

ВИПЛАВЛЯННЯ ЛИВАРНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ З ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ

1 Підготовка вторинної алюмінієвої сировини до плавлення

Відходи виробництва і споживання напівфабрикатів з алюмінію й алюмінієвих сплавів є металургійною сировиною і розглядаються як вторинні матеріальні ресурси кольорової металургії.

Терміни і визначення вторинної кольорової металургії встановлені ДСТУ 3211–95 (ГОСТ 1639–93) «Брухт і відходи кольорових металів і сплавів», що зобов'язує застосовувати їх у науці, техніці і виробництві.

Вторинні ресурси – весь обсяг відходів, що утворюються в сфері матеріального виробництва й у невиробничій сфері.

Потенційні вторинні ресурси – весь обсяг відходів, що утворюються в сферах виробництва і споживання, крім безповоротних втрат.

Відходи виробництва – залишки сировини, матеріалів і напівфабрикатів, що утворилися в процесі виробництва і частково або цілком втратили початкові споживчі якості та не відповідають стандартам.

Відходи споживання – це колишня готова продукція, яка була в споживанні або експлуатації і через фізичне або моральне зношення втратила свої споживчі якості і не використовується за прямим призначенням.

Відходи виробництва і споживання діляться на:

- **відходи, що утилізуються** – відходи, для яких існує технологія переробки, залучення їх в колообіг;
- **відходи, що не утилізуються** – відходи, для яких відсутня технологія переробки або за наявності технології утилізації залучати їх в колообіг економічно недоцільно.

Брухт кольорових металів – вироби й матеріали, що стали непридатними або що втратили експлуатаційну цінність.

Відходи кольорових металів – відходи при виробництві виробів, а також непоправний брак.

Брутто брухту і відходів кольорових металів – загальна маса брухту і відходів із забрудненням (засміченістю).

Нетто брухту і відходів кольорових металів – маса брухту і відходів без забруднень (засміченості).

Низькоякісні брухт і відходи – брухт і відходи, що не відповідають вимогам сортів основних груп.

Складний брухт – брухт з'єднаних виробів або їхніх частин із двох чи більшого числа кольорових металів і сплавів.

Грудковий брухт – оброблений брухт кольорових металів і сплавів, а також виробів із них, габарити яких не перевищують установлених нормами.

Відвальні відходи – відходи, що утворюються у виробництві, подальша переробка яких економічно недоцільна.

2 Класифікація алюмінієвих відходів і брухту

Класифікація відходів – поділ відходів за фізичними, хімічними властивостями і якістю. Відходи поділяють на класи, групи і сорти.

Клас – класифікаційна група, що об'єднує відходи за фізичними ознаками (наприклад, клас А – брухт і кускові відходи, клас Б – стружка, клас Г – шлаки).

Група – об'єднує відходи за хімічним складом та марками сплавів (наприклад, група I – алюміній нелегований, група II – сплави алюмінієві, що деформуються, з низьким вмістом магнію).

Сорт – об'єднує відходи за ознаками якості.

За джерелами утворення відходи виробництва можна розподілити на:

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

За способом використання відходи поділяють на:

- **поточні** утворюються на підприємствах у процесі виробництва та підлягають здаванню заготівельним організаціям;
- **зворотні** використовуються на підприємствах, де вони утворюються;
- **відвальні**, або відходи, що не переробляють;
- **безповоротні втрати** – це відходи, що утворюються внаслідок корозії, стирання, чистої механічної обробки, угару металу, незібрані відходи.

За фізичними ознаками відходи підрозділяються на:

- вибухонебезпечні;
- знешкоджені;
- габаритні;
- легковагові;
- грудкові відходи;
- стружка.

Стружка розподіляється на *в'юноподібну* (із довжиною витка більше 0,1 м), сипку (із довжиною витка менше 0,1 м) і *змішану*, низькоякісну, що складається із суміші в'юноподібної і сипкої стружки і стружки, що містить сторонні включення.

Перед розливанням алюмінію й алюмінієвих сплавів із поверхні рідкого алюмінію періодично збирають ложкою, друшляком або шкребком шар оксидної плівки, захоплюючи при цьому значну кількість металу. Зчищену оксидну плівку складають у ємності різної конфігурації. Безформні брили пористого металу, що утворюються, називають *зйомами*.

Зйоми поділяють на два типи: **грудкові** (містять 45...80 % вільного неокисленого металу) або порошкоподібні (містять 10...20 % вільного металу у вигляді корольків і безформних невеликих шматків). Грудкові зйоми називають багатими, порошкоподібні зйоми – бідними.

Відходи споживання (брухт) за джерелами утворення укрупнено поділяють на три групи:

1. Брухт промисловий, транспортний і сільськогосподарський (машини, устаткування, деталі, вироби).
2. Брухт військовий (літаковий, корабельний, ракетний і ін.).
3. Брухт побутовий (предмети домашнього побуту, що утворюються у населення).

Аналогічно відходам виробництва відходи споживання (брухт) поділяють за фізичними ознаками на:

- вибухонебезпечні;
- знешкоджені;
- габаритні;
- негабаритні;
- легковагові (літаковий брухт, брухт виробів з листового прокату);
- важкі – брухт із високою об'ємною густиною (брухт литва і кувань);
- складні – брухт з'єднаних виробів або їхніх частин із двох або більше кольорових металів і сплавів.

Випробування брухту і відходів – добір і підготовка проби для визначення засміченості, металургійного виходу і хімічного складу брухту і відходів.

Приробки – деталі з інших матеріалів, металів, сплавів, що відрізняються за хімічним складом від алюмінієвого брухту, з яким вони з'єднані механічними конструкційними елементами (болти, гайки, шпильки й ін.).

Первинна обробка брухту і відходів – сортування, розбирання, піротехнічний контроль і приведення брухту і відходів до відповідної маси і розмірів.

Розбирання брухту і відходів – звільнення основного металу від засміченості, а також приведення до маси і розмірів, зручних для подальшої переробки.

Сортування – поділ брухту і відходів на класи, групи, сорти, марки сплавів.

Підготовчий сплав – сплав, отриманий при переплавлянні низькоякісного брухту і відходів і призначений для підшихтовки при виробництві стандартних сплавів.

3 Принцип створення та елементи побудови технологічної схеми переробки вторинної алюмінієвої сировини

Вторинна алюмінієва сировина включає 76 видів найменувань. Для того щоб комплексно використовувати сировину і знизити втрати при її переробці застосовують складні, багатостадійні технологічні схеми. Компонування конкретної технологічної схеми переробки вторинної алюмінієвої сировини визначається видами використовуваної сировини і застосовуваних плавильних агрегатів. Технологічна схема підготовки стружки до плавлення приведена на рис. 1.

