

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія



Т.М. Нестеренко
В.П. Грицай

ВИРОБНИЦТВО СПЛАВІВ

КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

Методичні вказівки до лабораторних занять

для студентів ЗДІА
спеціальності 6.090402 “Металургія кольорових металів”
денної та заочної форм навчання

Запоріжжя
2010

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізька державна інженерна академія

**ВИРОБНИЦТВО СПЛАВІВ
КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ**

Методичні вказівки до лабораторних занять

*для студентів ЗДІА
спеціальності 6.090402 “Металургія кольорових металів”
денної та заочної форм навчання*

*Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри МКМ,
протокол № 20 від 11.05.10 р.*

Виробництво сплавів кольорових металів. Методичні вказівки до лабораторних занять для студентів ЗДІА спеціальності 6.090402 “Металургія кольорових металів” денної та заочної форм навчання /Укл. Т.М. Нестеренко, В.П. Грицай. – Запоріжжя: ЗДІА, 2010. – 75 с.

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності “Металургія кольорових металів”, які виконують лабораторні роботи з дисципліни “Виробництво сплавів кольорових металів”. Вказівки містять теоретичні відомості, методики досліджень і опис установок, що використовуються для вивчення основних металургійних процесів отримання сплавів кольорових металів (плавлення, рафінування, модифікування та ін.), визначення технологічних властивостей та якості сплавів, контрольні запитання та перелік рекомендованої літератури.

Укладач: *Т.М. Нестеренко – канд. техн. наук, доцент*

В.П. Грицай – канд. техн. наук, професор

Відповідальний за випуск : *зав. кафедрою МКМ
професор І.Ф. Червоний*

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Лабораторна робота № 1. Рідкоплинність сплавів кольорових металів..... | 4 |
| Лабораторна робота № 2. Вільна і утруднена лінійна усадка сплавів кольорових металів..... | 12 |
| Лабораторна робота № 3. Об'ємна усадка сплавів кольорових металів..... | 21 |
| Лабораторна робота № 4. Визначення вмісту водню в алюмінієвому розплаві..... | 30 |
| Лабораторна робота № 5. Плавлення і рафінування алюмінієвих сплавів..... | 42 |
| Лабораторна робота № 6. Плавлення і рафінування магнієвих сплавів..... | 56 |
| Лабораторна робота № 7. Плавлення і рафінування мідних сплавів..... | 68 |
| Перелік рекомендованої літератури..... | 75 |

Лабораторна робота № 1

РІДКОПЛИННІСТЬ СПЛАВІВ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

Мета роботи:

- вивчення технологічних властивостей сплавів кольорових металів;
- дослідження впливу температури перегріву та складу сплаву на його рідкоплинність.

Теоретична частина

Сплав – це речовина, яку одержують поєднанням (сплавлянням, спіканням, електролізом) двох або більше елементів. Однак, зазвичай, сплави одержують розплавлянням двох або більше елементів (металів або неметалів) з наступною їх кристалізацією (твердінням).

Структура і властивості сплавів значною мірою відрізняються від структури і властивостей елементів, що їх утворюють. Сплав, виготовлений переважно з металів, який має металеві властивості, називають *металевим сплавом*. Порівняно з чистими металами сплави мають більш цінний комплекс механічних, фізичних і технологічних властивостей. Залежно від кількості металів (компонентів), що входять до складу розплаву, розрізняють двокомпонентні, трикомпонентні або багатоконпонентні сплави (системи). У розплаві всі компоненти сплаву знаходяться в атомарному стані, утворюючи рідкий однорідний розчин з однаковим хімічним складом. Під час твердіння (кристалізації) атоми компонентів розташовуються у певному порядку, утворюючи кристалічну речовину – сплав.

Всі властивості металевих сплавів можна розділити на чотири групи: фізичні, хімічні, технологічні і механічні.

Фізичні властивості – колір, щільність, плавкість, електро- і теплопровідність, теплоємність, коефіцієнт лінійного розширення, магнітні і ін.

Хімічні властивості – окислюваність, розчинність, корозійна стійкість.

Механічні властивості – міцність, в'язкість, пружність, пластичність.

Технологічні властивості – рідкоплинність, ковкість, зварюваність, оброблюваність ріжучими інструментом. Знання технологічних властивостей допомагає грамотно вибрати спосіб виготовлення деталей.

Особливо слід виділити ливарні властивості сплавів. Найважливішими ливарними властивостями сплавів є рідкоплинність, усадка, схильність до утворення напруги, ліквіація.

Якість виливок, їх придатність оцінюють за багатьма ознаками. Обов'язковою з них є відповідність по геометрії. Для забезпечення цієї відповідності необхідно, щоб рідкий метал, який заливається у ливарну форму, заповнив всі її порожнини. Тільки за цієї умови виливок повністю і точно відтворюватиме внутрішні контури форми.

Розплави кольорових металів і сплавів є типовими ньютонівськими рідинами. У каналах ливникових систем розплави течуть як у трубопроводах, а у порожнинах ливарних форм можуть отримати розвиток також течія відкритим струменем і напірна течія у відкритих каналах (руслах). Тому багато параметрів заповнення ливарної форми можна встановити за законами гідравліки. Використовуючи рівняння Д. Бернуллі, наприклад, при відомих розмірах елементів ливникової системи, визначають тривалість заповнення (залиття). Або, навпаки, по заданих металостатичному натиску і тривалості заповнення знаходять швидкість перебігу металу в порожнинах ливарної форми і площі перетинів елементів ливникової системи.

Проте заповнення ливарної форми не є чисто гідравлічним процесом. Перебіг металу у формі завжди супроводжується його охолодженням. При температурі нижчій за температуру ліквідуса в розплаві утворюються кристали. У міру накопичення твердої фази швидкість течії зменшується, потім течія припиняється. Отже, можливість заповнення ливарної форми обмежена часом, протягом якого розплав, знаходячись в рідкому і рідкотвердому станах, зберігає здатність текти. Цей час для одного і того ж сплаву за однакових гідравлічних умов заповнення визначається тепловими умовами – початковими температурами рідкого металу і ливарної форми, їх теплофізичними властивостями, особливостями передавання теплоти через межу розділу метал–форма і тепловипромінюванням в порожнині ливарної форми. Його можна приблизно розрахувати за теплофізичними законами.

Разом з тим різні сплави за порівнянних теплових і однакових гідравлічних умов мають різну здатність текти і заповнювати ливарну форму. Це обумовлено перш за все особливостями їх кристалізації. Сплави з великим інтервалом кристалізації тверднуть з утворенням розгалужених дендритів. Останні ростуть перпендикулярно поверхні охолодження, тобто уперек перетину заповнюваного каналу. При цьому його «живий» перетин зменшується і текти металу стає важко. Тому такі сплави заповнюють форму гірше, ніж чисті метали і сплави (евтектичні і хімічні сполуки), які кристалізуються

при постійній температурі з утворенням кристалів компактної форми.

Окрім заповнення форми важливою є точність відтворення виливком рельєфу поверхні форми. У цьому велика роль належить капілярним силам. Зазвичай ливарна форма не змочується рідким металом, тому капілярні сили перешкоджають відтворенню тонкого рельєфу. Чим більший поверхневий натяг розплаву і краєвий кут змочування поверхні ливарної форми і чим менше розміри виступів і западин на поверхні, тим важче забезпечити точне відтворення виливком рельєфу форми. Цьому також перешкоджають оксидні плівки, що утворюються на поверхні розплавів. Здатність сплаву відтворювати рельєф поверхні форми називають *формозаповнюваністю*.

