cdot (450 - 20)] = 773768 \text{ кДж/год.}$$

2. Втрати теплоти з димовими газами, що виходять з робочого простору печі:

$$Q_{\text{дг}} = B \cdot V_{\text{дг}}^{1,06} \cdot C_{\text{дг}} \cdot t_{\text{дг}},$$

де  $V_{\text{дг}}^{1,06}$  – об'єм димових газів на одиницю спалюваного палива при  $\alpha=1,06$  (табл. 3.2),  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;

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

$C_i$  – середня теплоємність  $i$ -ого продукту згоряння при  $t_{\text{дг}}$ ,  $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$V_i$  – об'ємна частка  $i$ -ого продукту згоряння в димових газах (табл. 3.1);

$$C_{\text{дг}} = 0,1285 \cdot 1,9436 + 0,1052 \cdot 1,5592 + 0,7518 \cdot 1,3172 + \\ + 0,01113 \cdot 1,3796 = 1,4193 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C});$$

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

$$Q_{\text{дг}} = B \cdot \frac{2067,66}{100} \cdot 1,4193 \cdot 700 = 20542,409 \cdot B \text{ кДж}/\text{год.}$$

3. Витрати теплоти в результаті хімічної неповноти згоряння палива:

$$Q_{\text{хим}} = 12100 \cdot B \cdot V_{\text{дг}}^{1,06} \cdot k_1,$$

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

$$Q_{\text{хим}} = 12100 \cdot B \cdot \frac{2067,66}{100} \cdot 0,02 = 5003,74 \cdot B \text{ кДж}/\text{год.}$$

4. Втрати теплоти з механічним недогоранням:

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

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

$$Q_{\text{мех}} = B \cdot 36263,90 \cdot 0,03 = 1087,92 \cdot B \text{ кДж}/\text{год.}$$

5. Втрати теплоти в навколишнє середовище:

$$Q_{нав} = k_3 \cdot G,$$

де  $k_3$  – питомі втрати теплоти, приймаємо 84 кДж/кг.

$$Q_{нав} = 84 \cdot 1800 = 151200 \text{ кДж/год.}$$

6. Невраховані втрати теплоти:

$$Q_{нп} = 0,1 \cdot Q_T,$$

$$Q_{нп} = 0,1 \cdot 36263,9 \cdot B = 3626,39 \cdot B \text{ кДж/год.}$$

7. Загальні витрати теплоти:

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

$$Q_v = 30260,459 \cdot B + 924968 \text{ кДж/год.}$$

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

$$Q_{пр} = Q_v.$$

$$42727,171 \cdot B = 924968 + 30260,459 \cdot B,$$

звідки  $B=379 \text{ м}^3/\text{год.}$

Питома витрата палива  $B_T = 379:1,55=244,5 \text{ м}^3/\text{т.}$

Після підстановки витрати палива одержуємо:

$$Q_T = 2690600 \text{ кДж/год,}$$

$$Q_n = 479542 \text{ кДж/год,}$$

$$Q_{хим} = 371252 \text{ кДж/год,}$$

$$Q_{мех} = 80718 \text{ кДж/год,}$$

$$Q_{ог} = 1542144 \text{ кДж/год,}$$

$$Q_{нп} = 269060 \text{ кДж/год.}$$

Результати розрахунків зводимо в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Тепловий баланс барабанної сушарки

Надходження теплоти			Витрачання теплоти		
Стаття	Кількість		Стаття	Кількість	
	кДж/год	%		кДж/год	%
Теплота від згоряння палива	2690600	84,87	Теплота на нагрівання і розплавлення металу	773768	24,41
Фізична теплота, що внесена підігрітим повітрям	479542	15,13	Втрати теплоти з димов.газами	1524144	48,08
			Втрати теплоти від хімічної неповноти згоряння палива	371252	11,71
			Втрати теплоти з механічним недогоранням	80718	2,54
			Втрати теплоти в навкол. серед.	151200	4,77
			Невраховані втрати теплоти	269060	8,49
Всього	3170142	100,00	Всього	3170142	100,00

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

### **4.1 Шкідливі та небезпечні фактори виробничого середовища під час сушіння алюмінієвої стружки**

Основними шкідливими чинниками під час сушіння алюмінієвої стружки є тепло- і газовиділення, а також неіонізуюче випромінювання. Найбільша кількість теплоти виділяється під час термічного сушіння стружки, менша кількість тепловиділень – під час вивантаження просушеної алюмінієвої стружки та її охолодження.