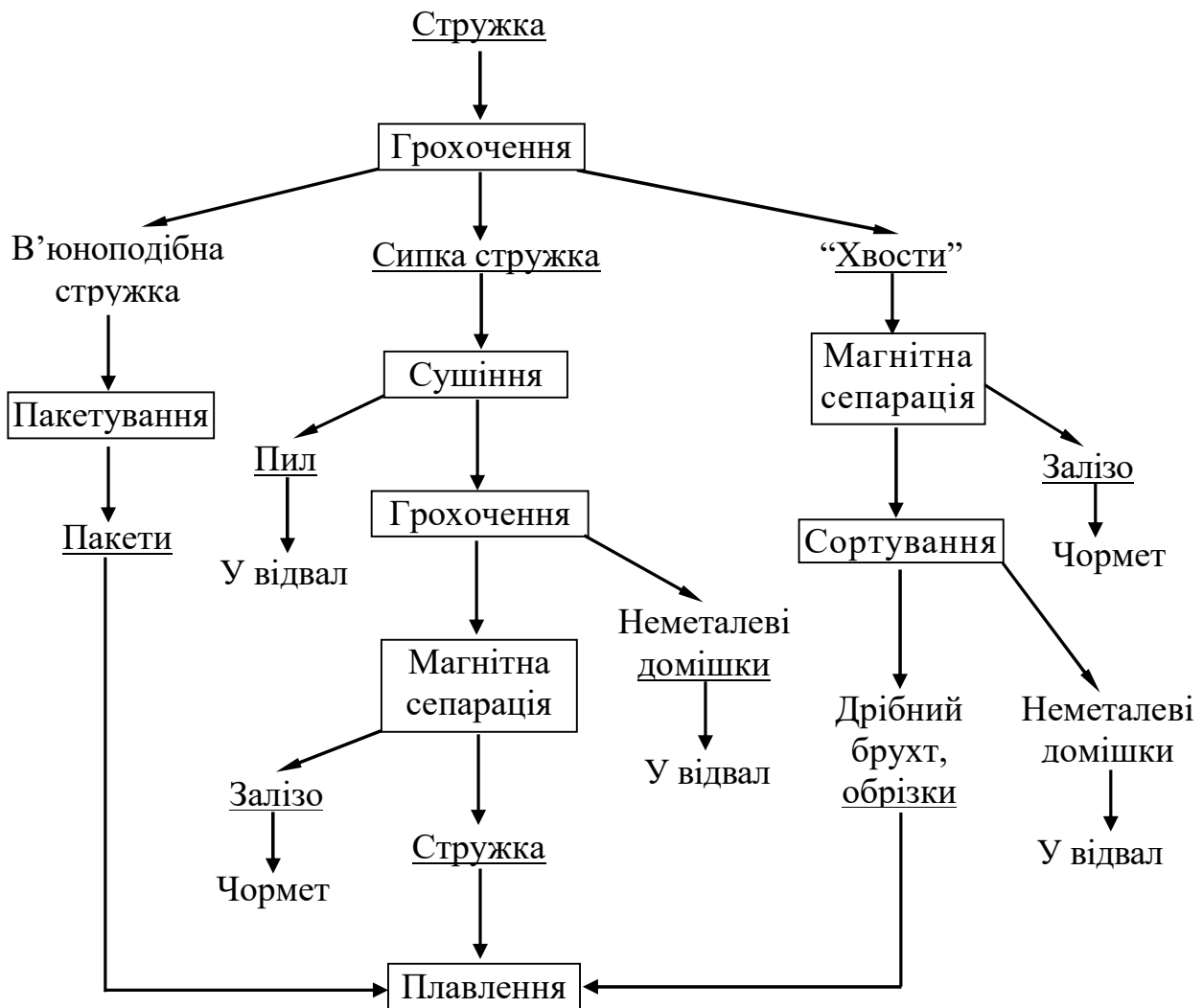


Рисунок 1 – Технологічна схема підготовки стружки до плавлення

В основу створення технологічних схем переробки брухту і відходів покладений принцип максимального поліпшення якості при первинній обробці для досягнення найбільшої ефективності при металургійних операціях.

У загальному випадку технологічна схема переробки вторинної алюмінієвої сировини включає процеси приймання, первинної обробки, металургійної переробки і відвантаження готової продукції (рис. 2).

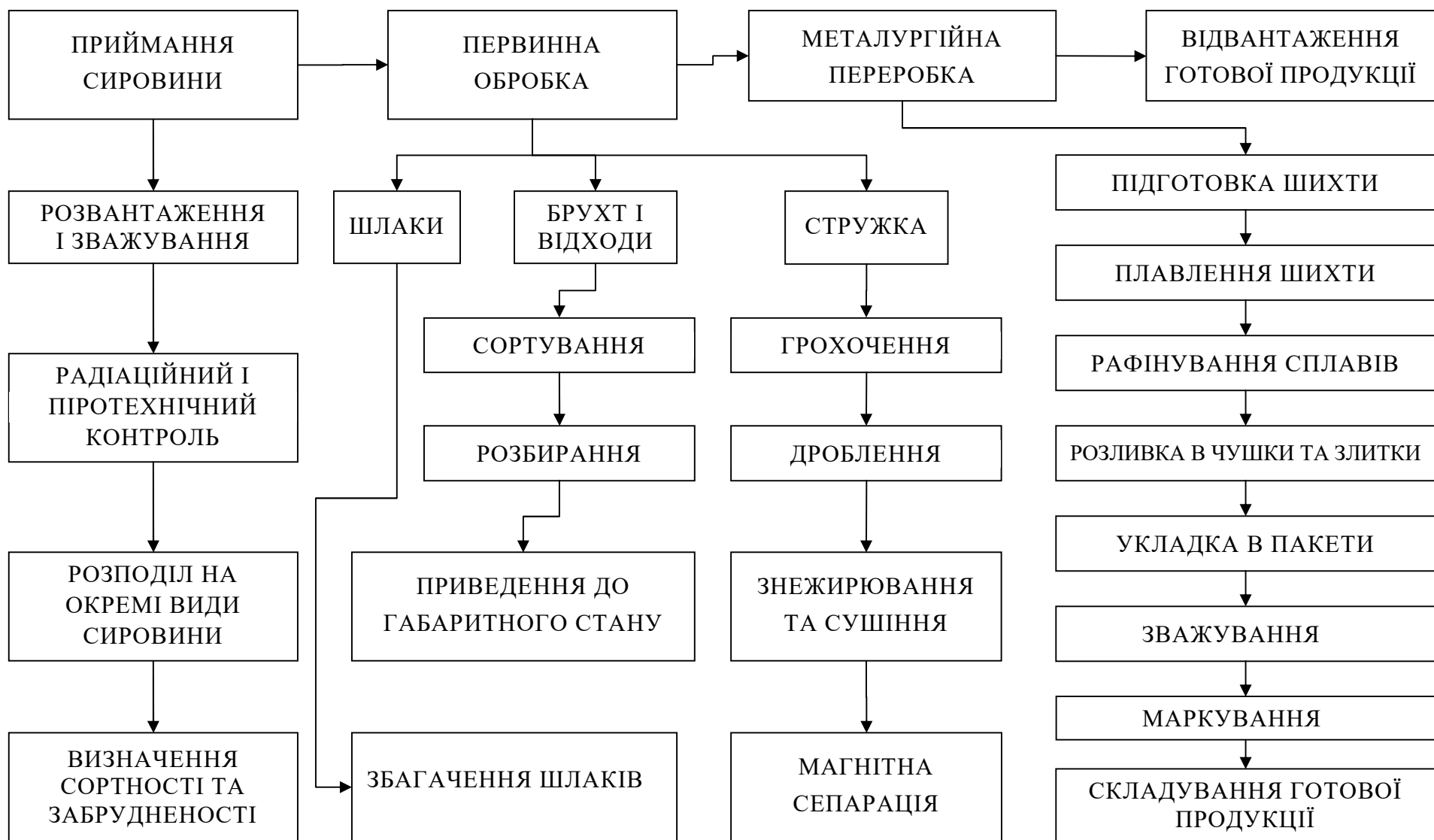


Рисунок 2 – Технологічна схема переробки вторинної алюмінієвої сировини

4 Транспортування і збереження вторинної алюмінієвої сировини

Вторинна алюмінієва сировина має ряд специфічних властивостей, що багато в чому визначають організацію її зберігання і транспортування. До цих властивостей слід віднести підвищену схильність до корозії при збереженні на відкритому повітрі.

