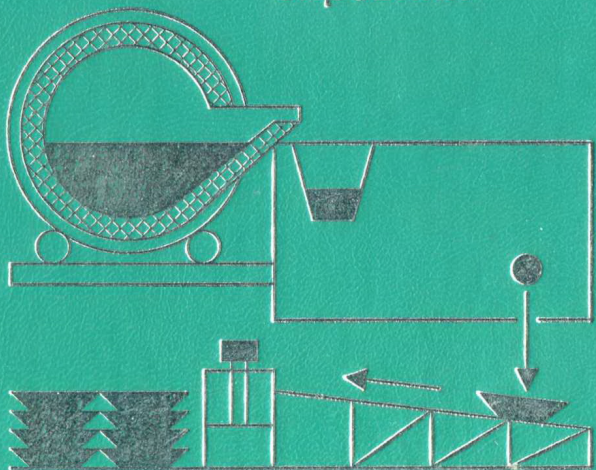


Т. М. Нестеренко
О. М. Нестеренко
Г. О. Колобов
В. П. Грицай

ВИРОБНИЦТВО

АЛЮМІНІЄВИХ
СПЛАВІВ
з рудної
та вторинної
сировини



•Вища школа•

ВИРОБНИЦТВО
АЛЮМІНІЄВИХ
СПЛАВІВ
з рудної
та вторинної
сировини





НЕСТЕРЕНКО
Тетяна Миколаївна
Кандидат технічних наук,
доцент кафедри
«Металургія кольорових металів»
Запорізької державної
інженерної академії



НЕСТЕРЕНКО
Ольга Миколаївна
Інженер-конструктор ДП
«Запорізьке машинобудівне
конструкторське бюро
«Івченко-Прогрес»
імені академіка О. Г. Івченка»



КОЛОБОВ
Герман Олександрович
Кандидат технічних наук, професор
кафедри «Металургія кольорових металів»
Запорізької державної інженерної академії,
лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки, академік
Академії інженерних наук України



ГРИЦАЙ
Володимир Петрович
Кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник,
професор кафедри
«Металургія кольорових металів»
Запорізької державної
інженерної академії

Т. М. Нестеренко
О. М. Нестеренко
Г. О. Колобов
В. П. Грицай

ВИРОБНИЦТВО

АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

з рудної
та вторинної
сировини

*Рекомендовано Міністерством
освіти і науки України*

Навчальний посібник
для студентів вищих
навчальних закладів,
які навчаються за напрямками
«Металургія»,
«Інженерне матеріалознавство»,
«Інженерна механіка»

КИЇВ
«ВИЩА ШКОЛА»
2007

УДК 669.714/.715(075.8)
ББК 34.33я73
В52

Гриф надано Міністерством освіти
і науки України (лист від 26 грудня
2006 р. № 1.4/18—Г-1402)

Рецензенти: д-р техн. наук, зав. каф. «Ливарне вир-во чорних і кольорових металів» Нац. техн. ун-ту України «Київ. політехн. ін-т» *В. Г. Могилатенко*; д-р техн. наук, проф., дир. Фіз.-техн. ін-ту Запоріж. нац. техн. ун-ту, зав. каф. «Машини та технологія ливарного виробництва», засл. діяч науки і техніки України *В. В. Луньов*; д-р техн. наук, проф. каф. «Технологія металів і авіац. матеріалознавства», дир. Міжнар. наук.-дослід. ін-ту нових технологій і матеріалів Нац. аерокосм. ун-ту ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», лауреат Держ. премій України та РМ СРСР, акад. Акад. інж. наук України, акад. Укр. акад. наук *В. К. Борисевич*

Редактор *Л. Є. Канівець*

Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини: Навч. посіб. / Т. М. Нестеренко, О. М. Нестеренко, Г. О. Колобов, В. П. Грицай. — К.: Вища шк., 2007. — 207 с.: іл.
ISBN 978-976-642-354-5

Викладено систематизовані й узагальнені теоретичні основи, передовий досвід з технологій виплавляння алюмінієвих сплавів і лігатур, перероблення вторинної сировини. Наведено класифікацію і характеристику ливарних, деформівних і спечених сплавів. Розглянуто будову, принцип дії, конструктивні розрахунки металургійного обладнання, розрахунки шихти, матеріальний і тепловий баланси виплавляння сплавів.

Для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямами «Металургія», «Інженерне матеріалознавство», «Інженерна механіка». Може бути корисним фахівцям, які виготовляють і використовують алюмінієві сплави.

УДК 669.714/.715(075.8)
ББК 34.33я73

ISBN 978-976-642-354-5

© Т. М. Нестеренко, О. М. Нестеренко,
Г. О. Колобов, В. П. Грицай, 2007

ВСТУП

Останні десятиліття характеризуються зростанням споживання алюмінієвих сплавів і заміни сталевих, чавунних та інших виробів на алюмінієві в різних галузях промисловості й побуту. Одним із сировинних ресурсів виробництва алюмінієвих сплавів є переробка вторинної алюмінієвої сировини, частка якої в загальному сировинному балансі кольорової металургії постійно збільшується.

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

Широке застосування алюмінієвих сплавів у різних галузях промисловості та побуту потребує підготовки фахівців, які здатні виготовляти ці сплави з природних алюмосилікатів, первинної й вторинної металургійної сировини.

Дисципліна «Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини» є однією з фахових дисциплін, яка спрямована на цільову підготовку фахівця за спеціальністю «Металургія кольорових металів».

Мета дисципліни — навчити студентів вибирати оптимальні технологічні схеми та обладнання для отримання алюмінієвих сплавів і перероблення вторинної алюмінієвої сировини, а також оцінювати різні способи удосконалення відповідних процесів.

Завдання дисципліни — ознайомити студентів з технологічними схемами виплавляння алюмінієвих сплавів і пе-

рероблення вторинної алюмінієвої сировини, в тім числі первинної обробки; з типовим і нестандартним обладнанням; принципами розрахунку застосовуваної апаратури; питаннями оптимізації окремих дільниць і виробництва загалом; визначенням техніко-економічної доцільності під час вибору схеми переробки вторинної алюмінієвої сировини.

Після вивчення дисципліни студент має:

— **знати** склад, структуру, фізичні, механічні та технологічні властивості, галузі застосування алюмінієвих сплавів; фізико-хімічну суть процесів на всіх дільницях отримання алюмінієвих сплавів і комплексного перероблення вторинної алюмінієвої сировини; способи удосконалення процесів отримання алюмінієвих сплавів і комплексного перероблення вторинної алюмінієвої сировини;

— **вміти** вибирати раціональну технологічну схему отримання алюмінієвих сплавів і комплексного перероблення вторинної алюмінієвої сировини для об'єкта, що проектується; оцінювати ступінь оптимальності технологічних схем, вибраних для конкретних умов виробництва; виконувати металургійні та технологічні розрахунки.

Дисципліна «Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини» — це комплексна дисципліна, що ґрунтується як на загальноосвітніх (загальна хімія, математика, фізика), так і на спеціальних (теоретичні основи піро-, гідро- і електрометалургійних процесів, фізична хімія та ін.) дисциплінах. Вона тісно пов'язана з дисциплінами «Металургія легких металів», «Технологічне обладнання підприємств кольорової металургії».

Створити цей навчальний посібник авторів спонукала фактична відсутність стислого підручника з дисципліни та практичні потреби навчального процесу підготовки спеціалістів з виготовлення алюмінієвих сплавів та виробів з них. Посібник укладено з використанням сучасної навчально-методичної, наукової, технічної та довідкової літератури. Він відповідає програмі дисципліни «Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини», містить як загальнотеоретичні положення, так і конкретні поради для створення науково обґрунтованих апаратурно-

технологічних схем виробництва алюмінієвих сплавів. Призначений для студентів вищих навчальних закладів, які опановують інженерні спеціальності за напрямками «Металургія», «Інженерне матеріалознавство» та «Інженерна механіка», може бути корисним аспірантам, науково-технічним та інженерним працівникам, які отримують і використовують сплави на основі алюмінію.

Автори вважають своїм приємним обов'язком висловити вдячність рецензентам посібника за цінні поради та пропозиції, зроблені при рецензуванні.

1

КЛАСИФІКАЦІЯ І ХАРАКТЕРИСТИКА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

1.1. Класифікація алюмінієвих сплавів

Алюмінієвими називають сплави, основними компонентами яких є алюміній. Щоб поліпшити властивості алюмінію, до нього додають мідь, магній, манган, силіцій, цинк, берилій, титан тощо.

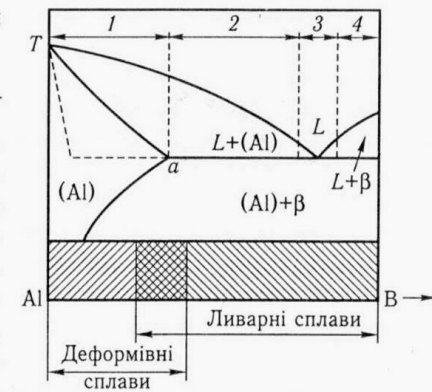
Алюмінієві сплави характеризуються малою щільністю (до $3,0 \text{ г/см}^3$), високими технологічними властивостями, корозійною стійкістю, теплопровідністю, електричною провідністю, жароміцністю, міцністю й пластичністю за низьких температур, світловідбивною здатністю. На виробі з алюмінієвих сплавів легко наносяться захисні й декоративні покриття. Сплави легко обробляються різанням і зварюються контактним зварюванням, а деякі й зварюванням плавленням.

За способом виготовлення заготовок і виробів алюмінієві сплави поділяють на ливарні, деформівні та спечені.

Ливарні сплави, призначені для виготовлення фасонних виливків, повинні мати такі властивості: високу рідкоплинність, малу схильність до утворення розсіяних усадкових порожнин і кристалізаційних тріщин. Для цього до кінця кристалізації вони повинні мати досить велику кількість евтектичної рідини. Сплави, що знаходяться поблизу евтектичної точки, мають найкращі ливарні властивості (рис. 1.1).

З деформівних сплавів методом напівбезперервного лиття виготовляють круглі й плоскі злитки, які піддають гарячій і холодній обробці тиском (прокатуванню, пресуванню, штампуванню, куванню тощо). Зона складів деформівних сплавів простягається від чистого алюмінію до сплавів поблизу точки граничної розчинності a (див. рис. 1.1, заштрихована ділянка). Основною структурною складовою частиною цієї групи сплавів є α -розчин на основі алюмінію, а об'ємна частка крихких інтерметалідів порівняно невелика (5–10%), що забезпечує високу деформівність цих сплавів.