Джерелом інтенсивних тепловиділень є сушильні печі: топковий пристрій печі. Під час сушіння вторинної сировини температура у барабанній сушарці не більше 1000 °С, але за рахунок вогнетривкої кладки і кожуху печі температура поверхні печі складає близько 30 °С. Основна кількість теплоти виділяється при вивантаженні алюмінієвої стружки з печі, тому цю операцію слід проводити з використанням допоміжних щипців у спеціальних захисних рукавицях, а також теплота виділяється під час охолодження стружки.

Під час первинної обробки вторинної алюмінієвої сировини та її сушіння для подальшої металургійної переробки і отримання алюмінієвих розплавів, 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.

При неповному згорянні палива у топковому пристрої та мастил в повітрі робочої зони може бути присутнім монооксид вуглецю, пари олів та ін.

Джерелами шуму є крани, вентилятори, дробарка, гуркіт, привід сушарки, вентилятори та ін.

Для поліпшення умов праці і захисту працюючих від теплової дії та виділення топкових газів і газів від сушіння стружки передбачено наступні

заходи: теплоізоляція, механічна вентиляція, природна аерація, спецодяг і засоби індивідуального захисту плавильників.

Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які супроводжують сушіння алюмінієвої стружки під час первинній обробки алюмінієвої стружки надано в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів

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

Для захисту від дії шкідливих хімічних речовин передбачена механічна вентиляція (зонти над завантажувальними отворами і розвантажувальною головкою барабанної сушарки) та природна аерація. На роботах зі шкідливими умовами праці, а також в особливих температурних умовах повинні бути використаними засоби індивідуального захисту печевих, що обслуговують барабанні сушарки (бавовняний костюм, нарукавники, рукавиці гумові, рукавиці бавовняні, захисні платмасові щитки).

## **4.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів виробничого середовища**

На ділянці сушіння алюмінієвої стружки для запобігання вибухові заборонено користуватися відкритим полум'ям для пошуку місць витікання газу. Якщо в приміщенні чути сильний запах газу, заборонено запалювати вогонь, а також вмикати та вимикати електрообладнання. Для запобігання вибухові перед розпалюванням барабанної сушарки необхідно протягом 5 хв провентилювати камеру печі для сушіння стружки повітрям, яке подавати в топковий пристрій від дуттьового вентилятора крізь пальники.

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

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

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

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

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

На ділянці згідно з нормами ОНТП 24-86 є наступні первинні засоби пожежогасіння: в електроустановках - вогнегасники вуглекислотні ОУ-2, ОУ-5 та ОУ-8, пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з сухим піском, совкові лопата) і пожежний інструмент (багри, ломи, сокири та ін.); в інших приміщеннях цеху - вуглекислотні і порошкові вогнегасники; пожежні крани укомплектовані рукавами і стовбурами для передачі води на гасіння пожежі; пожежні щити укомплектовані відрами, лопатами, баграми, ломами, вогнегасниками ОХП-10, ящиками з сухим піском; в кабельному тунелі змонтована станція виявлення пожежі.

Ефективність пожежогасіння, в першу чергу, визначається правильним вибором вогнегасних засобів. Для гасіння пожеж застосовують воду, легко-механічну або хімічну піну, діоксид вуглецю, порошкоподібні солі вугільної кислоти, азбест, пісок та ін. Виробниче приміщення обладнано електричною системою сповіщення про пожежу.

Виробничі приміщення і місця зберігання вибухонебезпечних і пожежонебезпечних речовин повинні відповідати вимогам пожежної безпеки згідно з ГОСТ 12.1.004, вибухобезпечності згідно з ГОСТ 12.1.010 і повинні бути обладнані знаками пожежонебезпечності згідно з ГОСТ 12.4.026, засобами пожежогасіння згідно з ГОСТ 12.4.009 і пожежною сигналізацією [22,23].

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

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

б) герметизацію апаратури і комунікацій.

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



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

Не допускають наявності сторонніх вибухонебезпечних предметів (сторонніх вибухонебезпечних речовин) у металобрухті. Підприємства й організації, що заготовляють, переробляють і переплавляють брухт та відходи кольорових металів і сплавів, а також які відвантажують або перевантажують металобрухт у портах та інших пунктах, повинні [22]:

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

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

Усі роботи з виявлення і знищення вибухонебезпечних предметів (речовин) необхідно проводити відповідно до вимог ДНАОП 0.00-1.17 і ДНАОП 1.2.00-5.01 [23].