Стружка, обрізь, зйоми з розвитою поверхнею особливо інтенсивно окислюються. Наприклад, стружка, що зберігається на повітрі, втрачає щомісяця 3...4 % загальної маси. Отже, за рік зберігання втрати складуть 35...50 %.

Особливість брухту і відходів алюмінію й алюмінієвих сплавів – мала насипна маса. Площу складів визначають із розрахунку можливої висоти штабелювання. При штабелюванні висотою до 3 м площі розраховують виходячи з даних, наведених у табл. 1.

Таблиця 1 – Дані для розрахунку площі, потрібної для розміщення сировини

Сировина	Площа для 1 т сировини при штабелі заввишки 3 м, м ²
Літаковий брухт:	
нерозроблений	7,0
розроблений	3,5
Пакетований брухт	0,8
Стружка:	
дрібна сипка	4,8
брикетована	0,25
в'юноподібна	20,0
фрезерна	5,5
токарна, свердловальна	5,0
Листова обрізь непакетована	6,0
Зйоми грудкові	4,0

На середніх металургійних заводах необхідні додаткові площі для зберігання місячного запасу змішаної або однорідної за хімічним складом сировини (окремо).

5 Фізико-хімічні основи плавлення вторинної алюмінієвої сировини

Вплив теплофізичних характеристик алюмінію на процес плавлення

Алюмінієві сплави – багатокомпонентні системи. Однак під час плавлення вторинної алюмінієвої сировини, що складається з багатьох марок алюмінієвих сплавів, відбуваються процеси, що визначаються переважно теплофізичними і фізико-хімічними властивостями алюмінію.

Алюміній має порівняно високу приховану теплоту плавлення (389,7 Дж/г) і більш високу, ніж у багатьох інших металів, теплоємність, що при температурі плавлення дорівнює 1,143 Дж/(г·град) і зменшується до 1,088 Дж/(г·град) при розплавленні металу. Температура плавлення чистого алюмінію дорівнює 660 °С, а для його сплавів вона значно нижче: 577 °С для евтектики *Al–Si* (11,7 % *Si*), 548 °С для *Al–Cu* (33 % *Cu*), 451 °С для *Al–Mg* (34,5 % *Mg*), 382 °С для *Al–Zn* (95 % *Zn*), 658 °С для *Al–Mn* (1,95 % *Mn*).

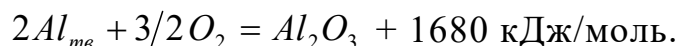
Однак при порівняно низькій температурі плавлення алюміній через невелику густину (2,7 г/см³) має високі значення питомої теплоти плавлення і теплоємності, віднесеної до одиниці маси (табл. 2).

Таблиця 2 – Деякі теплофізичні характеристики елементів, що входять до складу алюмінієвих сплавів

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

Хімічні взаємодії в процесі плавлення

Алюміній з киснем активно реагує при кімнатній (20 °С) і підвищеній температурах, тому його поверхня завжди покрита оксидною плівкою:



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

Оксид Al_2O_3 не відновлюється і не розчиняється в рідкому алюмінії, під час плавки подрібнюється та рівномірно розподіляється в об'ємі металу. Густина Al_2O_3 дорівнює близько 3,9 г/см³. Під час витримки розплаву в спокійному стані оксиди тонуть, спливають або знаходяться у вигляді суспензії залежно від кількості адсорбованого на часточках водню. Тверді включення оксиду в сплаві негативно впливають на фізико-механічні і технологічні властивості сплавів.

Захисні властивості оксидних плівок оцінюють за правилом Піллінга–Бедвордса:

$$\beta = \nu \cdot \frac{V_{Me_mO_n}}{V_{Me}},$$

де β – критерій Піллінга–Бедвордса;

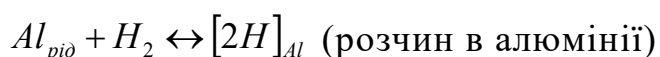
ν – кількість моль оксиду металу, що утворюються з одного моль металу;

$V_{Me_mO_n}$ – молярний об'єм оксиду металу;

V_{Me} – атомний об'єм металу.

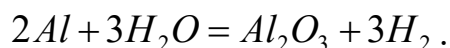
Якщо $\beta > 1$, то захисні властивості плівки високі; коли $\beta < 1$, то плівка гірше захищає метал від окислення. Так, для натрію, літію, калію, магнію, лужноземельних металів критерій β менше одиниці.

В основі процесу розчинення водню в алюмінії – оборотна реакція:



з наближеною константою рівноваги $K = [H]^2 / P_{H_2}$.

Насичення алюмінію воднем відбувається за реакцією:



При 500 °С константа рівноваги цієї реакції дорівнює

$$K_p = P_{H_2}^3 / P_{H_2O}^3 = 3,97 \cdot 10^{44} \quad \text{або} \quad P_{H_2} / P_{H_2O} = 7,3 \cdot 10^{14}.$$

Отже, навіть при незначному парціальному тиску водяної пари в атмосфері слід очікувати на велике поглинання водню металом.

Залежність розчинності водню від тиску описується рівнянням:

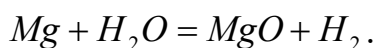
$$S = K \cdot \sqrt{P_{H_2}},$$

де P_{H_2} – парціальний тиск водню, 133 Па;

K – постійна, що залежить від температури і складу сплаву;

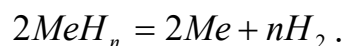
S – вміст газу в металі, см³/100 г металу.

У випадку взаємодії алюмінієво-магнієвого сплаву з парою води можлива реакція між магнієм і водяною парою:



При 500 °С відповідно наведеному вище розрахунку $P_{H_2} / P_{H_2O} = 1,2 \cdot 10^{20}$.

Гідриди металів мають змінний хімічний склад і активно розкладаються при 690...730 °С, насичуючи сплав воднем:



Основні джерела насичення сплавів воднем – пічні газу, непросушені шихтові і допоміжні матеріали та ін. Розчинені газу є джерелом утворення газової пористості у відливках.

Пористість виливок оцінюють за пятибальною шкалою (табл. 3).