Таким чином, заповнення рідким металом порожнини ливарної форми є складним процесом. На повноту заповнення ливарної форми впливають три групи чинників. До першої групи відносяться властивості сплаву: поверхневий натяг, теплопровідність, теплоємність, теплота і інтервал кристалізації, схильність до поверхневого окислення та ін. Другу групу чинників складають властивості ливарної форми: теплоакумуюча здатність, газопроникність, шорсткість поверхні та ін. До третьої групи відносяться умови заливання: металостатичний натиск, надмірний зовнішній тиск на розплав, перегрівання розплаву, температура ливарної форми та ін. Якщо стабілізувати другу і третю групи чинників, то повнота заповнення ливарної форми цілком залежить від властивостей сплаву. Здатність сплаву текти і заповнювати стандартну ливарну форму називається *рідкоплинністю*.

Рідкоплинність визначають експериментально за спеціальними технологічними пробами, які отримують за однакових умов заливання. Для забезпечення ідентичних умов заповнення проб при порівнянні рідкоплинності різних сплавів Ю.А. Нехендзі запропонував розрізняти дійсну, умовно-дійсну і практичну рідкоплинність.

Дійсна рідкоплинність сплавів визначається при їх однаковому перегріванні вище температури *нульової рідкоплинності*, при якій сплав втрачає рухливість. Нульова рідкоплинність настає при температурі, яка знаходиться між ліквідусом і солідусом сплаву, при певній кількості твердої фази. Цю температуру визначити складно, тому визначають не дійсну, а *умовно-дійсну рідкоплинність* при однаковому перегріванні сплавів вище за температуру ліквідусу.

Під *практичною* розуміють рідкоплинність сплавів при постійній темпе-

ратурі заливання. В цьому випадку перегрівання над температурою ліквідусу для різних сплавів неоднакове.

Для оцінки рідкоплинності застосовують проби постійного і змінного перетинів. До проб постійного перетину відносяться пруткова, спіральна, U-подібна і лабіринтна. Змінний перетин мають клинова і кулькова проби. За допомогою проб постійного перетину оцінюють здатність сплаву заповнювати протяжні порожнини форм (рідкоплинність), а за допомогою кулькових і клинових проб – здатність сплаву заповнювати тонкі канали і порожнини у формі (формозаповнюваність).

Для визначення рідкоплинності за допомогою проб постійного перетину довжину і площу перетину порожнини форми встановлюють такими, щоб метал до моменту зупинки не заповнив всю порожнину до кінця. Мірою рідкоплинності при використанні цих проб є довжина отриманого прутка у вибраних умовах заливання і охолодження (рис. 1.1). За допомогою проб постійного перетину виявляють зв'язок рідкоплинності сплаву з його розташуванням на діаграмі стану. Рідкоплинність у більшості випадків збільшується зі зменшенням інтервалу кристалізації, хоча пряма пропорційна залежність відсутня.

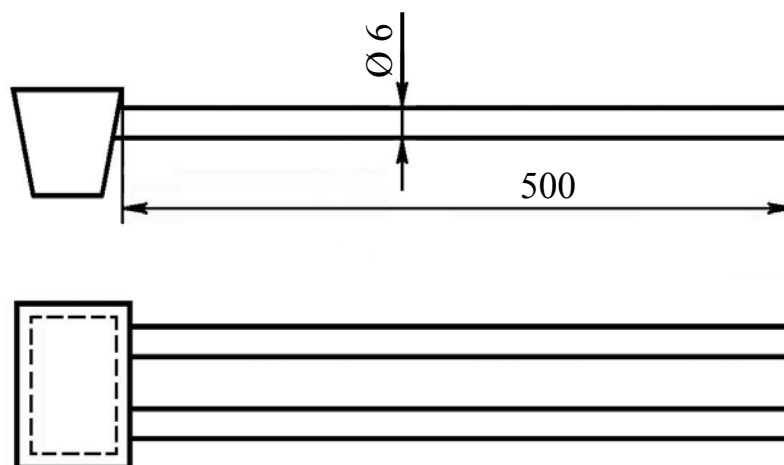


Рисунок 1.1 – Пруткова проба на рідкоплинність з прямими каналами (проба Руффа)

Найширше застосовують спіральні проби (рис. 1.2). Моделі цієї проби і ливникової системи для неї повинні відповідати ГОСТ 16438–70. Спіральний канал має трапецієвидний перетин. Під заливання форму встановлюють точно

горизонтально за рівнем. У нижній півформі розташовують спіральні канали пробки і металопримач, у верхній – ливникову чашу і стояк. Для забезпечення однакового металостатичного натиску стояк заздалегідь перекривають пробкою, яку видаляють після наповнення чаші металом. Для спрощення вимірів у спіральних каналах виконують поглиблення через кожних 50 мм. Вони відтворюються на пробі у вигляді виступів. По цих виступах визначають довжину спіралі.

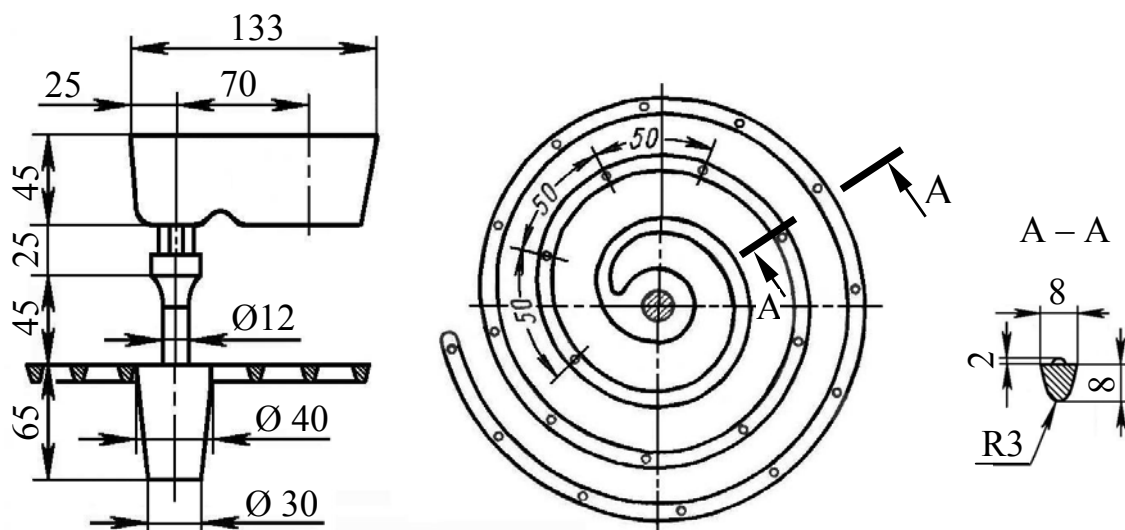


Рисунок 1.2 – Модель для отримання спіральної пробки на рідкоплинність (проба Кюрі)

U-подібну пробку отримують у металевій формі з вертикальним рознімом (рис. 1.3). Мірою рідкоплинності є довжина прутка, отриманого у вертикальному каліброваному каналі діаметром 8 мм.

Для оцінки здатності сплаву заповнювати дуже тонкий рельєф використовують клинову або кулькову пробку. У цих пробах розплав повинен проникнути в гостру вершину клиноподібної порожнини або затекти під кульку, прилеглу до плоскої стінки. Мірою рідкоплинності є довжина незаповненої гострої вершини у клиновій пробі і діаметр незалитого отвору в кульковій пробі. Ці показники залежать в основному від міцності оксидних плівок на поверхні розплаву і поверхневого натягу. Показники рідкоплинності по пруткових пробах і по клиновій або кульковій пробах ніяк між собою не зв'язані.