Рис. 1.1. Схема подвійної діаграми Al—В евтектичного типу: В — другий компонент



Для підвищення міцності більшість алюмінієвих сплавів піддають гартуванню і старінню. При нагріванні під гартування відбувається розчинення всіх або окремих надлишкових фаз, які називають фазами-зміцнювачами. При наступному прискореному охолодженні ці фази не встигають виділитися, і фіксується пересичений твердий розчин легуючих елементів в алюмінії. Під час старіння загартованого сплаву відбувається утворення вторинних виділень, як правило, метастабільних фаз, що і зумовлює зміцнення.

Для підвищення міцності більшість алюмінієвих сплавів піддають гартуванню і старінню. При нагріванні під гартування відбувається розчинення всіх або окремих надлишкових фаз, які називають фазами-зміцнювачами. При наступному прискореному охолодженні ці фази не встигають виділитися, і фіксується пересичений твердий розчин легуючих елементів в алюмінії. Під час старіння загартованого сплаву відбувається утворення вторинних виділень, як правило, метастабільних фаз, що і зумовлює зміцнення.

До надлишкових фаз, які утворені основними легуючими елементами та алюмінієм і найчастіше трапляються в структурі виливків, належать Mg_2Si , CuAl_2 (θ), Al_2CuMg (S) і Al_3Mg_2 . Ці фази після травлення мають такий вигляд під мікроскопом: Mg_2Si — скелетоподібні кристали чорного кольору; CuAl_2 — витягнуті, вигнуті світлі вclusions; Al_2CuMg — компактні вclusions темного кольору; Al_3Mg_2 — світлі вclusions неправильної форми.

Основні домішки, наявні в усіх алюмінієвих сплавах, — це залізо і силіцій, що утворюють фази кристалізаційного походження голко- або скелетоподібної форми і, як правило, погіршують механічні та корозійні властивості.

До складу алюмінієвих сплавів входять також так звані спечені алюмінієві сплави — замість злитка для подальшої деформації використовують брикет, спечений з порошків.

З вторинної алюмінієвої сировини виплавляють сплави трьох типів: ливарні, деформівні й розкислювачі.

1.2. Ливарні алюмінієві сплави

Хімічний склад і галузі застосування ливарних алюмінієвих сплавів досить різноманітні. Залежно від вмісту основних компонентів ці сплави відповідно до ДСТУ 2839—94 (ГОСТ 1583—93) «Сплави алюмінієві

ливарні. Технічні умови» поділяють на п'ять груп, до яких входять такі системи:

- 1) Al—Si—Mg (AK12 (AL2), AK9, AK9ч (AL4), AK7, AK7ч (AL9) та ін.);
- 2) Al—Si—Cu (AK5M (AL5), AK5M2, AK5M7, AK9M2, AK12MMгH (AL30), AK12M2, AK12M2MгH (AL25) та ін.);
- 3) Al—Cu (AM5 (AL19), AM4,5Кд (BAL10));
- 4) Al—Mg (AMг5K (AL13), AMгбл (AL23), AMг10 (AL27) та ін.);
- 5) Al — інші компоненти (AK7Ц9 (AL11), AK9Ц6 (AK9Ц6р), АЦ4Mг (AL24)).

Ливарні алюмінієві сплави маркують літерою А, наступна літера відповідає типу легуючого елемента: «К» — Si, «М» — Cu, «Mг» — Mg, «Ц» — Zn, «Н» — Ni, «Кд» — Cd. Цифри після позначення елемента вказують середній його вміст. Якщо концентрація елемента не перевищує 1,5 %, то після його позначення цифри не проставляють. Літери «ч» або «пч» наприкінці марки (чистий, підвищеної чистоти) означають знижений вміст домішок.

В інших країнах чинні власні системи позначення, наприклад, у США користуються тризначною системою (плюс додаткова цифра після крапки). Перша цифра визначає базову систему легування: 2 — алюмінієво-мідні сплави; 3 — леговані силуміни; 4 — подвійні силуміни; 5 — магналії. Оскільки нині у вітчизняному виробництві широко використовують закордонні сплави, вміння працювати з національними стандартами різних країн набуває великого значення.

Основні легуючі елементи (Магній, Купрум, Цинк, Силіцій) утворюють з алюмінієм діаграми стану евтектичного типу з обмеженою розчинністю (див. рис. 1.1), основні параметри яких наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Характеристики діаграм стану евтектичного типу (рис. 1.1), які утворюються алюмінієм з основними легуючими елементами

Номер групи	Легуючий елемент	Гранична розчинність при евтектичній температурі, масова частка, %/атомна частка, %	Концентрація в евтектичній точці, масова частка, %/атомна частка, %	Температура кристалізації подвійної евтектики, °С	Фаза у рівновазі з алюмінієм (вміст другого компонента, %)
1	Cu	5,7/2,5	33,2/17,5	547	CuAl ₂ (52 % Cu)
2	Mg	17,4/18,5	35,0/36,0	450	Mg ₅ Al ₈ (35 % Mg)
3	Zn	82,0/49,3	94,9/75,0	382	Zn (99 % Zn)
4	Si	1,65/1,59	12,0/12,2	577	Si (99,5 % Si)

Усі ливарні сплави можна класифікувати за структурою в литому стані на 4 групи:

- 1) сплави типу твердих розчинів, наприклад сплави типу AM5 і AMгбл на базі систем Al—Cu і Al—Mg, для яких характерна наявність нерівноважної вирожденної евтектики, що розчиняється при нагріванні під гартування;
- 2) доевтектичні сплави, у яких евтектика має, як правило, двофазну будову, наприклад силуміни типу АК7;
- 3) евтектичні сплави, у яких евтектика є основною структурною складовою, як у силумінах типу АК12;
- 4) сплави з первинними кристалами надлишкових фаз, наприклад заевтектичні силуміни.

Основну групу ливарних сплавів становлять силуміни (сплави з силіцієм у кількості 4—22 %), з яких виготовляють понад 90 % усіх

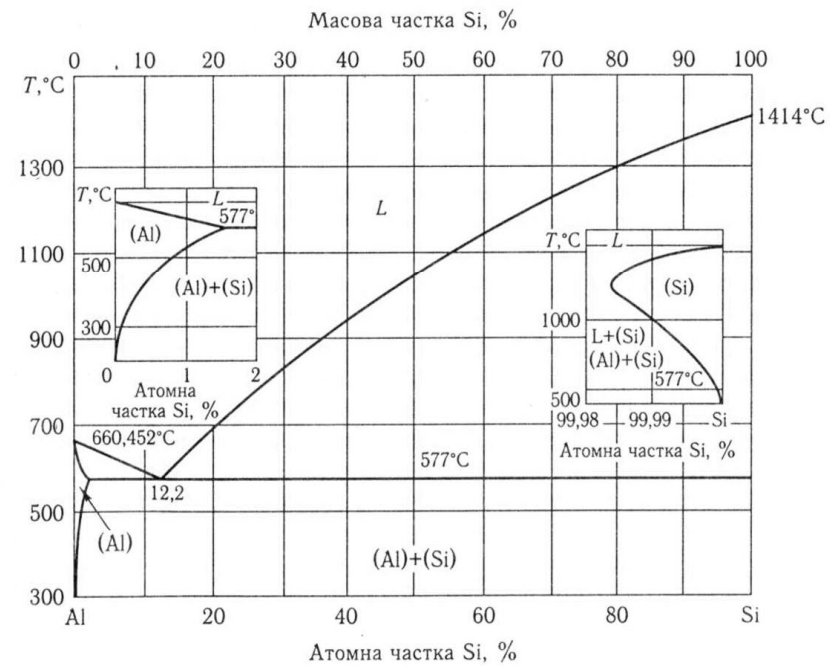


Рис. 1.2. Діаграма стану системи Al—Si

випливаються. Це пояснюється їхньою технологічністю при використанні практично для всіх видів литва. Евтектика в системі Al—Si, на відміну від більшості інших евтектик в алюмінієвих сплавах, що містять інтерметаліди, порівняно пластична. Тому в силумінах евтектика, що забезпечує високі ливарні властивості, є основною структурною складовою.

Діапазон частки силіцію в силумінах можна умовно розділити на три частини: 4—9 %, 10—13 % і 14—22 %, які згідно з подвійною діаграмою Al—Si (рис. 1.2) відповідають доевтектичним, евтектичним і заевтектичним силумінам. Відповідно до прийнятої класифікації силуміни належать до сплавів 2—4 груп (див. рис. 1.1). Нижня межа за силіцієм (4 %) зумовлена досягненням необхідного рівня ливарних властивостей завдяки досить вузькому ефективному інтервалу кристалізації. Верхня межа пов'язана із забезпеченням мінімального рівня пластичності, оскільки силіцієва фаза відрізняється крихкістю.

Найважливішими характеристиками силумінів, які визначають їхню технологічність і галузі застосування, є механічні, корозійні та ливарні властивості. Усі вони визначаються хімічним складом і структурою силумінів. Структура, у свою чергу, формується залежно від умов плавлення, кристалізації та наступного термічного оброблення.

Силуміни за своєю природою є гетерофазними сплавами, вміст силіцію в алюмінієвій матриці не перевищує 1—1,5 %, а більша його частина входить до складу фаз кристалізаційного походження, насамперед силіцієвого твердого розчину (Si). Основними легуючими елементами в силумінах (після Силіцію) є Купрум і Магній, рідше Цинк і Нікол. Усі ці елементи сприяють підвищенню міцності й твердості, але знижують тією чи іншою мірою показники пластичності силумінів. Крім алюмінієвої матриці й (Si) у силумінах часто наявні надлишкові фази, що містять Ферум, Купрум, Магній і Манган, рідше — інші елементи, зокрема Нікол і Берилій. Вплив деяких легуючих елементів на властивості алюмінієво-силіцієвих сплавів наведено у табл. 1.2.

Залежно від призначення алюмінієво-силіцієві сплави поділяють на такі категорії.

1. Конструкційні сплави (наприклад, АЛ4, АЛ9) використовують для виготовлення різних деталей, що працюють переважно в умовах нормальних температур і сприймають значні навантаження.