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

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

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

Перед початком роботи з видалення вибухонебезпечних предметів робітники повинні бути проінструктовані у встановленому порядку про запобіжні заходи під час проведення цих робіт. Роботу виконують після оформлення наряду-допуску на проведення робіт [23].

Під час передачі алюмінієвої стружки і відходів на ділянку сушіння контролер повинен робити позначку щодо вибухобезпечності шихти у документах на кожну партію.

Алюмінієві брухт і відходи та знешкоджені предмети повинні відповідати таким вимогам [7]:

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

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

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

4) ракетні двигуни, порохові газогенератори і порохові акумулятори тиску повинні бути звільнені від піропатронів, порохових зарядів, пальників та інших вибухонебезпечних елементів;

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

6) місткості всіх типів і розмірів (балони, бочки тощо) повинні бути очищені від вмісту (у тому числі від атмосферних осадів) і доступні для огляду внутрішньої поверхні. Горловини балонів повинні бути відкриті, а на їхньому корпусі має бути прорізано другий отвір. Кришки і днища бочок та інших місткостей повинні бути розкриті;

7) банки, цистерни і резервуари з-під кислот і паливних речовин повинні

бути промиті водою або спеціальними лужними розчинами.

Для захисту людини при дотику до будь-яких металевих частин для печі сушіння алюмінієвої стружки застосовують захисне заземлення електропечі. Після ремонту або тривалого простою печі перевіряється стан заземлення. Норма захисного заземлення 4 Ом.

Засоби індивідуального захисту від поразки електричним струмом поділяють на основні й додаткові. До основних засобів відносять засоби, ізоляція яких може надійно витримувати робочу напругу агрегату і такі, за допомогою яких можна торкатися струмоведучих елементів печі під напругою, – діелектричні рукавички; інструмент із ізольованими рукоятками (викрутки, молотки з дерев'яними рукоятками, пасатижі тощо); покажчики напруги. До додаткових відносять засоби, що ізолюють та які самі не можуть забезпечити безпеку від поразки електричним струмом, але у свою чергу призначені для посилення дії основних засобів – діелектричні гумові килимки; дерев'яні містки [22].

### 4.3 Розрахунок блисковкозахисту ділянки сушіння стружки

До аварій і пожеж може привести струм лінійної блисковки, який обумовлює електромагнітну, теплову і механічну дії на об'єкт, через який проходить розряд електрики. Статистичні дані про шкоду, нанесену блискавками, та високу грозову діяльність на даній території обумовлюють необхідність вживання блисковкозахисту приміщень і споруд.

З метою попередження прямого удару і другорядних проявів блисковок, будівлю ділянки сушіння пропонується обладнати системами блисковкозахисту. Розглянемо ділянку сушіння.

Схема ділянки зображена на рисунку 4.1.

Розміри ділянки:  $h_x = 37$  м,  $r_x = 25$  м.

Вибираємо тип блисковковідводу: одинарний стержневий блисковковідвід, який складається з одного стержневих блисковковідвода.

Оскільки будівля без змінної висоти, то приймаємо що блискавковідвід встановлений на найвищій точці будівлі. Зона захисту – А, отже, зона захисту має надійність 99,5 %. Радіус зони захисту блискавководу  $r_0$  визначається по формулі [23]:

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot h) \cdot h, \quad (4.1)$$

де  $r_0$  – ширина внутрішньої області зони захисту; визначається по формулі:

Визначимо висоту блискавководу:

$$h = p - \sqrt{p^2 - q} \quad (4.2)$$

де  $h$  – висота блискавководу над землею, м.

Знайдемо висоту зони захисту над землею в середині під блискавководом, м:

$$h_0 = 0,85 \cdot h = 56,02. \quad (4.3)$$

Радіус зони захисту на висоті  $h_x$  для такого виду блискавководу дорівнює мінімальну ширину зони захисту, тобто  $r_x = 25$  м.