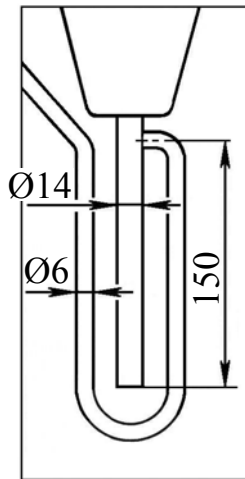


Рисунок 1.3 – Вигляд розніму кокілю для отримання U-подібної проби на рідкоплинність

Кулькову пробу А.Г. Спаського можна отримувати як у піщаній, так і в металевій формі (рис. 1.4). Металева форма має вертикальний рознім і складається з двох половин і клинової вставки, дотичної з кулькою діаметром 20 мм, укріпленою в одній з половин форми. Мірою рідкоплинності металу в даній пробі є площа або середній діаметр отвору, утвореного біля точки зіткнення кульки з клиновою вставкою. Чим менше площа цього отвору або його середній діаметр, тим більш тонкостінний вилівок може заповнити сплав в аналогічних умовах лиття.

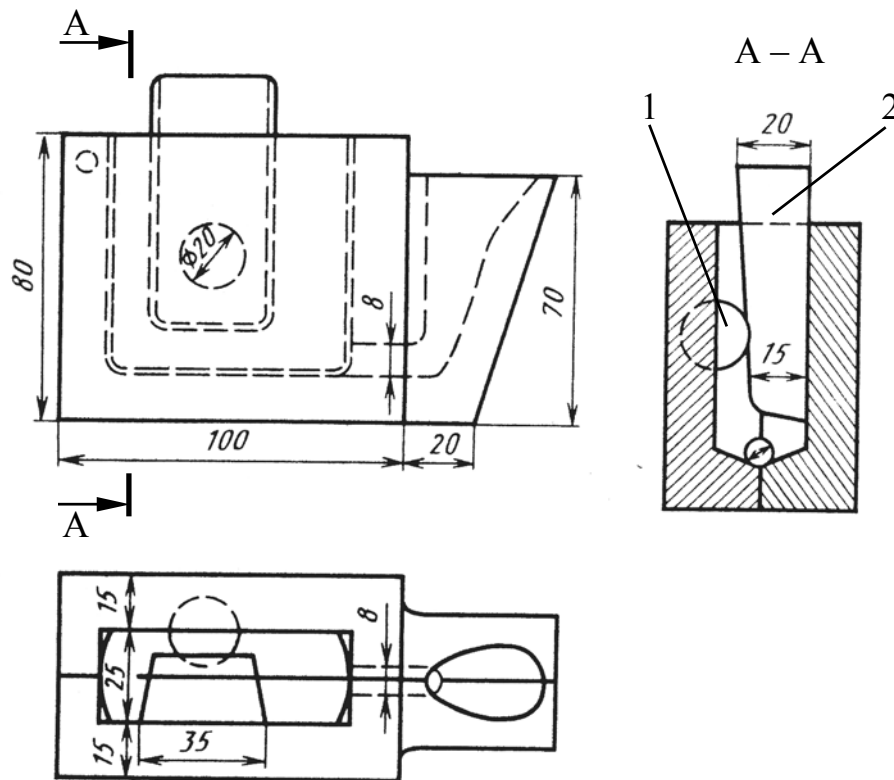


Рисунок 1.4 – Металева форма для отримання кулькової проби на рідкоплинність

На рідкоплинність, що визначається по кульковій пробі, впливає поверхневий натяг розплаву. Чим він більший, тим менша рідкоплинність.

Експериментальна частина

Прилади і матеріали: шахтна піч опору СШОЛ–11,6 12–МЗ; технічні ваги з важками; потенціометр для вимірювання і запису термоЕРС; моделі спіральної проби і ливникової системи для неї; опоки і формувальна суміш; кокілі для отримання U-подібної і кулькової проб; хромель-алюмелева термopара; графітошамотні тиглі; плавильний інструмент і пристосування для розливання металу; формувальний інструмент; штангенциркуль; лінійка; спецодяг; захисні окуляри; рукавиці.

Порядок проведення роботи

Розрахувати шихту для отримання алюмінієвого сплаву. Кількість і склад сплаву, а також шихтові матеріали задає викладач. Кожна бригада отримує індивідуальне завдання.

За діаграмою стану алюміній–силіцій або алюміній–мідь визначити температуру ліквідусу сплаву.

Зважити шихтові матеріали і приготувати у плавильній печі алюмінієвий розплав заданого складу. Перегріти його на 30, 80 і 130 °С вище за температуру ліквідусу.

Виготовити по три форми для отримання спіральної проби для кожної температури перегрівання.

Залити отриманий алюмінієвий сплав у форми при заданих температурах перегрівання. При цьому допускається відхилення не більше ніж на 10 °С.

Через 10 хв. після заливання вийняти проби з форм, охолодити їх на повітрі і замірити довжину спіралей (по виступах) з точністю до 10 мм.

При відмінності довжин спіралей більш ніж на 15 % дослід слід повторити. Отримані результати занести в табл. 1.1.

Провести статистичну обробку результатів вимірювань рідкоплинності. Обчислити довірчий інтервал при вірогідності 0,95. Знайти відносну погрішність визначення рідкоплинності.

Результати визначення рідкоплинності сплавів різних складів досліджуваної системи (взяти дані інших бригад) узагальнити і встановити її залежність від розташування сплаву на діаграмі стану.

За експериментальними даними побудувати графічні залежності рідко-

Таблиця 1.1 – Експериментальні дані по визначенню рідкоплинності

| Склад сплаву, % | Температура, °С | | | Рідкоплинність, мм |
|-----------------|-----------------|-----------------------------|------------------------|--------------------|
| | ліквідусу | перегрівання над ліквідусом | металу, що заливається | |
| | | 30 | | |
| | | 80 | | |
| | | 130 | | |

плинності від температури заливання і складу сплаву.

Вимоги до звіту по роботі

Звіт по роботі повинний містити:

- мету роботи, стислі відомості про технологічні властивості сплавів і з теорії рідкоплинності сплавів;
- схеми установок, використаних в роботі;
- вихідні дані (склад шихти, розрахунок шихти на 1 кг сплаву заданого складу, умови проведення плавки і рафінування заданого сплаву);
- методику визначення рідкоплинності сплаву;
- результати проведення дослідів у вигляді таблиці;
- графічні залежності рідкоплинності від температури заливання і складу сплаву;
- висновки про залежність рідкоплинності від розташування сплаву на діаграмі стану.

Контрольні запитання

1. Що таке сплав? Що таке металевий сплав?
2. Які властивості мають металеві сплави?
3. Перелічить фізичні властивості металевих сплавів.
4. Які властивості сплавів кольорових металів відносяться до технологічних?
5. Що таке рідкоплинність сплаву?
6. Які види рідкоплинності розрізняють?
7. Які властивості сплаву впливають на заповнення форм?
8. Яку особливість вносить процес кристалізації сплаву в заповнення ливарних форм?

9. Перерахуйте властивості ливарної форми, які впливають на заповнення її розплавом.
10. Які проби застосовують для оцінки рідкоплинності сплавів?
11. Який зв'язок між рідкоплинністю сплаву та його розташуванням на діаграмі стану? Яка природа цього зв'язку?
12. Як збільшити рідкоплинність розплаву?

Лабораторна робота № 2

ВІЛЬНА І УТРУДНЕНА ЛІНІЙНА УСАДКА СПЛАВІВ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

Мета роботи:

- вивчення лінійної усадки сплавів кольорових металів;
- визначення величини вільної і утрудненої лінійної усадки алюмінієвих сплавів за допомогою приладів і по модельних зразках.

Теоретична частина

Усадка – властивість металів або сплавів зменшувати об'єм при твердінні і охолодженні. Розрізняють лінійну і об'ємну усадки.