2. Жароміцні сплави (наприклад, АЛ30, АЛ25) застосовують здебільшого для виготовлення поршнів двигунів внутрішнього згорання (автомобільних, тракторних та ін.).

3. Сплави спеціального призначення (наприклад, антифрикційні сплави) застосовують відповідно для кокільного литва монометалевих вкладишів підшипників ковзання і виробництва біметалевих вкладишів (плакування на сталь методом прокатування). До цієї групи входять алюмінієво-силіцієві сплави, які використовують як припої при паянні алюмінію та його сплавів (наприклад, алюмінієвий припій, що містить 12 % Si).

Таблиця 1.2. Вплив легуючих елементів на властивості алюмінієво-силіцієвих сплавів

Легуючий елемент	Фаза у рівновазі з алюмінієм	Характеристика впливу на властивості сплаву
Купрум	CuAl ₂	Підвищує механічні характеристики сплаву, але погіршує його корозійну стійкість
Магній	Mg ₅ Al ₈	Сприяє різкому підвищенню механічних властивостей сплавів, збільшує пористість у виливках, підвищує корозійну стійкість алюмінію
Цинк	—	Підвищує механічні властивості сплавів, погіршує їхні ливарні властивості
Манган	MnAl ₆	Значно зменшує шкідливий вплив Феруму на механічні властивості сплавів, підвищує їхню жароміцність і зменшує пористість у виливках
Хром	CrAl ₇	Сприяє деякому зміцненню сплавів, підвищує корозійну стійкість
Ванадій	VAl ₇	Те саме
Цирконій	ZrAl ₃	— » —
Берилій	Al ₄ Fe ₂ Be ₅ (Al ₇ Fe ₃ Be ₇)	Нейтралізує шкідливий вплив Феруму на пластичність і в'язкість руйнування
Титан	TiAl ₃	Подрібнює структуру сплавів і тим самим підвищує їхні механічні характеристики
Нікол	NiAl ₃	Зменшує пластичність і корозійну стійкість
Ферум	FeAl ₃	Різко знижує пластичність сплавів, але підвищує їхню жароміцність
Бор	AlB ₂	Рафінує, дещо подрібнює структуру сплаву і тим самим сприяє підвищенню пластичності

Більшість ливарних алюмінієвих сплавів (табл. 1.3) є доевтектичними. Після лиття вони містять дві основні структурні складові — первинні кристали розчину на основі алюмінію і евтектику.

Через крихкість первинних інтерметалідів заевтектичні сплави використовують рідко. Оскільки ливарні сплави повинні мати високу рідкоплинність, алюміній легують елементами, які утворюють евтектику.

Структура доевтектичних сплавів системи Al—Si складається зі світлих первинних α -кристалів розчину силіцію в алюмінії в дендритній формі і барвистої евтектики. Евтектика складається з α -розчину силіцію в алюмінії і виділень силіцію (точніше — розчину алюмінію в силіції).

Таблиця 1.3. Хімічний склад деяких ливарних

Марка сплаву	Масова частка, %			
	Si	Cu	Mg	Mn
Система Al—Si—Mg				
AK12 (AL2)	10,0—13,0	0,6	0,1	0,5
AK9ч (AL4)	8,0—10,5	0,3	0,17—0,30	0,2—0,5
AK7ч (AL9)	6,0—8,0	0,2	0,20—0,40	0,5
Система Al—Si—Cu				
AK5M (AL5)	4,5—5,5	1,0—1,5	0,35—0,60	0,5
AK5Mч (AL5-1)	4,5—5,5	1,0—1,5	0,40—0,55	0,1
AK5M7	4,5—6,5	6,0—8,0	0,20—0,50	0,5
AK12MMrH (AL30)	11,0—13,0	0,8—1,5	0,80—1,30	0,2
AK12M2MrH (AL25)	11,0—13,0	1,5—3,0	0,80—1,30	0,3—0,6
AK21M2,5H2,5	20,0—22,0	2,2—3,0	0,20—0,50	0,2—0,4
Система Al—Cu				
AM5 (AL19)	0,3	4,5—5,3	0,5	0,6—1,0
Система Al—Mg				
AMr10 (AL27)	0,2	0,15	9,5—10,5	0,1
Система Al — інші компоненти				
AK7Ц9 (AL11)	6,0—8,0	0,6	0,10—0,30	0,5

*Лиття у кокіль.

Для підвищення міцності й пластичності силуміни модифікують сотими частками відсотка натрію або стронцію. Під дією цих модифікаторів силіцій у евтектиці кристалізується у формі сильно розгалуженого скелета з тонкими гілками волокнистої форми. Перетини цих гілок у площині шліфа мають глобулярний або крапчастий вигляд.

Найшкідливішою домішкою в силумінах є залізо, оскільки воно з алюмінієм за наявності силіцію утворює крихкі сполуки Al_5FeSi (β -фаза). Ця сполука кристалізується у вигляді тонких пластин (на шліфі — голок), які є концентраторами напруг, чим різко знижують пластичність. Чим більше заліза в силуміні, тим довші ці пластини. Для підвищення пластичності в силуміни вводять манган (0,2—0,6%), який зв'язує Ферум у фазу $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$, що кристалізується в скелето-

алюмінієвих сплавів у чушках (ГОСТ 1583—93)

(Al — основа)						
Ti	Ni	Zn	Fe*	Pb	Sn	Інші
0,1	—	0,3	1,0	—	—	0,1 Zr
0,12Ti+Zr	0,1	0,3	0,9	0,05	0,01	0,1 Be
0,15Ti+Zr	—	0,3	1,0	0,05	0,01	0,1 Be
0,15Ti+Zr	—	0,3	1,0	—	0,01	0,1 Be
0,08—0,15	—	0,3	0,4	—	0,01	0,1 B; 0,15 Zr
—	0,5	0,6	1,2	—	—	0,3Pb+Sn+Sb
0,2	0,8—1,3	0,2	0,7	0,05	0,01	0,2Cr
0,05—0,2	0,8—1,3	0,5	0,8	0,1	0,02	0,2 Cr
0,1—0,3	2,2—2,8	0,2	0,9	0,05	0,01	0,2—0,4 Cr
0,15—0,35	0,1	0,2	0,30	—	—	0,2 Zr
0,05—0,15	0,05—0,2Zr	0,1	0,2	—	0,01	0,05—0,15 Be
—	—	7,0—12,0	1,2	—	—	—

подібній формі у складі евтектики. Іноді ця скелетна фаза нагадує ієрогліфи, і таку структурну складову називають «китайський шрифт». Більш компактні скелетні кристали надають менше крихкості силумінам порівняно з тонкими пластинами.

Сплав АК12 є єдиним промисловим силуміном, що належить до подвійної системи Al—Si (без добавок інших елементів). Він містить 10—13 % Si і в немодифікованому стані за структурою може бути доевтектичним, суто евтектичним і заевтектичним (12,2 % Si — евтектична точка в системі Al—Si). Натрій зміщує евтектичну точку в бік вищих концентрацій силіцію так, що модифікований силумін АК12 за структурою завжди є доевтектичним сплавом і складається з крапчастої евтектики ($\alpha + \text{Si}$) та невеликої кількості первинних кристалів α -розчину силіцію в алюмінії. Силумін АК12 після лиття під тиском має $\sigma_B \geq 160$ МПа і $\delta \geq 1$ %. Зміцнювальній термічній обробці сплав АК12 не піддають, оскільки її ефект незначний. Основний спосіб підвищення його механічних властивостей (при литті в піщані форми) — модифікування.

Добавки в силуміни міді і магнію дають змогу проводити зміцнювальну термічну обробку, оскільки ці елементи утворюють фази-зміцнювачі CuAl_2 і Mg_2Si . Типовими представниками цієї групи сплавів є промислові силуміни АК9ч (АЛ4) і АК7ч (АЛ9), які застосовують для лиття великих навантажених деталей і деталей складної конфігурації, що піддаються зварюванню.

Сплав АК7ч містить 7 % Si і 0,3 % Mg. У литому стані структура модифікованого силуміну АК7ч містить дві основні структурні складові — первинні кристали α -розчину силіцію і магнію в алюмінії та евтектику $\alpha + \text{Si}$. Силіцид магнію входить до складу потрібної евтектики $\alpha + \text{Si} + \text{Mg}_2\text{Si}$, кількість якої мала через невисокий вміст у сплаві магнію. Цю евтектику легко розпізнати за чорними скелетними кристалами Mg_2Si . При нагріванні під гартування до 535 °С силіцид магнію повністю переходить у α -розчин, а силіцій з евтектики, частково розчиняючись в алюмінії, коагулює. В результаті структура загартованого сплаву може не мати типової евтектичної будови. У сплаві АК7ч після гартування видно світлий фон — розчин силіцію та інших легуючих елементів в алюмінії і глобулярні часточки силіцію евтектичного походження. Якщо силумін забруднений залізом, то добре видно «ієрогліфи» $\text{Al}_{15}(\text{FeMn})_3\text{Si}_2$, що не переходять у твердий розчин при нагріванні під гартування. Відлитий у піщану форму модифікований, термічно оброблений сплав АК9ч має $\sigma_B \geq 230$ МПа і $\delta \geq 3$ %.

Евтектичні алюмінієво-силіцієві сплави є складнолегованими. При цьому вміст легуючих компонентів буває різним. Ці сплави використовують переважно як матеріал для поршнів двигунів внутрішнього згоряння. Типовими представниками подібних сплавів є АК12М2МгН (АЛ25) і АК12ММгН (АЛ30), хімічний склад яких наведено у табл. 1.3.

Разом з досить високими міцнісними характеристиками алюмінієво-силіцієві сплави евтектичного типу мають малу щільність, що дає можливість полегшити поршні й знизити інерційні сили. Крім того, сплави цієї групи мають порівняно високу теплопровідність, що дає змогу уникнути перегрівання поршня в процесі роботи. Завдяки порівняно низькому коефіцієнту лінійного розширення можна зменшити зазор між поршнем і чавунною гільзою і тим самим підвищити техніко-економічні показники двигуна. Крім зазначених властивостей евтектичні сплави мають порівняно високі технологічні характеристики.