Таблиця 3 – Шкала пористості відливок

Характеристика	Кількість										
	I		II		III		IV		V		
Пористість, бал	I		II		III		IV		V		
Число пор на 1 см ² , не більше	5		10		15		20		25		
Діаметр пор, не більше мм	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	<1,0
Пористість, %	90	10	80	20	80	20	70	30	60	30	10

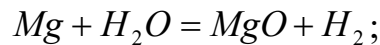
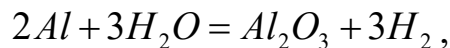
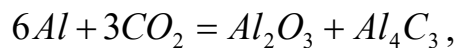
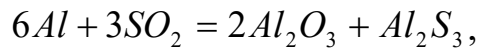
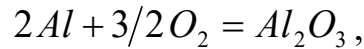
Газова і газоусадочна пористість погіршують механічні властивості відливок і злитків. Пористість є безпосередньою причиною утворення розшарувань у напівфабрикатах, що деформуються.

Джерела втрат металу під час плавлення

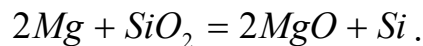
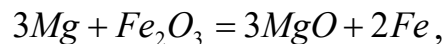
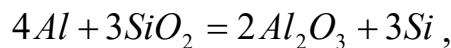
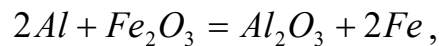
Основні джерела втрат металу під час плавлення – хімічні і механічні.

Хімічні втрати обумовлені:

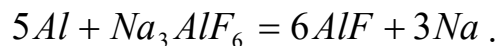
– взаємодією розплаву з пічними газами, що приводять до окислювання й ошлакування металу:



– металотермічними реакціями в рідкій ванні:



Хімічні втрати алюмінію різко зростають при додаванні до флюсів кріоліту:



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

Боротьбу з втратами металу зі шлаками слід проводити в трьох напрямках:

- зменшувати засміченість шихти і, таким чином, знижувати кількість одержаного шлаку;
- підвищувати рідкоплинність шлаків застосуванням достатньої кількості флюсів і створенням температурних умов, які сприяють виділенню крапель металу із шлаку;
- організувати переробку власних шлаків, що дозволяє регенерувати метал у кількості до 2,1 % готової продукції, а також хлоридні солі – до 90 %.

6 Печі для плавлення вторинної алюмінієвої сировини

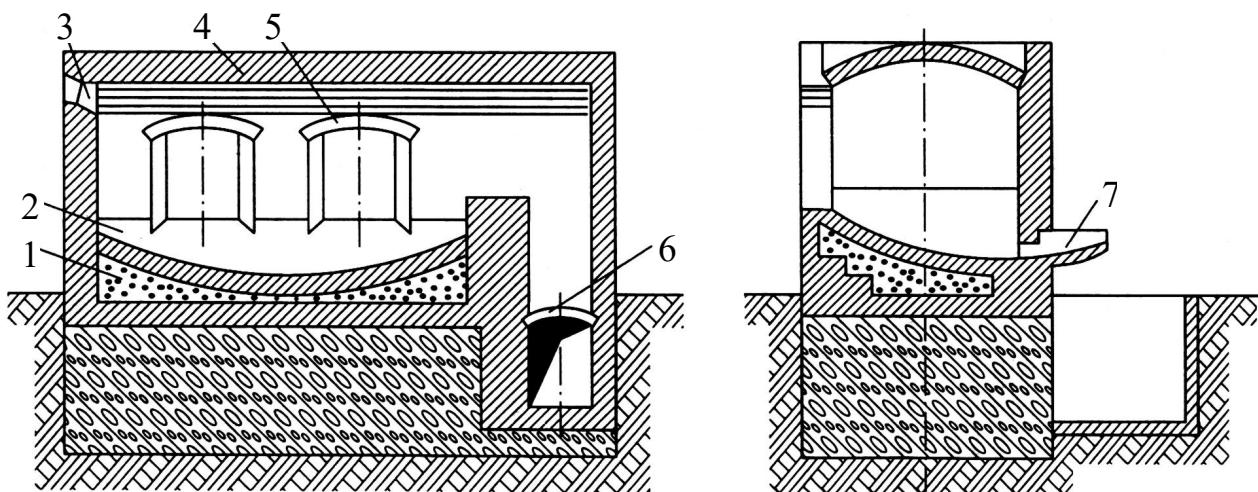
6.1 Вибір плавильних печей

Сучасна плавильна піч для приготування алюмінієвих сплавів має відповідати таким вимогам:

1. *економічна доцільність* (питома витрата палива та інших енергоносіїв, безповоротні втрати металу, питома витрата допоміжних матеріалів, вартість устаткування, вартість обслуговування, використання виробничих площ і ін.);
2. *якість продукції* (стабільність хімічного складу, забруднення неметалевими включеннями, відсутність місцевих перегрівів, що впливають на структуру відливок);
3. *високі технічні показники* (продуктивність, питома площа, надійність, тривалість роботи між ремонтами);
4. *рівень механізації й автоматизації* (кількість трудомістких операцій, виконуваних людиною; точність підтримки технологічних параметрів);
5. *зручність сполучення з іншими одиницями устаткування в технологічному ланцюзі* (підготовка шихти, завантаження, підйомно-транспортне устаткування, зливання продуктів плавлення);
6. *дотримання екологічних норм* (наявність шкідливих і отруйних газів, кількість пилоподібних викидів, теплові забруднення).