Об'ємною усадкою виливка називають різницю між об'ємом порожнини ливарної форми V_{ϕ} і об'ємом виливка $V_{вил}$ після повного його охолодження:

$$\varepsilon_V = \frac{V_{\phi} - V_{вил}}{V_{вил}} \cdot 100, \quad (2.1)$$

де ε_V – об'ємна усадка виливка, %.

Різниця між лінійними розмірами порожнини форми l_{ϕ} , заповненої рідким металом, і розмірами виливка $l_{вил}$ після охолодження до 20 °С називається лінійною усадкою:

$$\varepsilon_L = \frac{l_{\phi} - l_{вил}}{l_{вил}} \cdot 100, \quad (2.2)$$

де ε_L – лінійна усадка, %.

Об'ємна усадка виявляється у вигляді концентрованих раковин і порис-

тості в теплових вузлах. Лінійна усадка зумовлює відмінність лінійних розмірів форми і виливок.

Лінійна усадка сплавів належить до основних ливарних властивостей, що визначають можливість отримання виливок заданих розмірів і конфігурації. Усадку сплаву обов'язково враховують при конструюванні виливка і розробці технології його отримання.

Лінійна усадка обумовлена термічним стисненням сплаву як твердого тіла при його охолодженні. Відомо, що величина термічного стиснення Δl визначається залежністю:

$$\Delta l = l_0 - l = l_0 - l_0 \cdot [1 - \alpha \cdot (t_0 - t)] = l_0 \cdot \alpha \cdot (t_0 - t), \quad (2.3)$$

де l_0 – лінійний розмір зразка у вихідному стані при температурі t_0 ;

l – розмір зразка, що охолоджується, при температурі $t < t_0$;

α – температурний коефіцієнт лінійного розширення (стиснення) матеріалу зразка.

Стосовно лінійної усадки виливка розмір порожнини форми $l_\phi = l_0$, початкова температура t_0 рівна температурі, при якій сплав починає поводитися як тверде тіло, температура $t = 20$ °С, розмір виливка $l_{oml} = l_0 \cdot [1 - \alpha \cdot (t_0 - 20)]$. Отже,

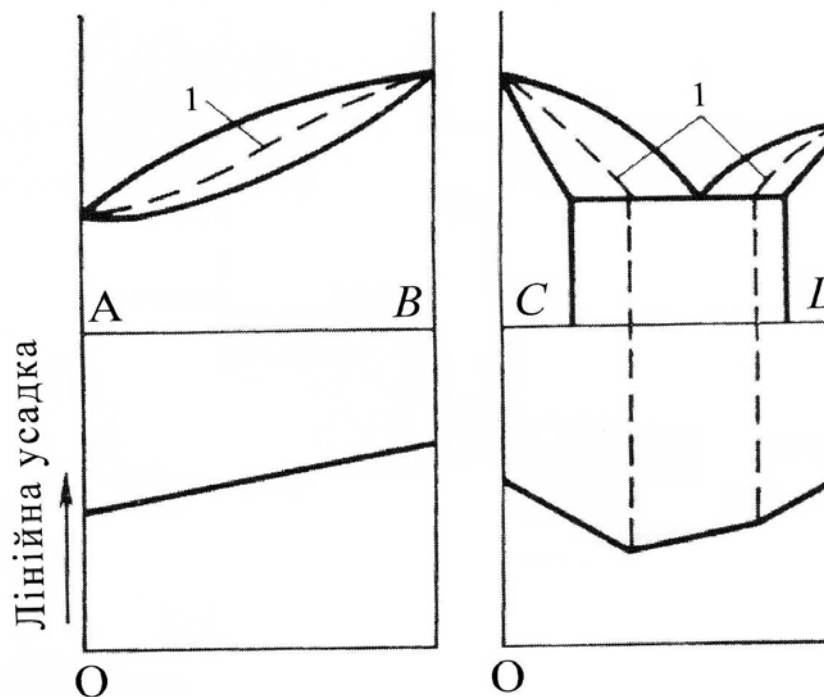
$$\varepsilon_L = \alpha \cdot (t_0 - 20) / [1 - \alpha \cdot (t_0 - 20)], \quad (2.4)$$

Розрахунок лінійної усадки металів і сплавів за формулою (2.4) не може дати правильних результатів з ряду причин:

- температурний коефіцієнт лінійного розширення не є величиною постійної; він істотно змінюється з температурою;
- лінійна усадка литих зразків залежить від умов твердіння і охолодження, які не враховуються формулою;
- лінійна усадка сплавів, що мають інтервал кристалізації, починається не при температурі ліквідусу і не при температурі солідусу, а при деякій проміжній температурі, яка називається *температурою початку лінійної усадки*.

Температура початку лінійної усадки характеризується тим, що кількість кристалів, які випали, така, що вони утворюють єдиний каркас, отже зразок даного сплаву починає поводитися як тверде тіло, незважаючи на існування досить великої кількості рідини (до 30 %). Її прояв добре видно на діаграмах залежності лінійної усадки сплавів від складу в подвійних системах з простою

евтектикою (рис. 2.1). На кривій лінійної усадки спостерігаються два переломи, які приблизно відповідають точці перетину лінії початку лінійної усадки з евтектичною горизонталлю на діаграмі стану.



1 – лінії температури початку лінійної усадки

Рисунок 2.1 – Лінійна усадка сплавів систем А–В і С–D

Температуру початку лінійної усадки неможливо визначити заздалегідь яким-небудь розрахунком. Вона залежить від умов охолодження, величини кристалів, розгалуженості дендритів. За цих причин лінійну усадку сплавів визначають експериментально на спеціально відлитих зразках. Однакові початкові розміри і форма зразків і постійність умов лиття і твердіння дозволяють отримувати результати, якими можна характеризувати сплави залежно від їхнього складу і стану.

Лінійну усадку сплавів визначають на зразках, що мають вид прямих брусків або прутків, що відливаються в горизонтальному положенні. Спочатку вимірюють лінійний розмір форми l_{ϕ} , потім заливають її розплавом, вилівок виймають і після повного охолодження до нормальної температури вимірюють його розмір $l_{вил}$.

У багатьох сплавах спостерігається тимчасове розширення, яке передуює усадці. Це явище називають *передусадковим розширенням*. Воно складає 0,1–

0,3 %. Його пов'язують з виділенням газів, розширенням кристалічного каркаса із-за розігрівання вилівка у момент відходу від стінок форми, капілярним тиском рідини в каналах між осями дендритів.

Слід розрізняти лінійну усадку сплаву і лінійну усадку вилівка. Якщо при визначенні лінійної усадки сплавів зразок має таку форму і відлився таким чином, що скорочення розмірів проходить безперешкодно, то знайдене значення лінійної усадки називають також *вільною лінійною усадкою*.

У реальних умовах скороченню розмірів виливок перешкоджають форма внаслідок тертя вилівка об її стінки, стрижні, виступаючі частини. Окрім механічного утруднення усадки, для більшості виливок спостерігається утруднення, пов'язане з відмінністю швидкостей охолодження її окремих частин. Раніше затверділі частини вилівка (тонкі ребра, виступи) перешкоджають усадці в тих місцях, де твердіння відбувається пізніше. Крім того, із-за різночасності твердіння і охолодження внутрішніх і зовнішніх шарів у зовнішніх шарах масивних виливок виникає температурна напруга стиснення. Це приводить до збільшення лінійної усадки даної ділянки вилівка, тому лінійна усадка різних частин вилівка в загальному випадку неоднакова. Як правило, лінійна усадка фасонних виливок рівна або менше лінійної усадки сплаву, а крупних масивних виливок (злитки і т.п.) більше лінійної усадки сплаву.