Структура цих сплавів крім евтектики алюміній-силіцій може містити в собі дендрити алюмінію (α -твердого розчину), невелику кількість первинних кристалів силіцію (для сплавів з вищим вмістом силіцію) і кристали різних зміцнювальних фаз: S (Al_2CuMg), NiAl_3 , T ($\text{Al}_6\text{Cu}_3\text{Ni}$), Mg_2Si , $\text{Al}_{15}(\text{FeMn})_3\text{Si}_2$ та ін.

Заевтектичні алюмінієво-силіцієві сплави, як і евтектичні, є складнолегованими і застосовуються також переважно для виготовлення поршнів. Заевтектичні сплави відрізняються від евтектичних в основному підвищеним вмістом силіцію. Для підвищення жароміцності до складу заевтектичних легованих алюмінієво-силіцієвих сплавів вводять до 0,2 % Ti, 0,8 % Co або 0,4—0,6 % Cr, іноді підвищують вміст у сплаві міді до 3,5—4,5 % і нікелю до 2,5—3,5 %.

Крім того, заевтектичні сплави мають дещо меншу щільність, нижчий коефіцієнт лінійного розширення і вищу жароміцність. За технологічними властивостями ці сплави дещо поступаються евтектичним.

Структура заевтектичних сплавів складається з первинних кристалів силіцію (мають форму багатогранників) і евтектики, а також кристалів інтерметалевих фаз, які зміцнюють. Крім того, внаслідок нерівноважності процесу кристалізації в структурі сплавів цього типу (крім зазначених структурних складових) часто можна спостерігати також псевдопервинні дендрити алюмінію, що оточують первинні кристали силіцію.

У високоміцних ливарних алюмінієвих сплавах основною структурною складовою є твердий розчин. На відміну від силумінів ці сплави за

складом перебувають біля лівої межі заштрихованої зони ливарних сплавів (див. рис. 1.1). Вони розміщені в зоні складів, типових для деформівних сплавів. Саме тут спостерігається максимальний ефект зміцнення при гартуванні й старінні. Внаслідок низького вмісту евтектичного розплаву наприкінці кристалізації високоміцні ливарні алюмінієві сплави значно поступаються за ливарними властивостями силумінам. Через великий інтервал кристалізації ці сплави схильні до утворення усадкової пухкості. Сплави цієї групи належать до систем Al—Mg і Al—Cu, часто з добавками інших елементів.

Сплав АМг10 містить 9,5—10,5 % Mg і малі добавки титану (0,05—0,15 %), цирконію (0,05—0,20 %) і берилію (0,05—0,15 %). За складом він знаходиться лівіше від точки максимальної розчинності магнію в алюмінії (17,4 %). У литому стані структура сплаву складається з первинних зерен α -розчину магнію в алюмінії і нерівноважної евтектики, що вироджена у β -фазу (Mg_5Al_8). Кристали β -фази з евтектики розміщені по межах дендритних комірок α -фази. Через крихкість β -фази литі сплави з такою структурою малопластичні. Під час нагрівання під гартування β -фаза повністю переходить у твердий розчин, і загартовані сплави набувають високої пластичності. Незначні добавки титану і цирконію модифікують литу структуру. Крім того, у структурі іноді можна знайти інтерметаліди Al_3Ti і Al_3Zr у вигляді зірочок або дрібних пластинок усередині зерен α -розчину. Сплав АМг10 після гартування (режим Т4) має $\sigma_B \geq 320$ МПа і $\delta \geq 12$ %.

Ливарні алюмінієві сплави, виготовлені з вторинної сировини, — це, як правило, силуміни, тобто сплави алюмінію з силіцієм і добавками міді, магнію, мангану та ін.

За хімічним складом ливарні сплави, які виготовляють з вторинної алюмінієвої сировини, майже ідентичні сплавам з первинного алюмінію і відповідають вимогам ДСТУ 2839—94 (ГОСТ 1583—93). Основна відмінність — підвищений вміст заліза й інших металевих домішок, що часто не враховують.

Відходи виробництва, особливо стружка, містять велику кількість оксидів, вологи, мастила та інших неметалевих домішок. Тому ливарні сплави, виготовлені з вторинної сировини (АК9, АК5М2, АК5М7, АК5М4, АК8М3, АК9М2 та ін.), порівняно зі сплавами на основі первинного алюмінію (АК9пч, АК7пч, АК5Мч) дещо більше забруднені оксидами, розчиненими газами.

У міру вдосконалення методів переробки алюмінієвих відходів і брухту ступінь забруднення отриманих сплавів металевими і немета-

левими домішками знижується, і за якістю вони все більше наближаються до сплавів з первинної сировини.

Для підвищення механічних властивостей їх модифікують різними методами. В результаті модифікування доевтектичних силумінів α -твердий розчин набуває дендритної форми, а голки евтектичного силіцію — округлої. При модифікуванні заевтектичного силуміну подібнюються кристали первинного силіцію, що виділяється.

1.3. Деформівні алюмінієві сплави

У литому стані основна структурна складова деформівних сплавів — дендрити α -розчину на основі алюмінію. Під мікроскопом зазвичай видно межі світлих дендритних комірок, що є перетинами гілок дендритів. По цих межах розміщуються фази евтектичного походження. Евтектики в деформівних сплавах з'являються, як правило, через нерівноважну кристалізацію. Структури загартованих і зістарілих деформівних напівфабрикатів одноманітніші порівняно зі структурами злитків.

Для позначення промислових деформівних сплавів широко використовують історично сформоване літерно-цифрове і літерне маркування, в якому цифри найчастіше є умовним номером сплаву і не визначають вміст легуючого елемента. Пізніше, відповідно до ГОСТ 4784—97 «Алюміній і сплави алюмінієві деформівні. Марки», було введено паралельне з традиційним, повністю цифрове маркування деформівних алюмінієвих сплавів. Марка сплаву складається з чотирьох цифр. Перша цифра у всіх марках (1) позначає основу сплаву — алюміній. Друга цифра несе головне смислове навантаження, вказуючи систему, що є основою цього сплаву: 0 — технічний алюміній; 1 — система Al—Cu—Mg; 2 — системи Al—Cu—Mn і Al—Li; 3 — системи Al—Mg—Si і Al—Mg—Si—Cu; 4 — система Al—Mn; 5 — система Al—Mg; 9 — системи Al—Zn—Mg і Al—Zn—Mg—Cu. Останні дві цифри в марці вказують порядковий номер сплаву. Останній цифрі надається додаткове навантаження — всі деформівні сплави позначаються непарними цифрами (в тому числі й «нуль»). Таке цифрове маркування досі не знайшло широкого застосування. Тому й надалі використовують традиційні позначення марок деформівних алюмінієвих сплавів.

Залежно від здатності зміцнюватися при гартуванні й наступному старінні деформівні алюмінієві сплави поділяють на термічно незміцнювані та термічно зміцнювані.

Таблиця 1.4. Хімічний склад деяких деформівних

Марка сплаву	Масова частка, %			
	Si	Cu	Mg	Mn
Система Al				
АД00 (1010)	0,20	0,03	0,03	0,03
АД (1015)	1,0 Si+Fe	0,10	—	0,10
Системи Al—Cu—Mg				
Д1 (1110)	0,20—0,80	3,5—4,8	0,40—0,80	0,4—1,0
Д16 (1160))	0,50	3,8—4,9	1,2—1,8	0,3—0,9
АК4-1 (1141)	0,35	1,9—2,7	1,2—1,8	0,2
АКД8 (1380)	0,50—1,20	3,9—5,0	0,2—0,8	0,4—1,0
Система Al—Mn				
АМц (1400)	0,60	0,05—0,20	0,2	1,0—1,5
Система Al—Mg				
АМг6 (1560)	0,40	0,10	5,8—6,8	0,5—0,8
Система Al—Mg—Si				
АД31 (1310)	0,20—0,60	0,10	0,45—0,90	0,10
АВ (1340)	0,50—1,20	0,1—0,5	0,45—0,90	0,15—0,35
Система Al—Zn—Mg				
В95 (1950)	0,50	1,4—2,0	1,80—2,80	0,2—0,6

Термічно незміцнювані сплави піддають тільки відпалу, а термічно зміцнювані — гартуванню і старінню. Прикладом термічно незміцнюваного є сплав АМг6 (табл. 1.4). Він належить до групи магнелітів — сплавів на основі системи Al—Mg. Сплав випускається у вигляді різних деформівних напівфабрикатів — листів, плит, прутків, профілів, штамповок тощо. Широке використання цього сплаву зумовлене високою стійкістю проти атмосферної корозії та високою зварюваністю.

Основною структурною складовою сплаву АМг6 є твердий розчин магнію і мангану в алюмінії. У злитках по межах дендритних комірок алюмінієвого розчину знаходяться світлі компактні включення фази

алюмінієвих сплавів (ГОСТ 4784—97)

(Al — основа)				
Ti	Cr	Zn	Fe*	Інші
0,03	—	0,07	0,25	Не менш як 99,7 Al
0,15	—	0,10	—	Не менш як 99,0 Al
i Al—Cu—Mn				
0,15	0,1	0,3	0,7	0,2 Ti+Zr
0,15	0,1	0,25	0,5	0,2 Ti+Zr
0,02—0,10	0,1	0,3	0,8—1,4	0,8—1,4 Ni
0,15	0,1	0,25	0,7	0,2 Ti+Zr
0,1	—	0,1	0,7	—
0,02—0,10	—	0,2	0,4	0,0002—0,005 Be
0,15	0,10	0,2	0,5	—
0,15	0,25	0,2	0,5	—
0,05	0,10—0,25	5,0—7,0	0,5	0,1 Ni

β (Mg_5Al_8) евтектичного походження. Мікродобавки берилію, який вводять для зменшення окиснюваності, і титану — для подрібнення зерен, своїх структурних складових не утворюють.

Злитки сплаву АМг6 перед гарячою деформацією піддають відпалу, під час якого нерівноважні надлишкові фази переходять у твердий розчин на основі алюмінію. У деформівних напівфабрикатах цей розчин є основною структурною складовою. У відпаленому стані сплав має $\sigma_B = 340$ МПа і $\delta = 19$ %.