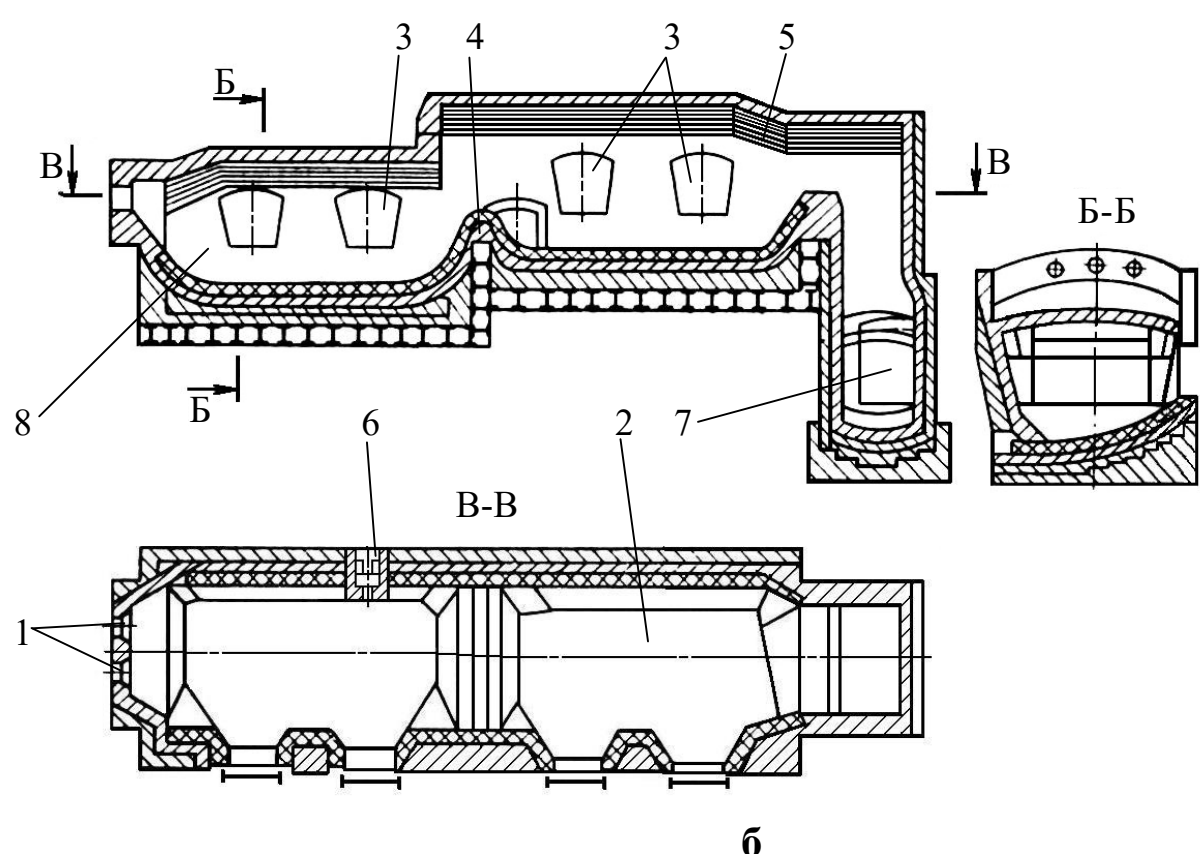
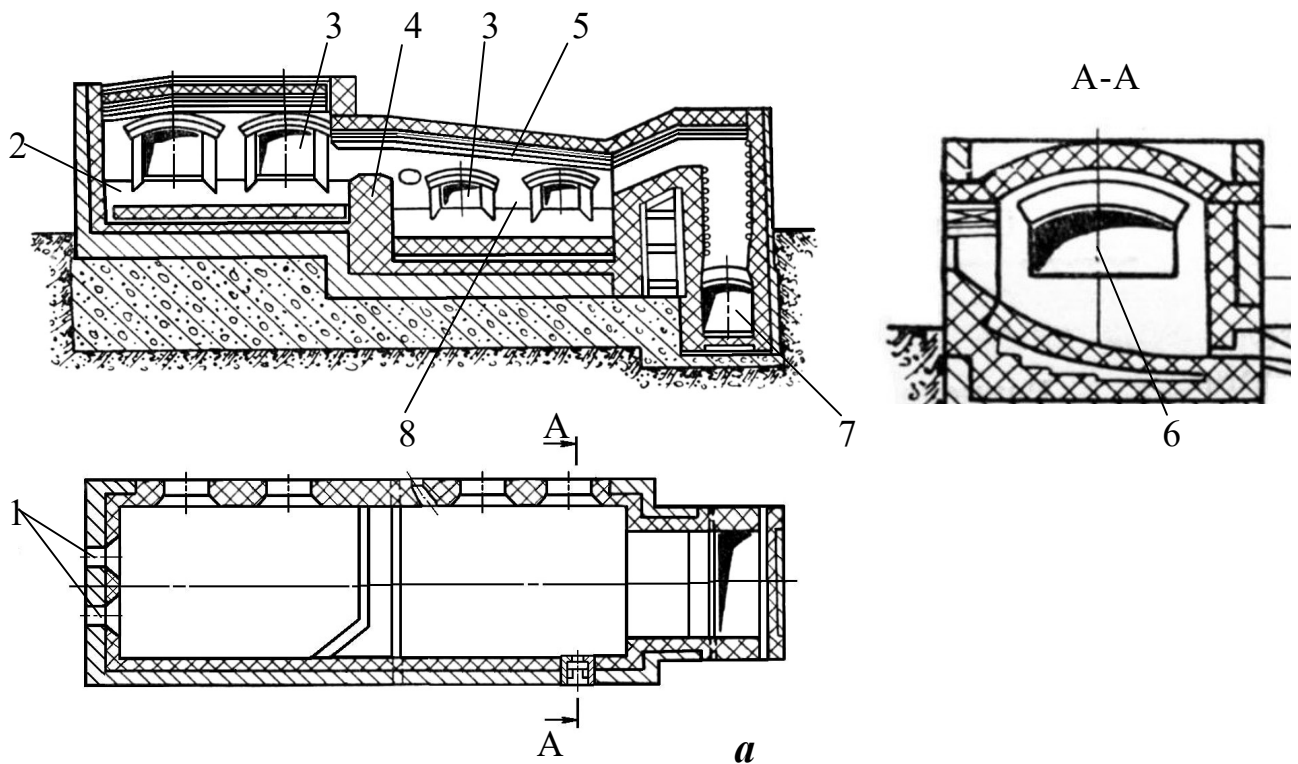
6.2 Паливні печі

Полуменеві відбивні печі



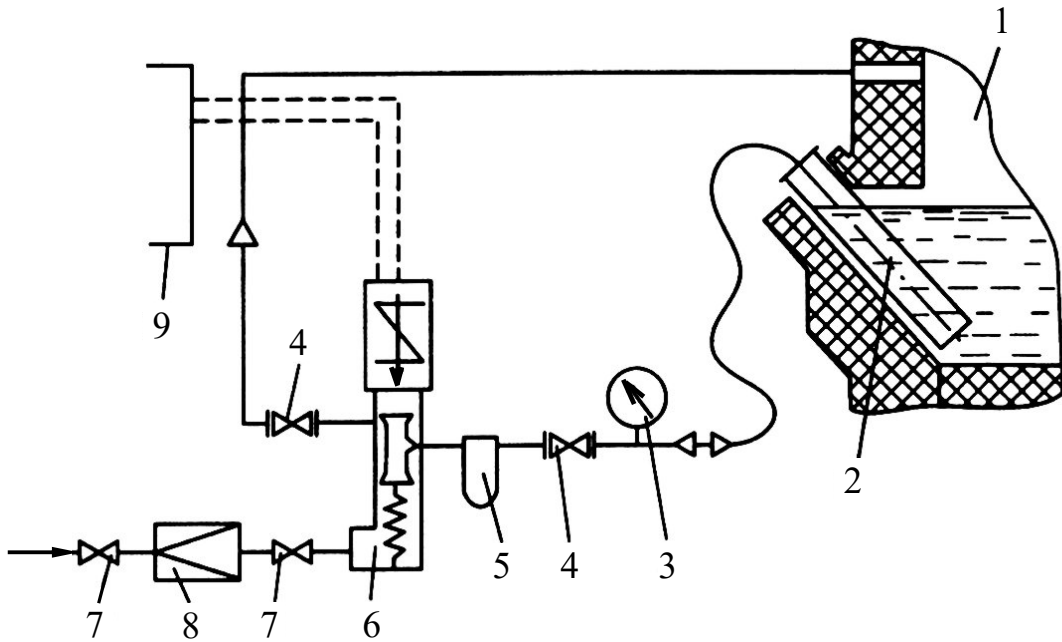
1 – черинь; 2 – плавильна камера; 3 – місце для форсунки;
4 – склепіння; 5 – завантажувальне вікно; 6 – лежак; 7 – лютка