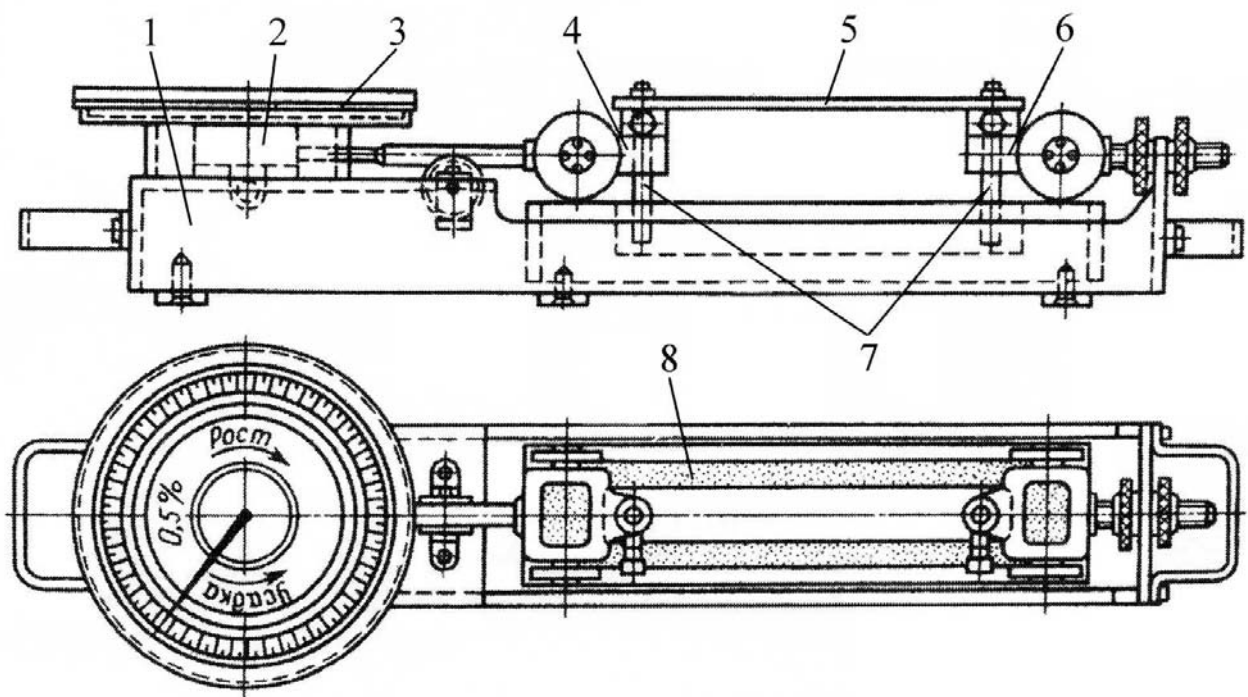
Для оцінювання лінійної усадки при утрудненні скорочень розмірів виступаючими частинами форми відливають спеціальні зразки з розширеннями на кінцях. Таку усадку називають *утрудненою*.

Експериментальна частина

Прилади і матеріали: шахтна піч опору СШОЛ–11,6 12–МЗ; графіто-шамотні або графітові тиглі; потенціометри типу КСП; модельні комплекти; набір формувального, плавильного і вимірювального інструменту; секундомір; формувальна суміш; алюміній і лігатури лігатури алюміній–мідь і алюміній–силіцій; флюси для рафінування алюмінію і його сплавів; прилади І.Ф. Большакова і ЦНІТмаша; спецодяг; захисні окуляри; рукавиці.

На рис. 2.2 показана схема приладу І.Ф. Большакова. На металевому каркасі змонтована індикаторна головка з циферблатом. Прилад проградуєований так, що кожна риска шкали відповідає змінненню лінійного розміру зразка завдовжки 200 мм на 0,002 мм, тобто на 0,001 %. У каркас

приладу встановлюють форму з порожниною розмірами 30x25x250 мм. Над формою поміщають дві рухомі каретки, одна з яких штоком сполучена з голкою індикатора, а інша закріплена в торцевій стінці каркаса. У кожній з кареток закріплюють шпильки. Нижні кінці шпильок входять в порожнину форми на глибину 18–20 мм, а верхні виступають на 3–10 мм над каретками. Відстань між центрами шпильок 200 мм встановлюють з точністю до 0,1 мм за допомогою контрольної планки.



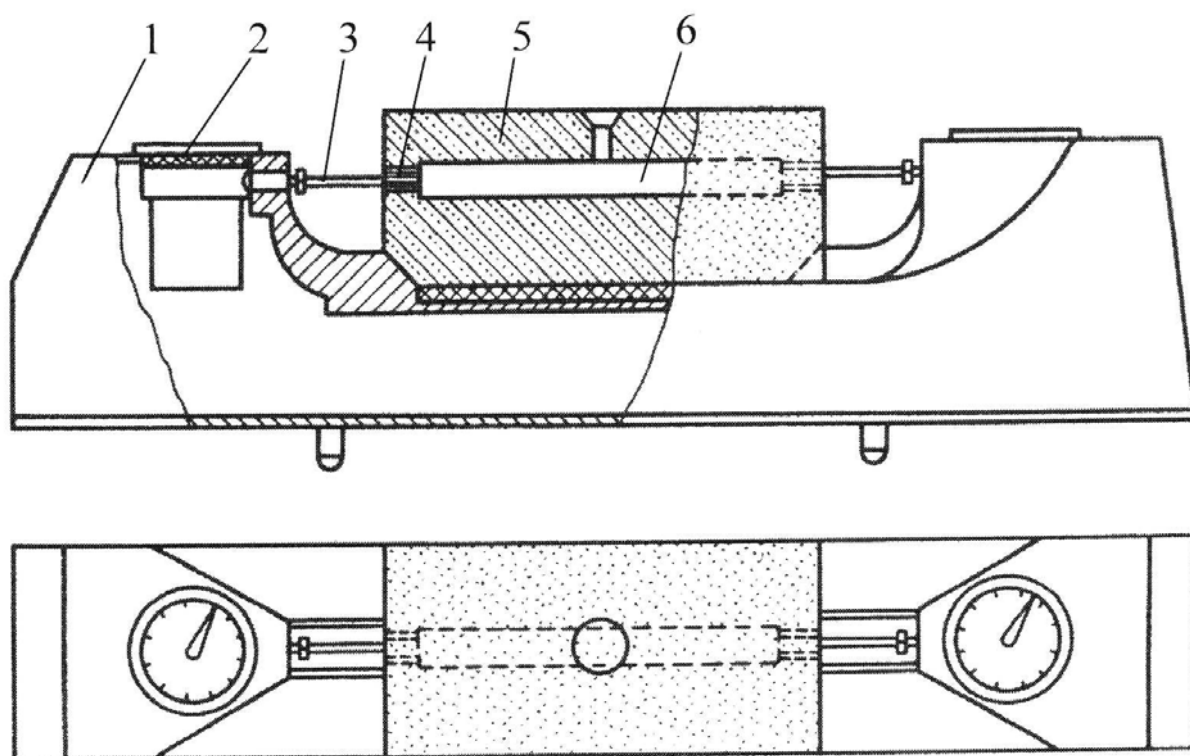
- 1 – металевий каркас; 2 – індикаторна головка;
 3 – циферблат; 4, 6 – рухомі каретки;
 5 – контрольна планка; 7 – шпилька; 8 – форма

Рисунок 2.2 – Схема приладу І.Ф. Большакова

Перед зняттям контрольної планки з шпильок прилад приводять в початкове положення. Для цього штоком передньої каретки натискають на голку індикатора так, щоб його стрілка, зробивши п'ять обертів по циферблату вправо, зупинялася точно на нулі шкали. У такому положенні задня каретка кріпиться до торцевої стінки каркаса, а передня після зняття контрольної планки залишається у вільному стані, фіксуючи початкове положення.