Вирішимо рівняння:

$$p = 275 + \frac{h_x}{1,7} = 296,764 \quad (4.4)$$

$$q = \frac{r_x + 1,294 \cdot h}{0,002} = 31865 \quad (4.5)$$

Таким чином, згідно формулі (4.2) висота блискавководу становитиме, м:

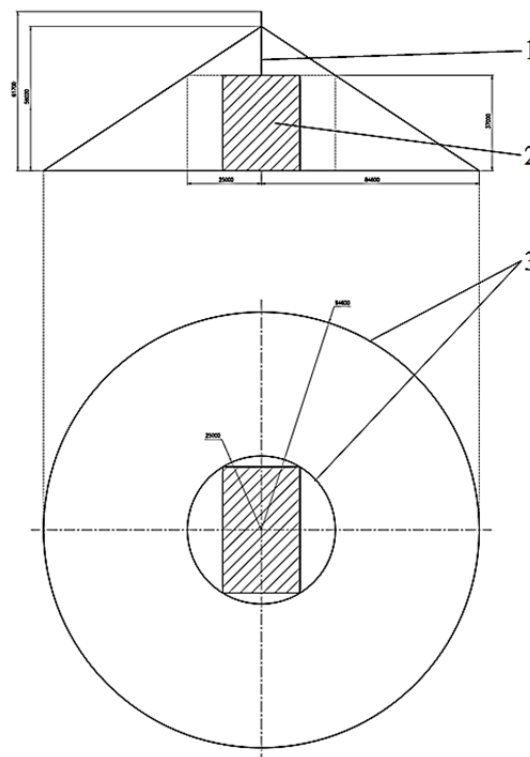
$$h = p - \sqrt{p^2 - q} = 296,764 - 237,074 = 61,7.$$

Визначимо радіус зони захисту блисковідводу по формулі (4.1):

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot h) \cdot h = 84,6 \text{ м.}$$

На рисунку 4.1 показана зона захисту одинарного стрижневого блисковвідводу.

Будинок входить в зону захисту, отже обраний одинарний стрижневий блисковвідвід забезпечить необхідний блисковкозахист.



1 – будівля ділянки сушіння; 2 – стрижневий блискавковідвід;

3 – кордон зони захисту на рівні землі

Рисунок 4.1 – Розрахункова схема блисковкозахисту ділянки сушіння стружки

Будинок входить в зону захисту (це видно з розрахунків), значить обраний згідно [23] одинарний стрижневий блискавковідвід забезпечить необхідний блисковкозахист.

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано джерела утворення та особливості стружкових відходів кольорових металів. Надана класифікація та характеристика різних видів алюмінієвої стружки. Ступінь забруднення стружки мастилом, вологою і неметалевими домішками залежить від її товщини, пори року, терміну зберігання на складах і тривалості транспортування її з металообробних підприємств на металургійні. При зберіганні на відкритому повітрі сумарний вміст води і мастил може досягати 20–30 %.

2. Проаналізовано особливості первинної обробки та підготовки алюмінієвої стружки до металургійної переробки, способи сушіння та знежирення стружки. Для стружки кольорових металів, яка забруднена емульсією та мастилом, а найчастіше і залізом за рахунок стирання ріжучого інструменту зазвичай виконують знежирення та сушіння стружки, як спільні операції. Проаналізовано способи сушіння і знежирення стружки кольорових металів. У світовій промисловій практиці найбільшого поширення набуло термічне сушіння алюмінієвої стружки в сушильних печах.

3. Проаналізовано теоретичні основи і технологічні особливості термічного сушіння алюмінієвої стружки. Як устаткування для сушіння та знежирення залежно від розмірів і вологості вихідного матеріалу, вимог до вмісту води у кінцевому матеріалі та інших умов застосовують сушарки барабанні, камерні, індукційні, радіаційні та ін. Розроблена технологічна лінія термічного сушіння та знежирення алюмінієвої стружки. Описано основні операції переробки алюмінієвої стружки та технологія сушіння стружки

4. Складено матеріальний баланс сушіння алюмінієвої стружки та визначено витратні коефіцієнти. Після сушіння 1 т забрудненої стружки утворюється 726,6 кг сухої стружки, 60,6 кг магнітної фракції, на сушіння витрачається 768,6 кг повітря для згорання мастила.

5. Виконано конструктивний розрахунок протитечійної барабанної сушарки. Складено тепловий баланс сушіння алюмінієвої стружки і визначено питому витрату палива.