Прикладом термічно зміцнюваного деформівного алюмінієвого сплаву є сплав Д1, що належить до групи дуралюмінів — сплавів на основі

системи Al—Cu—Mg. Додатки міді, магнію і мангану входять до складу твердого розчину на основі алюмінію. У литому стані під мікроскопом виявляється вироджена евтектика у вигляді світлих включень CuAl_2 . Домішка силіцію утворює силіцид магнію, який входить у потрійну евтектику $\alpha + \text{CuAl}_2 + \text{Mg}_2\text{Si}$ і в четверну евтектику $\alpha + \text{CuAl}_2 + \text{Mg}_2\text{Si} + \text{S}$ (Al_2CuMg), що утворюються при нерівноважній кристалізації. Потрійна евтектика може утворювати острівці із суміші фаз і може бути структурно виродженою. Четверна евтектика, якої дуже мало, завжди структурно вироджена. Силіцид магнію на шліфі виявляється у вигляді чорних скелетних кристалів усередині острівців потрійної евтектики, а також у вигляді чорних гілочок з виродженої потрійної й четверної евтектик. Фаза S (Al_2CuMg) з виродженої четверної евтектики дає компактні включення коричневого кольору, чим і відрізняється від CuAl_2 . На шліфі в сплаві Д1 можна побачити також коричневі «ірогліфи» залізоманганістої складової.

Сплав Д1 піддають гартуванню і старінню. Після такої термічної обробки структура напівфабрикатів під світловим мікроскопом складається із зерен розчину міді, магнію і мангану в алюмінії, округлих світлих часточок фази CuAl_2 і чорних часточок Mg_2Si , що не повністю перейшли в розчин при нагріванні під гартування. Крім того, можна бачити світліші, ніж силіцид магнію, часточки залізоманганістої складової, нерозчинної у твердому алюмінії. Типові властивості зістарілого листа зі сплаву Д1: $\sigma_B = 410$ МПа і $\delta = 20$ %.

У разі незначного завищення температури гартування дуралюмінію можливий перепал, що виявляється у зниженні міцності, особливо пластичності. Перепал є непоправним браком.

Вторинні деформівні алюмінієві сплави. До деформівних сплавів, що виготовляються із вторинної сировини, належить порівняно невелика група сплавів, склад яких наведено в табл. 1.5.

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

З метою додаткового зміцнення сплавів їх піддають термічному обробленню (гартування—старіння). Основною фазою, що зміцнює, під час старіння є фаза CuAl_2 . Мідь і магній мають змінну розчинність, що забезпечує ефективність проведеної для цих сплавів термічної об-

Таблиця 1.5. Хімічний склад деформівних сплавів у чушках (ГОСТ 1131—76)

Марка сплаву	Масова частка, %								
	основних компонентів				домішок, не більше				
	Al	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Ni	Zn	Сума
АВД1	Основа	2,5—5,0	0,1—1,0	0,1—1,0	0,8	0,8	0,1	0,5	0,2
АВД1—1	Основа	2,5—3,5	0,2—0,7	0,1—0,7	0,8	0,8	0,1	0,3	0,2

робки. Під час нагрівання цих сплавів під гартування фази CuAl_2 , Al_2CuMg і Mg_2Si , що виділилися при кристалізації, переходять до складу твердого розчину, а при відпуску виділяються з розчину в диспергованому стані.

1.4. Спечені алюмінієві сплави

Порошкові сплави застосовують для виготовлення деталей і вузлів малонавантажених конструкцій, що працюють в інтервалі 250—500 °С, високонавантажених конструкцій, що працюють за кімнатної температури, у приладобудуванні.

Заготовки з порошкових алюмінієвих сплавів мають форму брикетів, з яких обробкою тиском виготовляють напівфабрикати. Розмір часточок порошкових сплавів становить 5—500 мкм, гранульованих — 1—2 мм.

Є дві групи спечених алюмінієвих сплавів промислового значення: САП (спечена алюмінієва пудра) і САС (спечений алюмінієвий сплав).

САП зміцнюється дисперсними часточками оксиду алюмінію, нерозчинного в алюмінії. На часточках надзвичайно дисперсної алюмінієвої пудри в процесі її розмелювання в кульових млинах в атмосфері азоту з регульованим вмістом кисню утворюється найтонша плівка оксидів алюмінію. Розмел здійснюють з додатком стеарину. В міру його випаровування разом із подрібненням первинних порошків відбувається їх зрощування в більші конгломерати, в результаті чого утворюється незаймиста на повітрі так звана важка пудра (щільність понад 1000 кг/м³). Пудру брикетують (у холодному й гарячому вигляді), спікають і піддають подальшій деформації — пресуванню, прокатуванню, куванню. Міцність САП зростає зі збільшенням вмісту первинного оксиду алюмінію (що виник на первинних порошках) до 20—22 %, за

Таблиця 1.6. Хімічний склад алюмінієвої пудри для спікання (ГОСТ 10096—76)

Марка матеріалу	Марка пудри	Масова частка, %, не більше (волога — 0,1 %)		
		Al ₂ O ₃	Fe	Жирові добавки
САП-1	АПС-1А	6—8	0,20	0,25
	АПС-1Б	6—8	0,25	0,25
САП-2	АПС-2	9—12	0,25	0,30
САП-3	АПС-3	13—17	0,25	0,30
САП-4	АПС-4	18—23	0,25	0,30

більшого вмісту — знижується. За вмістом оксиду алюмінію розрізняють 4 марки САП (табл. 1.6).

Тривале витримування САП за температури, нижчої від температури плавлення, мало впливає на його міцність. За температури понад 200—250 °С, особливо при тривалих витримках, міцність САП переверщує міцність усіх алюмінієвих сплавів, наприклад, при 500 °С межа міцності $\sigma_B = 50\text{—}80$ МПа. У вигляді листів, профілів, поковок, штамповок САП застосовується у виробках, де потрібна висока жароміцність і корозійна стійкість. САП містить велику кількість вологи, що адсорбована і міцно утримується окисненою поверхнею порошоків і холоднопресованих брикетів. Для видалення вологи застосовують нагрівання у вакуумі або нейтральному середовищі до температури, дещо нижчої від температури плавлення алюмінієвих порошоків або холоднопресованих брикетів. Дегазація САП підвищує його пластичність, і він задовільно зварюється аргонодуговим зварюванням.

Порошки сплавів САС-1 (що містить 25—30 % Si і 5—7 % Ni) і САС-2 (що містить 25—30 % Si і 5—7 % Fe) отримують розпиленням рідкого алюмінієвого сплаву в повітрі або в інертній атмосфері у спеціальних установках, що забезпечують надвисоку швидкість охолодження. Далі брикетуванням пульверизату, пресуванням і куванням прутків виготовляють вироби. Дрібні кристалики силіцію і фази NiAl₃ (або FeAl₃), впливаючи на матрицю, зміцнюють сплав, підвищують модуль пружності й пластичність, знижують коефіцієнт лінійного розширення. Цей ефект тим більший, чим дрібніші тверді часточки і менша відстань між ними.

Завдяки тому, що швидкість охолодження під час виплавлення порошоків і гранульованих сплавів дуже велика, вдається створити матеріали, що є пересиченими твердими розчинами. До них належать ви-

сокоміцні сплави Al—Zn—Mg—Cu, жароміцні Al—Fe—Ce, сплави зниженої щільності Al—Mg—Li, пластичні Al—Cr—Zr. Властивості порошкових і гранульованих сплавів, особливо пластичність, поліпшуються після вакуумної дегазації.

Ці алюмінієві сплави характеризуються низьким коефіцієнтом лінійного розширення і підвищеним модулем пружності. За цими характеристиками порошкові сплави помітно перевершують відповідні ливарні алюмінієві сплави.

1.5. Алюмінієві сплави-розкислювачі

Алюмінієві сплави-розкислювачі використовують для розкислення вуглецевих сталей, при виробництві феросплавів, металевого хрому, ванадієвих, титанових і кобальтових сплавів, отримуваних методами алюмотермії.

Сплави-розкислювачі зазвичай виготовляють з низькосортної вторинної алюмінієвої сировини або з первинного алюмінію, забрудненого розчином залізом. Хімічний склад цих сплавів наведений у ДСТУ 3753—98 (ГОСТ 295—98) «Алюміній для розкислення, виробництва феросплавів та алюмотермії. Технічні умови» (табл. 1.7).

Як випливає з даних таблиці, існування на них стандарту і, отже, споживача відкриває можливість переробки сировини з підвищеним вмістом магнію, цинку, свинцю, олова. Однак чим менше підприємство випускає сплавів-розкислювачів, тим вища його рентабельність і культура виробництва.

Нині розробляють методи виробництва фероалюмінію з низькосортних алюмінієвих відходів — зйомів, вигребів, що утворюються під час безфлюсового плавлення. Застосування такого фероалюмінію дасть

Таблиця 1.7. Хімічний склад алюмінію для розкислення, виробництва феросплавів і алюмотермії (ДСТУ 3753—98 (ГОСТ 295—98))

Марка сплаву	Масова частка, %							
	Al+Mg		домішок, не більше					
	усього, не менше	у тому числі Mg, не більше	Cu	Zn	Si	Pb	Sn	Сума
АВ97	97,0	0,1	0,1	0,1	1,0	0,1	0,1	3,0
АВ91	91,0	3,0	3,0	0,8	3,0	0,3	0,2	9,0
АВ87	87,0	3,0	3,8	3,3	5,0	0,3	0,2	13,0

можливість скоротити витрату алюмінію марок АВ для розкислення сталей.

Заводи виготовляють розкислювачі у вигляді гранул і чушок без пережимів або з пережимами. Гранули мають сочевицеподібну або кулясту форму. Маса окремих гранул може коливатися від 0,5 до 5,5 г.