Після збирання приладу в порожнину форми заливають метал і записують показання індикатора. Одночасно за допомогою терморпарі, поміщеної в центрі зразка, вимірюють температуру.

Схема приладу ЦНІТмаша для дослідження вільної лінійної усадки представлена на рис. 2.3. Прилад збирають у порожнистій станині, в якій розташована форма з порожниною для заливання зразка і індикатори для вимірювання усадки. Для зменшення теплового потоку до станини приладу під форму підкладають листовий азбест. Теплоізоляція станини має важливе значення для збільшення точності вимірювання.



- 1 – станина; 2 – індикатор; 3 – патрони;
4 – кварцовий наконечник; 5 – форма;
6 – порожнина для заливання сплаву

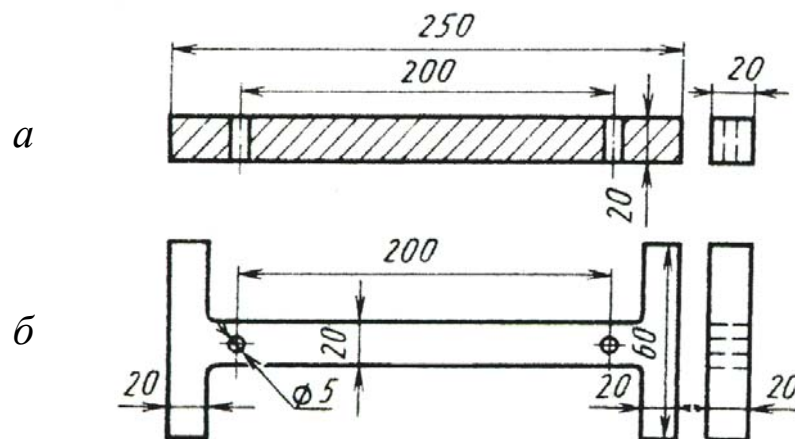
Рисунок 2.3 – Схема приладу ЦНІТмаша

Реєстрація переміщення проводиться одночасно з двох сторін зразка за допомогою двох індикаторів 2. Індикатор зібраний на базі стандартної головки годинникового типу, в яку вбудована пружина у вигляді кільця. На пружину

наклеюють два дротяні датчики відповідно на розтягнуту і стислу сторону. Датчики сполучені послідовно. Запис показників датчиків проводиться електронним потенціометром КСП-4. Передача переміщень зразка здійснюється через патрони, встановлені у формі і кварцові наконечники, які підтискаються до патронів пружинками, що знаходяться в індикаторних головках. На установці вимірюється усадка зразків завдовжки 200 мм. Градування приладу здійснюється зіставленням показників індикатора і потенціометра КСП-4. Для цього досить зробити одним або обома індикаторами по черзі два-три оберти стрілки по циферблату, тобто перемістити шток на 2–3 мм із зупинкою після кожного переміщення штока. Реєструючий прилад запише ці переміщення у відповідному масштабі на стрічці. Подібне градування проводять перед кожним zalиванням зразка.

Одночасно із записом лінійної усадки проводиться вимірювання температури зразка в процесі твердіння і подальшого охолодження. Термопара встановлюється в центрі зразка.

На приладах І.Ф. Большакова і ЦНПТмаша визначають вільну лінійну усадку. Вільну і утруднену лінійну усадку визначають також на окремо відлитих зразках. Зразок для визначення вільної усадки має вигляд прутка (рис. 2.4, *a*).



a – вільна усадка; *б* – утруднена усадка

Рисунок 2.4 – Моделі зразків для визначення усадки

Кінці зразка для визначення утрудненої усадки (рис. 2.3, б) мають Т-подібну форму за рахунок поперечних полиць. Ці полиці перешкоджають усадці зразка в подовжньому напрямі. На моделі кожного зразка передбачені отвори, які використовують для замірювання розмірів l_{ϕ} і $l_{вил}$, необхідних для розрахунку лінійної усадки.

Порядок проведення роботи

Розрахувати шихту для отримання 1 кг сплаву (групи сплавів) заданого складу, використовуючи алюміній і лігатури алюміній–силіцій або алюміній–мідь. Марка сплаву, види і кількість використовуваних в шихті відходів задається викладачем. Підготувати шихтові матеріали згідно з розрахунком.

Виплавити алюмінієвий сплав заданого складу за відповідною технологією, перегріти його на 100–120 °С вище за температуру ліквідусу.

Виготовити форми для визначення лінійної усадки на приладі І.Ф. Большакова або приладі ЦНІТмаша. Залити форми розплавом. При роботі на приладі І.Ф. Большакова записати показання індикатора і приладу, що вимірює температуру спочатку через кожних 5–10 с, потім через 1–5 хв. При роботі на приладі ЦНІТмаша перед заливкою включити потенціометри КСП-4, що записують переміщення кінців зразка.

Виготовити форми для отримання зразків для визначення вільної і утрудненої усадки. Заздалегідь замірити і записати відстань між центрами отворів на моделях. Залити форми розплавом, охолодити отримані зразки у формі до 50 °С і вийняти їх з форми (приблизно через 30 хв. після заливання). Замірити відстань між мітками на отриманих зразках і записати.

При роботі з окремими зразками обчислити величину лінійної усадки сплаву за формулою (2.2), використовуючи заміри l_{ϕ} і $l_{вил}$.

Результати, отримані за допомогою приладів і розрахунків, занести в таблицю 2.1.

По результатах, отриманих за допомогою приладу І.Ф. Большакова, побудувати графічну залежність усадки від температури зразка. Знайти шляхом екстраполяції до $t = 20$ °С величину лінійної усадки сплаву, що вивчається.

По кривим, записаним на діаграмній стрічці КСП-4 при роботі на приладі ЦНІТмаша, побудувати графічні залежності лінійної усадки від температури і часу. Шляхом екстраполяції до $t = 20$ °С знайти величину лінійної усадки сплаву, що вивчається.

Таблиця 2.1 – Експериментальні дані для визначення вільної і утрудненої лінійної усадки алюмінієвих сплавів

| Спосіб визначення усадки | Лінійна усадка сплавів | | |
|---|------------------------|---------|---------|
| | сплав 1 | сплав 2 | сплав 3 |
| За допомогою приладів: І.Ф. Большакова ЦНІТмаша По зразках: вільна усадка утруднена усадка | | | |

Вимоги до звіту по роботі

Звіт по роботі повинний містити:

- мету роботи, стислі відомості про лінійну усадку сплавів кольорових металів;
- схеми установок, використаних в роботі;
- методику визначення лінійної усадки;
- ескізи ливарних форм і зразків;
- графічні залежності лінійної усадки від температури і часу для заданих сплавів, результати визначення лінійної усадки сплаву;
- відповідні висновки.

Контрольні запитання

1. Яка основна причина лінійної усадки?
2. У чому відмінність вільної і утрудненої лінійної усадки?
3. Чому не можна визначати величину лінійної усадки сплавів розрахунковим методом?
4. У чому полягає відмінність між лінійною усадкою сплаву і лінійною усадкою вилівка?
5. Що таке температура початку лінійної усадки?
6. Які причини тієї обставини, що лінійна усадка вилівка виявляється менше лінійної усадки сплаву?
7. Чи може лінійна усадка вилівка опинитися більше лінійної усадки сплаву?
8. Які прилади застосовують для визначення лінійної усадки сплавів?

Лабораторна робота № 3

ОБ'ЄМНА УСАДКА СПЛАВІВ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

Мета роботи:

- вивчення об'ємної усадки сплавів кольорових металів;
- визначення величини об'ємної усадки і пористості сплавів залежно від їх розташування на діаграмі стану.