6. Проведено аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів ділянки сушіння алюмінієвої стружки. Розроблено заходи щодо поліпшення умов праці. Виконано розрахунок блисковкозахисту та обрано одинарний стрижневий блискавковідвід, що здатний забезпечити необхідний блисковкозахист ділянки сушіння стружки.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Kircher G. Aluminium scrap as vital source of aluminium supply. *Erzmetall*. 2019. V.64. №4. P.210–212.
2. ДСТУ 3211:2009 / ГОСТ 1639:2009. Брухт і відходи кольорових металів і сплавів. Загальні технічні умови.. [Чинний від 2009-12-25]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 80 с. URL: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu\\_3211\\_2009\\_gost\\_1639\\_2009.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_3211_2009_gost_1639_2009.pdf) (дата звернення: 11.04.2024).
3. Kevorkjjan 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.
4. Greenawalt K. Think aluminium, think sustainability. *Aluminium International Today*. 2005. Vol. 17. №3. P.24,26.
5. Верховлюк А. М., Нарівський А. В., Могилатенко В. Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб. / за ред. акад. НАН України В. Л. Найдека. Київ : Видавничий дім “Вініченко”, 2016. 224 с.
6. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник / Д. Ф. Чернега та ін. ; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.
7. Nikolay A. Belov, Dmitry G. Eskin and Andrey A. Aksenov. *Multicomponent Phase Diagrams : Application for Commercial Aluminum Alloys*. Elsevier, 2005. 413 p.
8. Нестеренко Т. М., Нестеренко О. М., Колобов Г. О., Грицай В. П. Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини : навч. посіб. Київ : Вища школа, 2007. 207 с.
9. Nesterenko T. M., Nesterenko O. M. Degreasing of titanium chips for production of titanium powders by hydrometallurgical deoxidation method. *SWorld Journal*. 2017. Issue 13. P. 220–223. URL: <http://www.sworldjournal.com/e-journal/j13.pdf> (дата звернення: 21.04.2024).
10. Nesterenko T. M. Modern state and technologies of titanium alloys production. *Innovation in der modernen Wissenschaft : monografische Reihe «Europäische Wissenschaft»*. Buch 12. Teil 1. Karlsruhe, 2022. S. 5,8–34,165–167.



11. Нестеренко Т. М., Нестеренко О. М. Дослідження впливу попередньої обробки поверхні стружки титанових сплавів на вибір подальшої технології рециркулювання. Інноваційні підходи до розвитку техніки і технологій. В 2 кн. Кн.2 : монографія. Одеса, 2015. С. 76–88.
12. Вакуумне знежирення поверхні титанових пластин / В. М. Шувалаєв та ін. *Металургія*. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. Вип. 3(28). С.156–160.
13. Нестеренко Т. М. Технологічні особливості знежирення титанової стружки. *Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра* : матеріали XIII Всеукр. науково-практ. конф., Київ, 21квітня 2015 р. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. С.673–678.
14. Барабанний гуркіт : пат. 51161 Україна. МПК В 07 В 1/18. №2002010537; заявл.22.01.02; опубл. 15.11.02, Бюл. № 20. 3 с.
15. Сепаратор для поділу сипучих, грудкових і вьюноподібних матеріалів із їх суміші : пат. 65146 Україна : МПК В 07 В 1/22. №2003065297; заявл.09.06.03; опубл. 15.03.04, Бюл. №3. 3 с.
16. Сушарка барабанна : ТОВ «Сангрей». URL: <https://sandgray.com.ua/ua/p1517694126-sushilka-dlya-peska.html> (дата звернення: 21.04.2024).
17. Лінія для сепарації мідьвмісної стружки : пат. 7751 Україна : МПК В 07 В 1/22. №20041008131; заявл.07.04.04; опубл. 15.07.05, Бюл. №7. 4 с.
18. Bredikhin V., Shevelev A., Stadnik L. Automatization of Non-Ferrous Scrap Classification. XVII International Mineral Processing Congress. Drezden. 2001.
19. Bredikhin V., Shevelev A., Mirovich I. Intensification of Non-Ferrous Turnings Preparation for Metallurgical Processing XXII International Mineral Processing Congress. Cape Town. : South Africa, 2003. P. 450–452.
20. Нестеренко Т. М. Виробництво алюмінієвих сплавів із рудної та вторинної сировини : метод. вказівки до практичних занять. Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 40 с.
21. Нестеренко Т. М. Металургія легких металів : метод. вказівки до виконання курсової роботи. Запоріжжя : ЗДІА, 2004. 48 с.
22. Гандзюк М. П., Желібо Е. П., Халимовський М. О. Основи охорони праці : підручник. Київ : Каравела, 2005. 393 с.
23. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник. Львів : Афіша, 2002. 318 с.