Рисунок 3 – Однокамерна відбивна піч



1 – місце для форсунки; 2 – плавильна камера; 3 – завантажувальне вікно;
 4 – поріг; 5 – склепіння; 6 – лютка; 7 – лежак; 8 – накопичувач
 а – прямоточна піч; б – протиточна піч

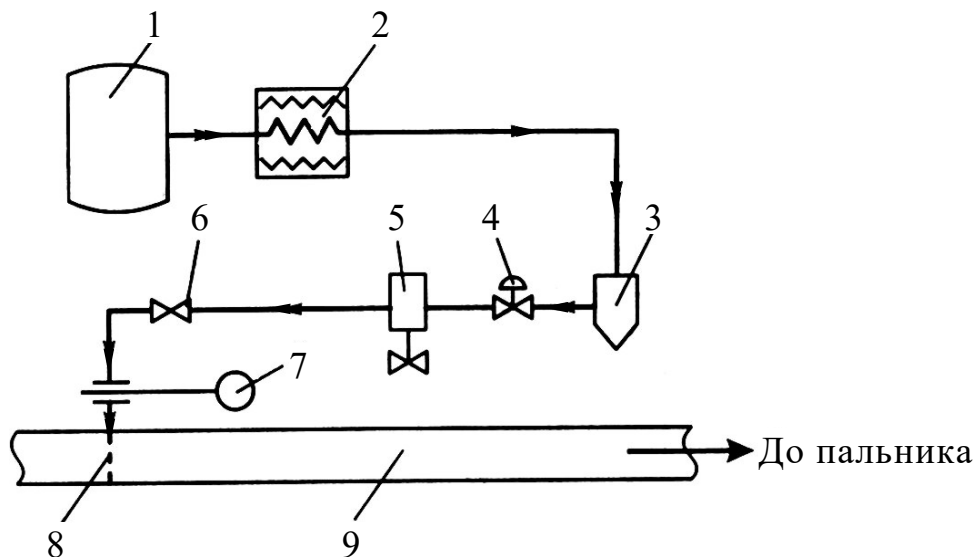
Рисунок 4 – Двокамерні відбивні печі



1 – піч; 2 – труба; 3 – мановакуумметр; 4 – вентиля вакуумні сифонні;
5 – фільтр; 6 – електропневматичний кран; 7 – вентиля,
що регулюють; 8 – редуктор; 9 – електричний блок

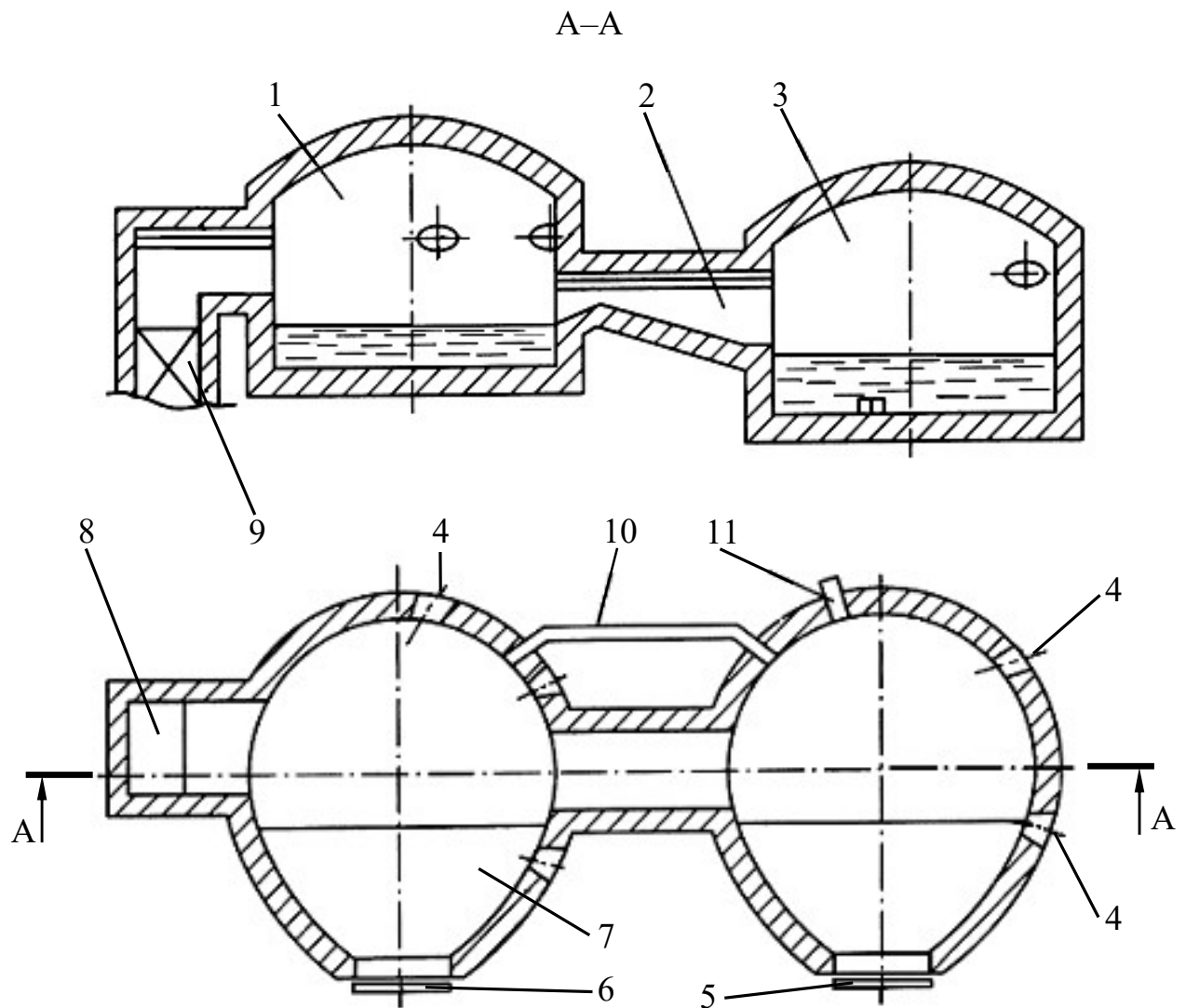
Рисунок 5 – Схема газодинамічного перемішування металу в вакуумній печі

Дуття з додаванням кисню в кількості 5...7 % застосовують на деяких закордонних заводах. Рідкий кисень послідовно подають у випарник, фільтр, потім через редуктор і витратомір – у повітряпровід (рис. 6).