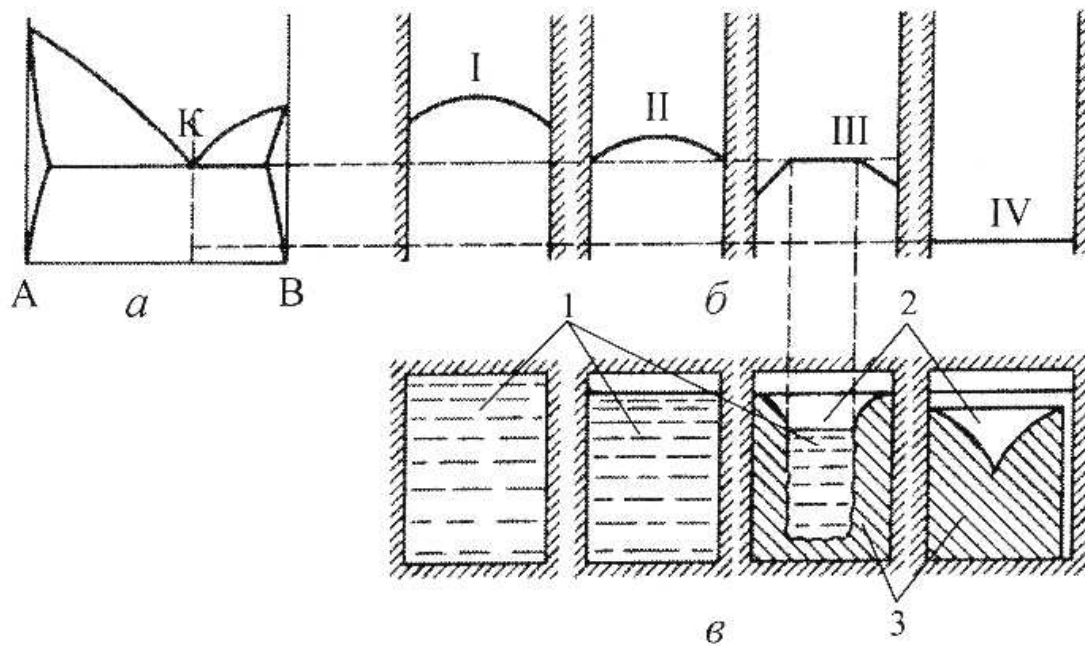
Теоретична частина

Щільність більшості металів і сплавів при охолодженні зростає, відповідно зменшується питомий об'єм – величина, зворотна щільності. У зв'язку з цим спостерігається безперервне зменшення об'єму розплаву, залитого в ливарну форму, вилівка, що поступово твердіє, і твердого вилівка при зміні температури від температури заливання до нормальної. Якщо прийняти, що охолодження заданої маси розплаву в ливарній формі відбувається тільки по бічній і донній поверхнях, та зміна об'єму супроводжуватиметься пониженням рівня розплаву у формі. Рівень розплаву після утворення твердої кірки на поверхні майбутнього вилівка до моменту повної кристалізації може знижуватися тільки в глибинних шарах, де ще не почалося твердіння. Зміна об'єму в цей період виявляється в утворенні концентрованих усадкових раковин і усадкових пор. Зміна об'єму, що відбувається при охолодженні затверділого вилівка, виявляється в зменшенні її лінійних розмірів. Таким чином, загальна об'ємна усадка металу складається з усадки в рідкому стані, усадки в процесі кристалізації і усадки в твердому стані.

Кількість раковин і пор (усадка в процесі кристалізації) у вилівках залежить від характеру кристалізації сплаву, передусім інтервалу кристалізації, і умов твердіння.

Розглянемо твердіння вилівка зі сплаву К, що кристалізується при постійній температурі (рис. 3.1). Прийmemo, що заповнення форми закінчене до кристалізації сплаву в будь-якому місці вилівка і що після заповнення додаткової кількості сплаву у форму не поступає, а охолодження йде рівномірно з усіх боків, окрім верху. Прийmemo також, що об'ємна усадка в рідкому і твердому станах пропорційна температурі і що при кристалізації об'єм сплаву зменшується.

Відповідно до розподілу температури по перетину вилівка сплав тверднудиме і його об'єм змінюватиметься. У момент закінчення заливання



- 1 – рідкий сплав; 2 – усадкова раковина; 3 – твердий шар
 а – діаграма стану;
 б – діаграми розподілу температури по перетину виливка;
 в – виливок у процесі охолодження

Рисунок 3.1 – Схема твердіння сплавів, що не мають інтервалів кристалізації

(крива I) форма повністю заповнена рідким сплавом. Охолодження сплаву до температури, розподіл якої характеризується кривою II, супроводжується зменшенням об'єму розплаву, яке виявляється в пониженні його рівня у формі. З цієї миті починається кристалізація сплаву. Досягши температури, розподіл якої характеризується кривою III, на поверхні виливка утворюється твердий шар, а в центральній частині зберігається розплав. Зменшення об'єму під час переходу сплаву з рідкого у твердий стан обумовлює пониження рівня розплаву. У виливка утворюється усадкова раковина, розміри якої збільшуються в міру охолодження до повного твердіння. Досягши розподілу температури, показаного кривою IV, виливок матиме остаточні розміри. Об'ємна усадка в твердому стані виявиться в зменшенні лінійних розмірів виливка пропорційно величині лінійної усадки сплаву.

Отже, якщо сплави не мають інтервалів кристалізації, виливки за будь-яких умов охолодження тверднуть пошарово шляхом поступового наростання твердого шару. Тому об'ємна усадка при кристалізації виявляється

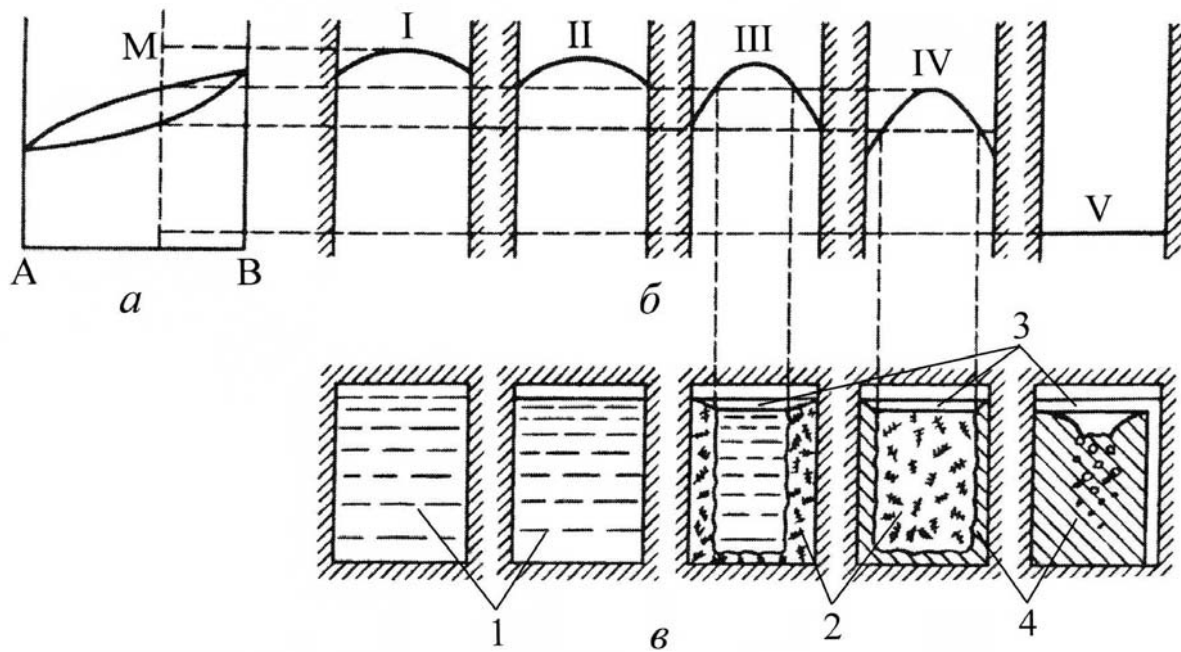
у вигляді зосередженої усадкової раковини.