Чушки постачаються споживачам у вигляді пакетів або в неупакованому вигляді, а гранули — у дерев'яних бочках, барабанах, поліетиленових і паперових мішках або в контейнерах. Оскільки зазначені сплави застосовують для розкислення сталей, а для виготовлення литих деталей їх не використовують, заводи-постачальники контролюють хімічний склад, зовнішній вигляд і наявність неметалевих домішок на поверхні чушок або гранул. Будь-яких додаткових операцій контролю чи дослідження якості сплавів для розкислення не виконують.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які метали є основними легуючими елементами алюмінієвих сплавів?
2. Які властивості характерні для алюмінієвих сплавів?
3. На які групи поділяють алюмінієві сплави за способом виготовлення виробів?
4. Які властивості повинні мати ливарні алюмінієві сплави?
5. Що є основною структурною складовою деформівних алюмінієвих сплавів?
6. Для чого алюмінієві сплави піддають гартуванню і старінню?
7. Які надлишкові фази найчастіше трапляються в структурі алюмінієвих виливків?
8. На які системи залежно від вмісту основних компонентів поділяють ливарні алюмінієві сплави?
9. Поясніть, як маркують ливарні алюмінієві сплави.
10. Що таке силуміни?
11. На які групи можна умовно розподілити силуміни за вмістом силіцію?
12. Чим зумовлені нижня та верхня межі вмісту силіцію в силумінах?
13. Як впливають легуючі елементи на властивості алюмінієво-силіцієвих сплавів?
14. Як класифікують алюмінієво-силіцієві сплави за призначенням?
15. Яку структуру мають доевтектичні сплави системи Al—Si?
16. Чому залізо є найшкідливішою домішкою в силумінах?
17. Як натрій впливає на структуру сплаву АК12?
18. Схарактеризуйте зміну структури сплаву АК7ч після гартування.
19. Яку структуру і властивості мають евтектичні алюмінієво-силіцієві сплави?
20. Яку структуру і властивості мають заевтектичні алюмінієво-силіцієві сплави?

21. Схарактеризуйте зміну структури сплаву АМг10 після гартування.
22. Схарактеризуйте ливарні сплави, виготовлені з вторинної алюмінієвої сировини.
23. Поясніть цифрове маркування деформівних алюмінієвих сплавів.
24. На які групи поділяють деформівні алюмінієві сплави?
25. Схарактеризуйте термічно незміцнювані сплави на прикладі сплаву АМг6.
26. Схарактеризуйте термічно зміцнювані деформівні сплави на прикладі сплаву Д1.
27. Чим відрізняються вторинні деформівні алюмінієві сплави від первинних? Де їх використовують?
28. Що таке САП?
29. Як отримують порошки сплавів САС?
30. Що таке сплави-розкислювачі? Де їх використовують?

2

ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНИЙ СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

2.1. Загальні відомості

На Дніпровському ордені Леніна алюмінієвому заводі імені С. М. Кірова (нині ВАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат» — ВАТ «ЗАЛК») у 1934 р. вперше у світовій практиці впроваджено промисловий спосіб отримання алюмінієво-силіцієвих сплавів прямим відновленням природних алюмосилікатів вуглецем у потужних рудно-термічних електропечах. Спосіб електротермічного виробництва алюмінієво-силіцієвих сплавів розроблено Всесоюзним науково-дослідним і проектним інститутом алюмінієвої, магнієвої та електродної промисловості (ВАМІ) і значно удосконалено на ВАТ «ЗАЛК». Отриманий первинний алюмінієво-силіцієвий сплав (силікоалюміній), що містить близько 35—40 % силіцію, розбавляють потім електролітичним або вторинним алюмінієм до складу, що відповідає різним маркам конструкційних алюмінієвих сплавів (ливарних і деформівних сплавів), рафінують від домішок і розливають у чушки.

Такий спосіб виробництва дає змогу повністю використовувати силіцій первинного алюмінієво-силіцієвого сплаву й одночасно скоротити витрату електролітичного алюмінію. Крім того, при виготовленні сплаву не потрібно спеціального добавляння заліза, оскільки воно міститься в необхідних кількостях у первинному сплаві.

Сировиною для виплавляння сплавів (силікоалюмінію) є руди, що містять одночасно глинозем Al_2O_3 і кремнезем SiO_2 : каоліни ($Al_2O_3 \times 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), кіаніти ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$), дистенсиліманіти ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$), низькозалізні боксити, різні алюмосилікати.

Переваги цього способу порівняно зі способом сплавляння електролітичного алюмінію з кристалічним силіцієм такі:

1) із застосуванням способу усувається протиріччя між значною поширеністю алюмінію в природі і практичною обмеженістю застосування його сировини для промислової переробки;

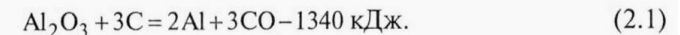
2) сучасна рудно-термічна піч (потужність 22,5 МВт) еквівалентна за потужністю 20—30 великим електролізерам. Оскільки електролізери працюють на низькій напрузі (5В), потужності їх дуже незначні (не більш як 1,3 МВт). Введення в дію великої кількості електролізерів пов'язане зі значними капітальними затратами та втратами енергії на численних контактах, електродах і шинопроводах. Крім того, за електротермічного способу виключаються втрати на перетворення струму, а також витрати на інші види енергії (пара, паливо), на виробництво глинозему та кріоліту.

Добова продуктивність за алюмінієм на 1 м² череня електролізера становить близько 40—50 кг, у потужній електропечі — 1400 кг/(м² × × добу) алюмінієво-силіцієвого сплаву (900 кг у перерахунку на алюміній).

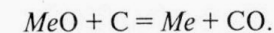
2.2. Фізико-хімічні основи виплавляння алюмінієво-силіцієвих сплавів

Багаторазові спроби здійснити процес термічного відновлення алюмінію з глинозему вуглецем ніколи не давали позитивних результатів, оскільки не вдавалося отримати чистий металевий алюміній. Як правило, в продукті реакції спільно містилися карбід алюмінію Al_4C_3 , оксид алюмінію Al_2O_3 і металевий алюміній. Продукт плавлення містить не більш як 60—70 % металевого алюмінію в щільній тістоподібній суміші з кристалами карбиду і корунду.

Реакцію відновлення оксиду алюмінію вуглецем можна виразити рівнянням



У загальному вигляді відновлення відбувається за рівнянням



Відновлення оксиду металу можливе тільки за умови, якщо вільна енергія утворення CO буде більшою, ніж вільна енергія утворення MeO.

Для визначення температури початку відновлення оксиду алюмінію (а також інших оксидів) вуглецем зручно користуватися графічним методом (рис. 2.1), який ілюструє зміну вільної енергії утворення оксидів з елементів залежно від температури за атмосферного тиску, а також зміну вільної енергії утворення оксиду карбону. З підвищенням температури вільна енергія утворення оксидів зменшується. У точках

3

ВИРОБНИЦТВО АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ СПОСОБОМ СПЛАВЛЯННЯ

3.1. Загальні відомості

Алюмінієві ливарні та деформівні сплави виготовляють методом сплавлення на ливарних ділянках металургійних і машинобудівних заводів та у плавильних цехах металургійних заводів, що переплавляють вторинну алюмінієву сировину.

Технологічний процес виробництва алюмінієво-силіцієвих сплавів сплавленням рідкого електролітичного алюмінію та кристалічного силіцію складається з таких основних стадій: підготовка шихтових матеріалів; вибір і підготовка плавильних агрегатів; плавлення (приготування сплаву); рафінування; модифікування; розливання сплаву в чушки (рис. 3.1).

3.2. Підготовка шихтових матеріалів

До шихтових матеріалів відносять усі матеріали, необхідні для отримання сплавів певного хімічного складу:

- алюміній-сирець рідкий або твердий марок А7, А6, А5, А0 (ГОСТ 11069—2001);
- кристалічний силіцій (кремній) марок Кр1, Кр2 і Кр3 (ГОСТ 2169—69);
- алюміній-сирець з підвищеним вмістом силіцію, отриманий при переплавленні зйомів виробництва силуміну;
- легуючі матеріали, необхідні для готування сплавів різних марок;
- алюмінієві лігатури або проміжні сплави;
- відходи виробництва (браковані деталі, випори, ливники, стружка, обрізки та ін.).

Алюміній. На алюмінієвих заводах для виробництва сплавів застосовують алюміній у рідкому стані. При цьому марку алюмінію для ви-

готовлення сплаву певного складу вибирають залежно від вмісту в ньому домішки заліза (здебільшого шкідливої), а також від вмісту заліза в сплаві, що виготовляється.

Рідкий алюміній має надходити на плавку нагрітим до температури 700—780 °С. Перед використанням рідкий алюміній слід піддавати

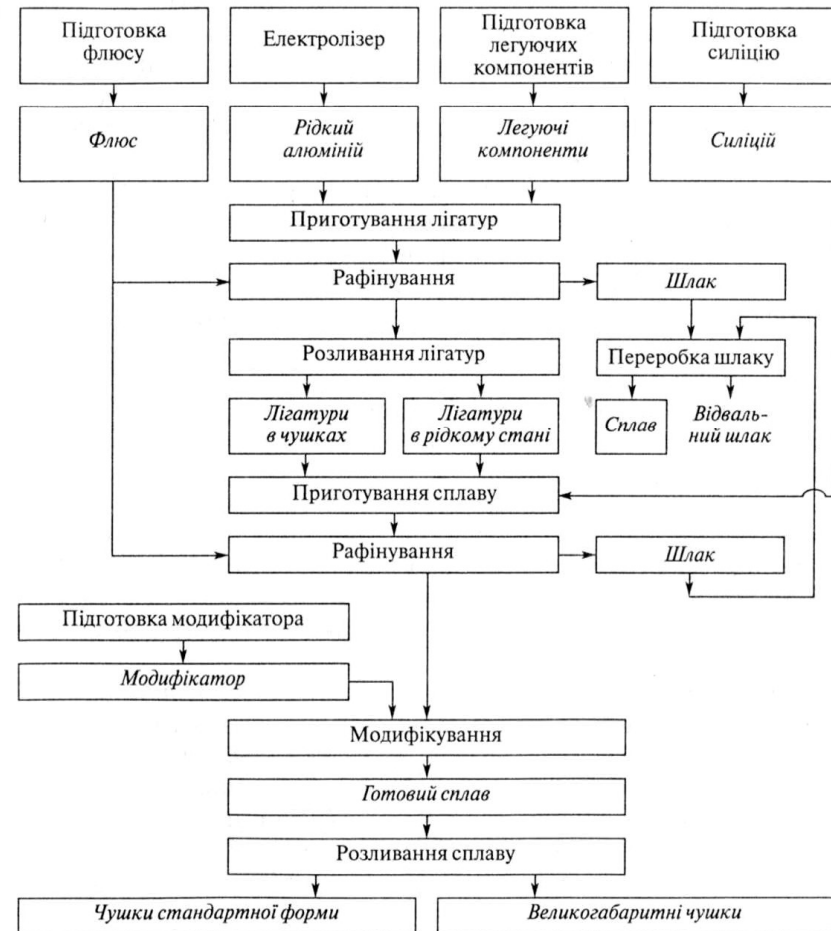


Рис. 3.1. Технологічна схема виробництва алюмінієвих сплавів методом сплавлення

6. У яких плавильних агрегатах виготовляють алюмінієво-силіцієві сплави способом сплавляння?
7. Які недоліки має поворотна відбивна електропіч САН?
8. Унаслідок чого відбувається енергійне перемішування металу в індукційній тигельній печі?
9. Для чого використовують дуплекс-процес при отриманні алюмінієвих сплавів способом сплавляння?
10. Як виготовляють алюмінієво-силіцієві сплави в електропечі САН?
11. Як виготовляють заевтектичні та евтектичні алюмінієво-силіцієві сплави в індукційних тигельних печах?
12. Як виготовляють алюмінієво-магнієві сплави в індукційних тигельних печах?



ПРИГОТУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ ЛІГАТУР

4.1. Вимоги до алюмінієвих лігатур

У ливарному виробництві значну частку в об'ємі шихтових матеріалів займають лігатури (30—70 % залежно від хімічного складу сплавів). Лігатурою називають проміжний сплав, що містить у досить великій кількості легуючий метал, який додають у розплав для отримання необхідного хімічного складу, структурних і технологічних властивостей виливків і злитків. Як правило, лігатури для алюмінієвих сплавів містять тільки один легуючий компонент, але іноді готують потрійні і четверні лігатурні сплави.

Потреба в застосуванні лігатур зумовлена малою швидкістю розчинення тугоплавких компонентів у чистому вигляді в рідкому алюмінії, а також підвищенням ступеня засвоєння легуючих елементів, що легко окиснюються. За допомогою лігатур у розплав значно легше ввести елементи, які мають різко відмінну від основного розплаву температуру плавлення, високу пружність пари і легко окиснюються за температур готування розплаву, а також у тих випадках, коли введення легуючого елемента безпосередньо в розплав супроводжується сильним екзотермічним ефектом, що призводить до значного перегрівання розплаву.

У зв'язку з уведенням лігатур в основний розплав у великій кількості, спадковим впливом шихтових матеріалів на структуру виливків і злитків, а також із підвищеними вимогами до якості виливків та напівфабрикатів до чушок лігатур висувають низку вимог.

1. Досить низька температура плавлення лігатури, що дасть можливість забезпечити мінімальну температуру присадки елемента, яка на 100—200 °С вища від температури ліквідусу (табл. 4.1). Низька температура ліквідусу лігатури сприяє швидкому розчиненню легуючого елемента і його однорідному розподілу по об'єму розплаву, особливо за умови досить інтенсивного і рівномірного перемішування останнього.

5

ВИПЛАВЛЯННЯ ЛИВАРНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ІЗ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ

5.1. Підготовка вторинної алюмінієвої сировини до плавлення

5.1.1. Терміни і визначення

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

Терміни і визначення вторинної кольорової металургії встановлені ДСТУ 3790—98 «Металургія кольорових металів. Терміни та визначення основних понять», що зобов'язує застосовувати їх у науці, техніці та виробництві.

Вторинні ресурси — весь обсяг відходів, що утворюються в сфері матеріального виробництва й у невиробничій сфері. Відходи залучаються в колообіг безпосередньо в місцях їх утворення та через систему заготівлі, що поставляє вторинні ресурси у виробництво.

Потенційні вторинні ресурси — весь обсяг відходів, що утворюються у 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 чи моральне зношення втратила свої споживчі якості і не використовується за прямим призначенням.

Відходи виробництва і споживання поділяють на:

— *відходи, що утилізуються*, — відходи, для яких існує технологія переробки, залучення їх у колообіг;

— *відходи, що не утилізуються*, — відходи, для яких відсутня технологія переробки або за наявності технології утилізації залучати їх у колообіг економічно недоцільно.

Вторинна кольорова металургія — підгалузь кольорової металургії, що займається заготівлею і переробкою брухту, а також відходів кольорової металургії.

Брухт кольорових металів — вироби й матеріали, що стали непридатними або 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 забрудненнями (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.

5.1.2. Класифікація алюмінієвих відходів і брухту

Класифікація відходів — поділ відходів за фізичними, хімічними властивостями та якістю. Вторинну сировину поділяють на класи, групи і сорти відповідно до ДСТУ 3211—95 (ГОСТ 1639—93) «Брухт і відходи кольорових металів і сплавів. Загальні технічні умови».

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, деформівні, 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 (обрізки прутків, листів, профілів, стружка тощо);

— відходи ливарного виробництва (ливники, надливи, зйоми, виплески та ін.);

34. Як класифікують методи рафінування алюмінієвих сплавів?
35. Від яких домішок можна очистити алюмінієвий розплав відстоюванням?
36. У яких випадках доцільно застосовувати вакуумне рафінування?
37. У чому суть рафінування розплаву обробкою ультразвуком?
38. На основі яких процесів відбувається дегазація й очищення сплавів від твердих включень під час оброблення розплавів інертними або активними газами?
39. У чому суть механізму видалення оксидної плівки з розплаву флюсами?
40. Як відбувається електрофлюсове рафінування алюмінієвих розплавів?
41. Якими методами рафінують алюмінієві розплави від магнію?
42. У результаті яких процесів відбувається рафінування алюмінієвих розплавів від заліза?

6

ЛИТТЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ НА ЧУШКИ, ЗЛИТКИ, ЗАГОТОВКИ

6.1. Розливання алюмінієвих сплавів на чушки

Готові алюмінієві сплави розливають на чушки як із плавильної печі (наприклад, при виробництві сплавів в електропечі САН), так і з роздавального міксера (наприклад, при виробництві сплаву в індукційній тигельній печі ІАТ).

У деяких випадках розливання сплаву на чушки допускається з ливарного ковша. Недоліком такого розливання є необхідність певного перегрівання розплаву, що призводить до підвищення газовмісту сплаву. Крім того, при розливанні сплаву з ковша складніше забезпечити сталий температурний режим лиття, що також негативно позначається на якості чушкового сплаву.

Нині на алюмінієвих заводах алюмінієві сплави розливають на чушки різної маси (15, 300 і 600 кг). Форма і розміри цих чушок наведені відповідно на рис. 6.1—6.3. Чушки масою 15 кг можуть бути простої (рис. 6.1) чи взаємозамкненої, конструкції Іркутської філії ВАМІ або СКБ КМ (рис. 6.2), форми, що дає змогу отримати стійкі штабелі, які за умови обв'язування їх сталеву стрічкою або алюмінієвою катанкою витримують без руйнування умови транспортування. Крім того, ця форма чушки дає можливість здійснити механізацію вантажно-розвантажувальних робіт.

Великогабаритні (Т-подібні) чушки масою 300 кг і 600 кг (рис. 6.3) порівняно з чушками масою 15 кг також мають низку переваг: усувається необхідність пакетування та обв'язування чушок, вантажно-розвантажувальні роботи виконуються значно швидше і з великим коефіцієнтом використання складських приміщень. Крім того, досвід використання великогабаритних чушок алюмінієво-силіцієвих сплавів на Волзькому автомобільному заводі показав, що відбувається скорочення часу завантаження шихти в плавильну піч, знижується кількість

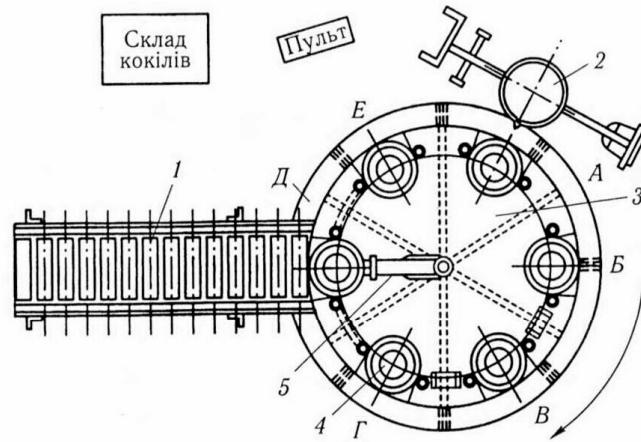


Рис. 6.9. Багатопозиційна карусельна кокільна машина:

1 — приймальний рольганг; 2 — ківш; 3 — обертова карусель; 4 — кокіль; 5 — пневмоциліндр

зиції Д — розкриття кокіля і зіштовхування виливка пневмоциліндром на приймальний рольганг, на позиції Е — очищення, фарбування і змикання половин кокілів, тобто підготовка їх до наступного циклу.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як розливають алюмінієві сплави на чушки?
2. Яку масу мають чушки алюмінієвих сплавів?
3. Які переваги мають великогабаритні чушки?
4. Яку будову має ливарний конвеєр?
5. Як укладають чушки у штабелі?
6. Які вимоги висувають до створення нової форми чушок?
7. У чому полягає суть методу напівбезперервного лиття злитків?
8. Яку конструкцію має установка напівбезперервного лиття?
9. З яких операцій складається процес відливання великогабаритних чушок?
10. Як отримують напівфабрикати методом екструзії?
11. Як виготовляють алюмінієву катанку?
12. Як відливають фасонні заготовки?

7

ПЕРЕРОБКА АЛЮМІНІЄВИХ ШЛАКІВ

7.1. Характеристика шлаків

У процесі виготовлення алюмінієвих сплавів утворюються шлаки трьох типів (табл. 7.1):

- «сухі» зйоми (згар) — шлаки електроплавки й відбивної плавки без флюсу або з незначною (не більш як 1–3 % маси шихти) витратою флюсу, а також охолодь з розливних ковшів, піна та виплески, що утворюються під час виливання рідкого алюмінію;
- сольові шлаки — шлаки відбивної плавки відходів і брухту алюмінієвих сплавів зі значною (до 30 % маси шихти) витратою флюсу;
- вигреби — череневі шлаки, що містять оксид феруму, часточки вогнетривкої футеровки, сталеві включення, охолодь (продукт взаємодії розплавленого алюмінію з футеровкою). Вигреби становлять четверту частину загальної кількості шлаків, що утворюються.

Залежно від вмісту металу і джерела утворення алюмінієві шлаки на заводах Вторкопальормету умовно поділяють на привізні з масовою часткою алюмінію до 30–80 % та власного виробництва: малосольові, що містять 30–40 % алюмінію і 5–10 % солей, і сольові, що містять до 30 % алюмінію і 40–60 % солей.

Способи переробки алюмінієвих шлаків поділяють на три групи:

- сухі — механічна переробка холодних шлаків;
- термічні — переробка рідких шлаків у гарячому стані;
- гідрометалургійні — вилуговування.