1 – балон з рідким киснем; 2 – випарник; 3 – фільтр; 4 – редуктор;
5 – клапан з електромагнітним затвором; 6 – вентиль-дозатор;
7 – витратомір; 8 – розпилювач; 9 – повітряпровід

Рисунок 6 – Схема подавання кисню до дуття

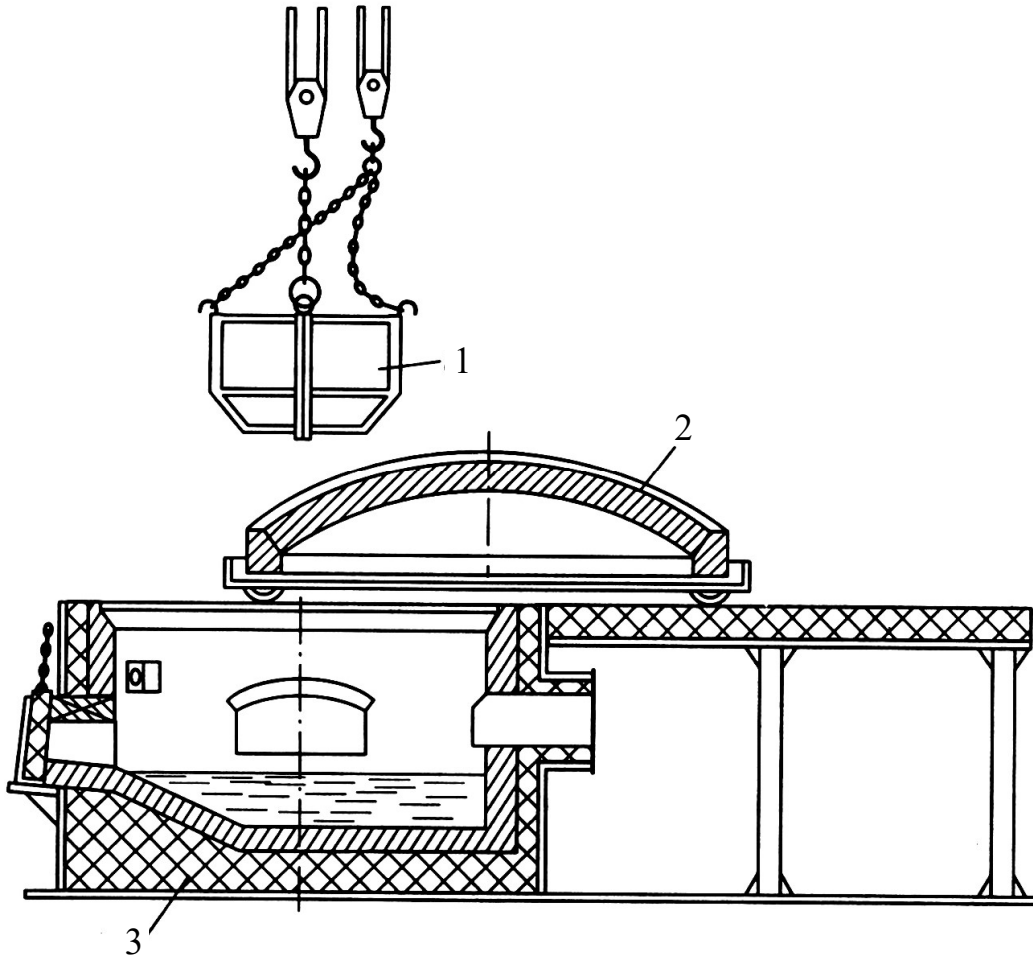


- 1 – плавильна камера; 2 – канал, що з'єднує; 3 – накопичувач;
 4 – вісі пальників; 5 – заслінка робочого вікна;
 6 – робоче вікно; 7 – укіс для вигрібання;
 8 – димове вікно; 9 – рекуператор;
 10 – переточний жолоб; 11 – льотка

Рисунок 7 – Схема протиточної відбивної печі з круглими камерами

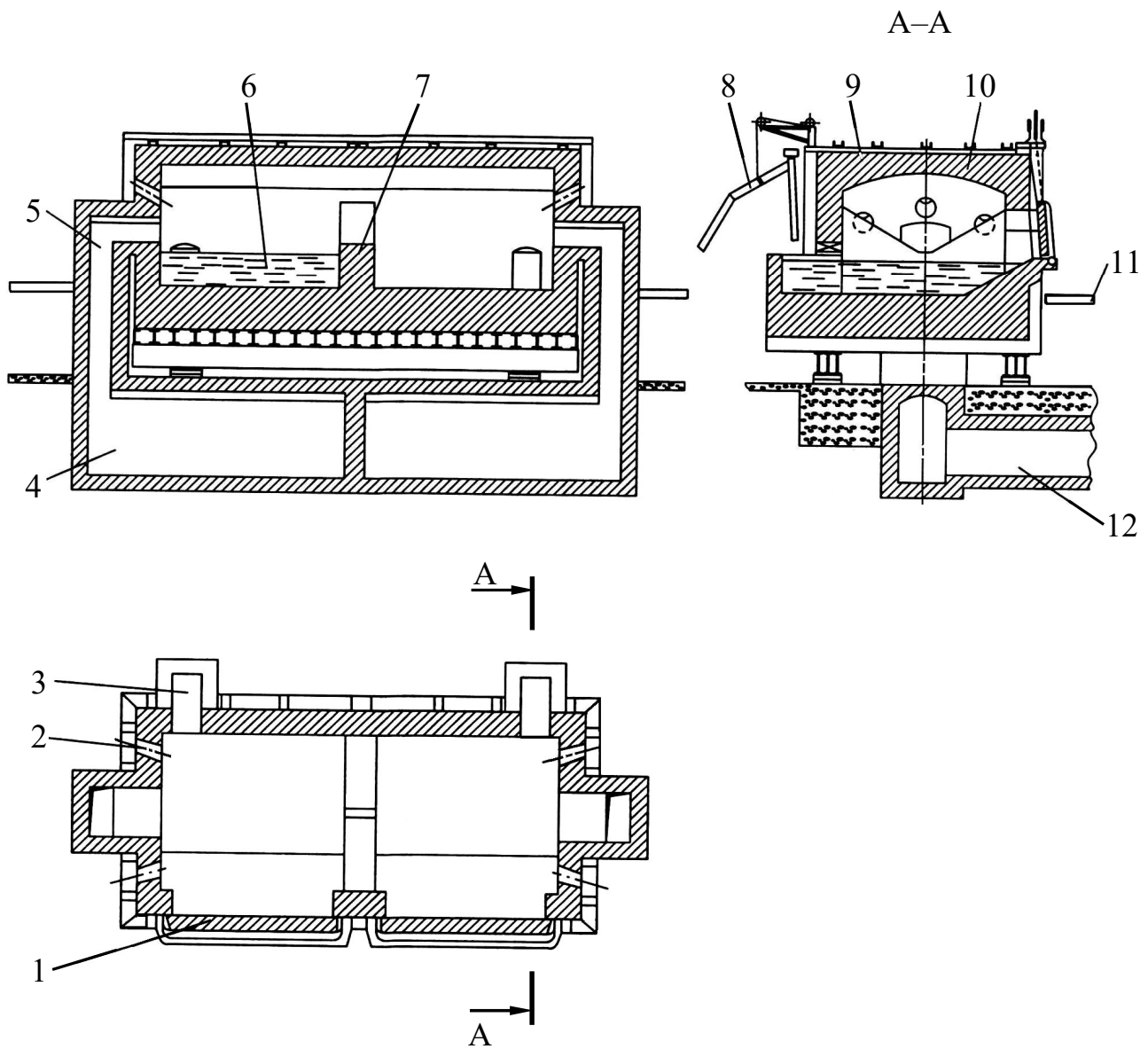
Завантажувати шихту великими порціями або великогабаритними, нерозрізаними шматками можливо, використовуючи конструкції полумєневих відбивних печей зі знімними циліндричними склепіннями

(рис. 8). Короткочасність операції завантаження підвищує к.к.д. і продуктивність печі.



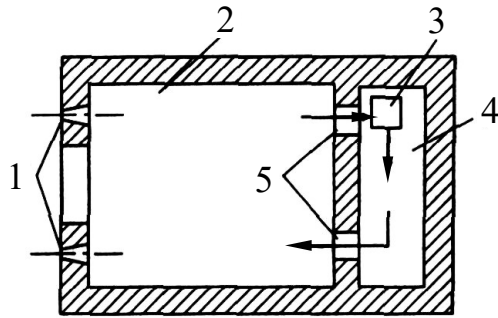
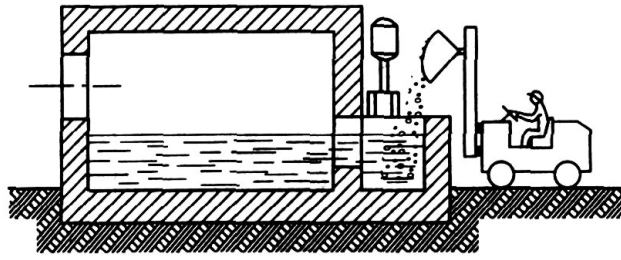
1 – завантажувальний короб; 2 – знімне склепіння; 3 – піч

Рисунок 8 – Схема печі зі знімним склепінням



- 1 – дверцята завантажувального вікна;
 2 – місце для пальника; 3 – роздавальний карман;
 4 – осаджуюча камера; 5 – димохід; 6 – ванна;
 7 – перегородка; 8 – сифон підвісний; 9 – корпус печі;
 10 – футеровка; 11 – робоча площадка; 12 – лежак

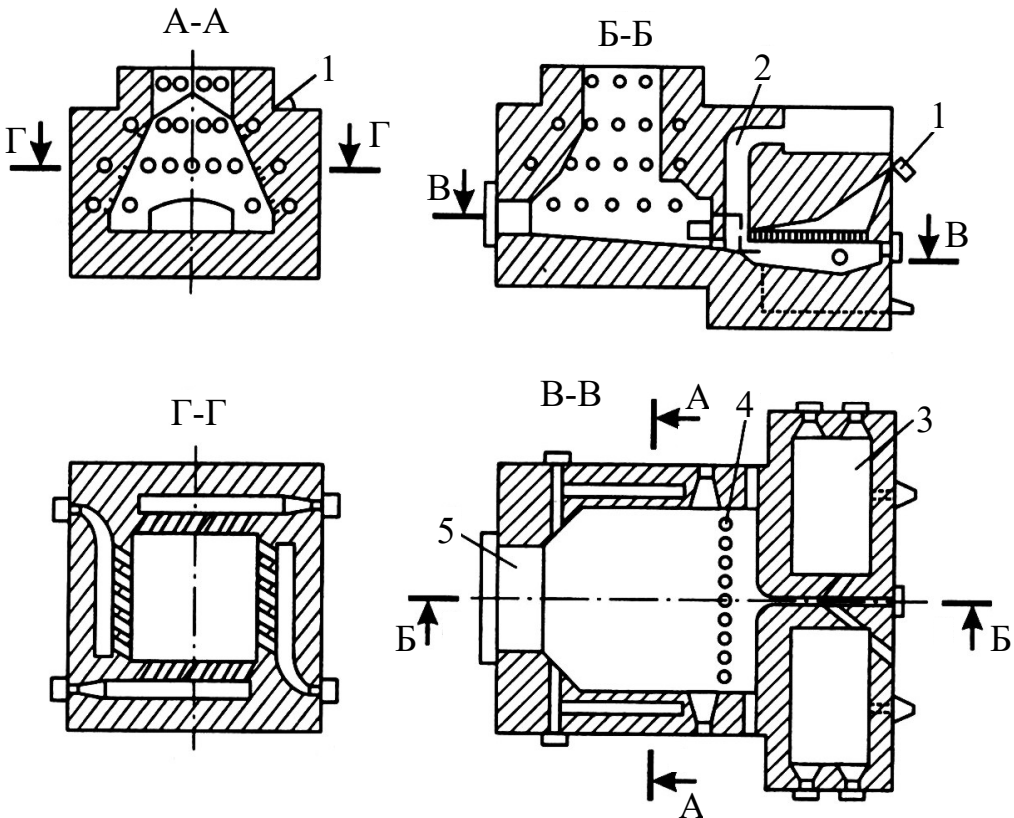
Рисунок 9 – Схема двованної печі Ступинського комбінату



1 – місце для пальника; 2 – закрыта камера; 3 – насос; 4 – виносна камера; 5 – вікна

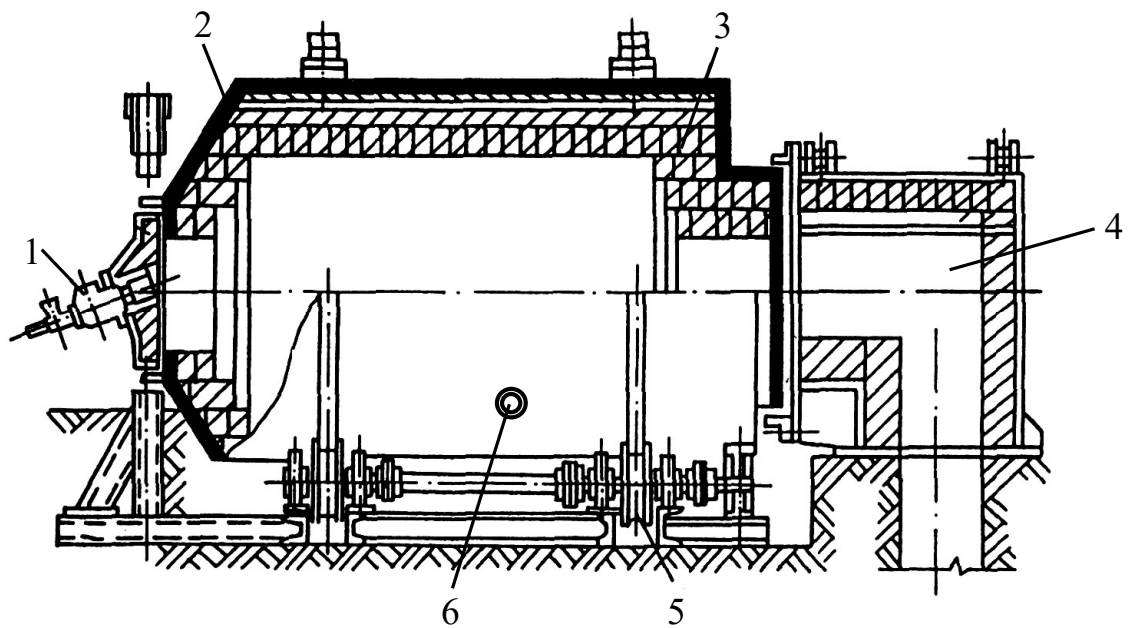
Рисунок 10 – Піч з виносною камерою

Шахтні печі



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

Рисунок 11 – Шахтна піч



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

Рисунок 12 – Обертюва короткобарабанна пїч