7.2. Сухі способи переробки шлаків

Сухі способи найпоширеніші для переробки алюмінієвих шлаків. Вони полягають у дробленні охолодженого шлаку та відокремленні королеків металу (рис. 7.1). На установці «Remetall» (Іспанія) шлак крупністю понад 1000 × 400 мм піддають дробленню в дробарці удар-

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Баранов А. А., Микуляк О. П., Резняков А. А. Технология вторичных цветных металлов и сплавов. — К.: Вища шк., 1988. — 163 с.
2. Беляев А. И., Рапопорт М. Б., Фирсанова Л. А. Электрометаллургия алюминия. — М.: Metallurgizdat, 1953. — 720 с.
3. Ветюков М. М., Цыплаков А. М., Школьников С. Н. Электрометаллургия алюминия и магния. — М.: Metallurgiya, 1987. — 320 с.
4. Галевский Г. В., Кулагин Н. М., Минцис М. Я. Metallurgiya вторичного алюминия. — Новосибирск: Наука, 1998. — 289 с.
5. Койбаш В. А., Резняков А. А. Оборудование предприятий вторичной цветной металлургии. — М.: Metallurgiya, 1976. — 232 с.
6. Колобов Г. А. Первичная переработка отходов легких цветных металлов (алюминия, магния, титана). — К.: УМК ВО, 1992. — 96 с.
7. Колобов Г. А., Бредихин В. К., Чернобаев В. М. Сбор и обработка вторичного сырья цветных металлов. — М.: Metallurgiya, 1993. — 288 с.
8. Ларионов Г. В. Вторичный алюминий. — М.: Metallurgiya, 1967. — 271 с.
9. Ливанов В. А., Габидуллин Р. М., Шипилов В. С. Непрерывное литье алюминиевых сплавов. — М.: Metallurgiya, 1977. — 168 с.
10. Напалков В. И., Бондарев Б. И., Тарарышкин В. И., Чухров М. В. Лигатуры для производства алюминиевых и магниевых сплавов. — М.: Metallurgiya, 1983. — 160 с.
11. Николаев И. В., Москвитин В. И., Фомин Б. А. Metallurgiya легких металлов. — М.: Metallurgiya, 1997. — 432 с.
12. Плавка и литье алюминиевых сплавов: Справ. / М. Б. Альтман, А. Д. Андреев, Г. А. Балахонцев и др.; Под ред. В. И. Добаткина. — М.: Metallurgiya, 1983. — 352 с.
13. Промышленные алюминиевые сплавы: Справ. / С. Г. Алиева, М. Б. Альтман, С. М. Амбарцумян и др.; Под ред. Ф. И. Квасова, И. Н. Фридлянде-ра. — М.: Metallurgiya, 1984. — 526 с.
14. Рагулина Р. И., Емлин Б. И. Электротермия кремния и силумина. — М.: Metallurgiya, 1972. — 239 с.
15. Семенов Г. А., Ефремов Н. Л., Баранов М. И. Организация заготовки и переработки лома и отходов цветных металлов. — М.: Metallurgiya, 1981. — 360 с.
16. Теория, конструкция и расчеты металлургических печей / В. А. Кривандин, Ю. П. Филимонов. — М.: Metallurgiya, 1986. — Т. 1. — 479 с.
17. Технология вторичных цветных металлов / И. Ф. Худяков, А. П. Дорошкевич, С. Э. Кляйн и др. — М.: Metallurgiya, 1981. — 280 с.
18. Фомин Б. А., Москвитин В. И., Махов С. В. Metallurgiya вторичного алюминия. — М.: ЭКОМЕТ, 2004. — 240 с.
19. Цветное литье: Справ. / Н. М. Галдин, Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук и др.; Под общ. ред. Н. М. Галдина. — М.: Машиностроение, 1989. — 528 с.
20. Шкляр М. С. Печи вторичной цветной металлургии. — М.: Metallurgiya, 1987. — 216 с.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
Розділ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ І ХАРАКТЕРИСТИКА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ	8
1.1. Класифікація алюмінієвих сплавів	8
1.2. Ливарні алюмінієві сплави	9
1.3. Деформівні алюмінієві сплави	19
1.4. Спечені алюмінієві сплави	23
1.5. Алюмінієві сплави-розкислювачі	25
<i>Контрольні запитання</i>	26
Розділ 2. ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНИЙ СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ	28
2.1. Загальні відомості	28
2.2. Фізико-хімічні основи виплавляння алюмінієво-силіцієвих сплавів	29
2.3. Підготовка і розрахунок шихти для відновної плавки	33
2.4. Руднотермічні печі для виплавляння первинного алюмінієво-силіцієвого сплаву	41
2.4.1. Типи руднотермічних печей	41
2.4.2. Конструкція і принцип дії руднотермічної печі	43
2.5. Технологія отримання первинного алюмінієво-силіцієвого сплаву	45
2.6. Переробка первинного сплаву на ливарні алюмінієві сплави	49
<i>Контрольні запитання</i>	55
Розділ 3. ВИРОБНИЦТВО АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ СПОСОБОМ СПЛАВЛЯННЯ	56
3.1. Загальні відомості	56
3.2. Підготовка шихтових матеріалів	56

3.3. Розрахунок шихти	60
3.4. Плавильні печі	62
3.5. Технологія виплавляння алюмінієвих сплавів	70
<i>Контрольні запитання</i>	74
Розділ 4. ПРИГОТУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ ЛІГАТУР	77
4.1. Вимоги до алюмінієвих лігатур	77
4.2. Способи виробництва лігатур	80
4.3. Способи введення лігатур	81
4.4. Бінарні алюмінієві лігатури	82
4.5. Багатокомпонентні алюмінієві лігатури	84
<i>Контрольні запитання</i>	85
Розділ 5. ВИПЛАВЛЯННЯ ЛИВАРНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ІЗ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ	86
5.1. Підготовка вторинної алюмінієвої сировини до плавлення	86
5.1.1. Терміни і визначення	86
5.1.2. Класифікація алюмінієвих відходів і брухту	87
5.1.3. Принцип створення і елементи побудови технологічної схеми переробки вторинної алюмінієвої сировини	90
5.1.4. Сортування сировини за сплавами і способи розпізнавання типів сплавів	93
5.1.5. Розбирання вторинної алюмінієвої сировини	95
5.1.6. Транспортування і зберігання вторинної алюмінієвої сировини	96
5.2. Фізико-хімічні основи плавлення вторинної алюмінієвої сировини	98
5.2.1. Вплив теплофізичних характеристик алюмінію на процес плавлення	98
5.2.2. Хімічні взаємодії в процесі плавлення	100
5.2.3. Джерела втрат металу під час плавлення	104
5.3. Печі для плавлення вторинної алюмінієвої сировини	105
5.3.1. Вибір плавильних печей	105
5.3.2. Паливні печі	107

5.3.3. Електричні печі	119
5.4. Розрахунок шихти та складання матеріального і теплового балансів для виплавляння алюмінієвих сплавів із вторинної сировини	122
5.4.1. Розрахунок шихти для виплавляння алюмінієвих сплавів із вторинної сировини	122
5.4.2. Складання матеріального балансу для виплавляння алюмінієвих сплавів у відбивній печі	134
5.4.3. Тепловий баланс плавлення вторинної алюмінієвої сировини	138
5.5. Технологія плавлення вторинної алюмінієвої сировини	147
5.5.1. Технологія плавлення вторинної алюмінієвої сировини у паливних печах	147
5.5.2. Технологія плавлення вторинної алюмінієвої сировини в електричних печах	153
5.6. Рафінування алюмінієвих сплавів	155
5.6.1. Класифікація методів рафінування алюмінієвих сплавів	155
5.6.2. Неадсорбційні методи рафінування	156
5.6.3. Адсорбційні методи рафінування	160
5.6.4. Рафінування алюмінієвих сплавів від металевих домішок	169
5.7. Розрахунок металургійного обладнання	170
5.7.1. Розрахунок сушильного барабана	170
5.7.2. Конструктивний розрахунок короткобарабанної печі	172
5.7.3. Конструктивний розрахунок індукційної тигельної печі	174
<i>Контрольні запитання</i>	178

Розділ 6. ЛИТТЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ НА ЧУШКИ, ЗЛИТКИ, ЗАГОТОВКИ

6.1. Розливання алюмінієвих сплавів на чушки	181
6.2. Лиття злитків напівбезперервним методом	186
6.3. Отримання напівфабрикатів методом екструзії	190
6.4. Лиття заготовок для прокатування дроту	190
6.5. Лиття фасонних заготовок	191
<i>Контрольні запитання</i>	192

Розділ 7. ПЕРЕРОБКА АЛЮМІНІЄВИХ ШЛАКІВ

7.1. Характеристика шлаків	193
7.2. Сухі способи переробки шлаків	193
7.3. Термічні способи переробки шлаків	195
7.4. Гідрометалургійні способи переробки шлаків	197
<i>Контрольні запитання</i>	201
<i>Список рекомендованої літератури</i>	202

Навчальне видання

*Нестеренко Тетяна Миколаївна
Нестеренко Ольга Миколаївна
Колобов Герман Олександрович
Грицай Володимир Петрович*

ВИРОБНИЦТВО

АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

з рудної
та вторинної
сировини

Оправа і титул художника *О. М. Іценка*
Художній редактор *Г. С. Муратова*
Технічний редактор *А. І. Омоховська*
Коректори: *Л. М. Байбородіна, О. Б. Лисицька*
Комп'ютерна верстка *Н. П. Довлетукаєвої*

Підп. до друку 05.03.2007. Формат 60 × 84/16.
Папір офс. № 1. Гарнітура Newton STT. Офс. друк.
Ум. друк. арк. 12,09. Обл.-вид. арк. 12,13.
Тираж 500 пр. Вид. № 10693. Зам. № 7–56

Видавництво «Вища школа», вул. Гоголівська, 7г, м. Київ, 01054

Свідоцтво про внесення до Держ. реєстру
від 04.12.2000 серія ДК № 268

Надруковано з плівок, виготовлених у видавництві «Вища школа»,
у ТОВ «Друкарня «Бізнесполіграф»»,
вул. Віскозна, 8, м. Київ, 02094

Свідоцтво про внесення до Держ. реєстру
від 07.12.2006 серія ДК № 2715