Твердіння вилівка зі сплаву, що має інтервал кристалізації, відрізняється від твердіння вилівка зі сплаву, що кристалізується при постійній температурі.

Розглянемо твердіння вилівка зі сплаву М (рис. 3.2) за умов заливання і охолодження, які були прийняті для сплаву К, що кристалізується при постійній температурі (рис. 3.1). У момент закінчення заливання (крива I) форма повністю заповнена рідким сплавом. Охолодження розплаву до температури, розподіл якої відповідає кривій II, приводить до об'ємної усадки розплаву, що виявляється в пониженні рівня розплаву у формі. З цієї миті починається кристалізація сплаву. Досягши розподілу температури, що відповідає кривій III, у вилівку утворюється двофазна область. У міру утворення і зростання кристалів в цій області знижується рівень розплаву у вилівку, утворюється усадкова раковина, глибина якої збільшується аж до досягнення температури, розподіл якої відповідає кривій IV. У інтервалі між кривими III і IV на поверхні вилівка росте твердий шар сплаву, а в центральній частині зберігається розплав, який живить двофазну область. Досягши температури, розподіл якої відповідає кривій IV, двофазна область доходить до центру вилівка, а на поверхні вилівка утворюється шар твердого сплаву. При цьому росте глибина усадкової раковини. Подальше охолодження вилівка до нормальної температури (крива V) приводить до зникнення двофазної області, деякого збільшення об'єму усадкової раковини, утворення усадкової пористості і скорочення розмірів вилівка.

Можна відзначити, що якщо сплав має інтервал кристалізації, у вилівку, що твердіє, з'являється двофазна область. Поки в середній частині вилівка є рідкий сплав, об'ємна усадка при кристалізації виявляється в утворенні усадкової раковини. Коли ж рідина зникає і двофазна область розповсюджується на всю центральну частину вилівка, усадкова раковина перестає заглиблюватися і починається утворення пористості (рихлість) в серединній частині вилівка. Пористість утворюється, по-перше, в результаті відтоку розплаву на заповнення усадки (на живлення) периферійних шарів двофазної області, що твердіють, по-друге, внаслідок усадки при кристалізації розплаву між гілками дендритів в самій двофазній області.

Об'єм усадкової пористості у вилівку визначається розмірами двофазної області на кінцевій стадії твердіння, кількістю розплаву, що є там, і величиною об'ємної усадки. Отже, у загальному випадку об'єм усадкової пористості у ви-



1 – рідкий сплав; 2 – двофазна область;
3 – усадкова раковина; 4 – твердий сплав

a – діаграма стану;

б – діаграми розподілу температури по перетину виливка;

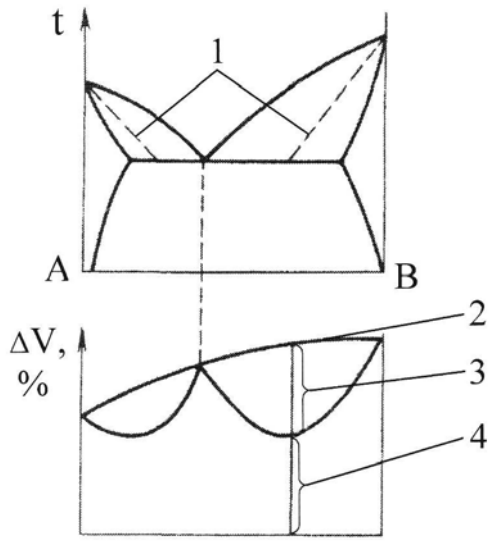
в – виливок у процесі охолодження

Рисунок 3.2 – Схема твердіння сплаву з інтервалом кристалізації

ливка повинен залежати від величини інтервалу кристалізації сплаву, розподілу температури по перетину виливка, швидкості кристалізації сплаву (інтенсивності наростання твердої фази в межах інтервалу кристалізації), величини об'ємної усадки сплаву.

Якщо простежити за проявом об'ємної усадки в процесі кристалізації одного і того ж виливка, що отримується в однакових умовах з різних сплавів системи з простою евтектикою, то виявляється залежність, представлена на рис. 3.3. У виливка з чистих металів і сплавів евтектичного складу об'ємна усадка при кристалізації виявляється тільки у вигляді зосередженої усадкової раковини. У виливках зі всіх інших сплавів, що мають інтервал кристалізації, є усадкова раковина і усадкова пористість. Найбільший об'єм усадкової пористості виявляється у виливках зі сплавів, розташованих між чистими

металами і евтектичним складом.



- 1 – лінія початку лінійної усадки;
- 2 – крива зміни об'ємної усадки сплавів при кристалізації;
- 3 – змінення об'єму усадкової пористості сплаву;
- 4 – змінення об'єму усадкової раковини сплаву

Рисунок 3.3 – Вплив складу сплаву на усадку в процесі кристалізації

На характер залежності, представлені на рис. 3.3, істотно впливають умови охолодження. Збільшення інтенсивності охолодження вилівка в ході твердіння викликає скорочення двофазної області, внаслідок чого об'єм пористої області скорочується, об'єм усадкової пористості зменшується, а об'єм усадкової раковини збільшується. Зменшення інтенсивності охолодження вилівка викликає зворотні зміни: об'єм усадкової пористості зростає, а усадкової раковини зменшується. У разі достатньо малої інтенсивності охолодження двофазна область розповсюджується на всі перетини вилівка, і тому усадкова раковина взагалі не утворюється, а об'ємна усадка виявляється тільки у вигляді розсіяної по всьому об'єму вилівка усадкової пористості.

Подібне зустрічається і у вилівках з широкоінтервальних сплавів, отримуваних у формах з матеріалів з малою теплопоглинальною здатністю: у вилівках зі сплавів на основі алюмінію з інтервалом кристалізації більше 80 °С і вилівках з олов'яних бронз з 5–10 % олова, отримуваних в піщаних формах.

Експериментальне визначення об'ємної усадки сплавів проводиться на спеціальних вилівках-зразках простої форми (куля, куб, конус, циліндр). Об'ємну усадку ε_V обчислюють за формулою:

$$\varepsilon_V = \frac{V_\phi - V_{зр}}{V_\phi} \cdot 100, \quad (3.1)$$

де V_{ϕ} – об'єм форми, см^3 ;

$V_{зр}$ – об'єм зразка, см^3 .

Оскільки умови отримання зразків витримуються постійними, значення об'ємної усадки, що отримують, можна вважати характеристикою сплаву і визначати, наприклад, закономірності об'ємної усадки сплаву у зв'язку з його розташуванням на діаграмі стану.

У цій роботі визначення об'ємної усадки сплавів проводиться на зразках у формі куба, циліндра, конуса або кулі. Куб відливають в піщаній формі, кулю і циліндр – в кокілях. Модель куба для зручності формування має формувальні ухили і, по суті, є усіченою пірамідою.

У піщану форму метал заливають через стояк і тонкий живильник, який після заповнення порожнини форми швидко твердне, запобігаючи тим самим надходженню металу зі стояка в порожнину форми, у міру усадки розплаву. Часто для припинення надходження розплаву у форму живильник перекривають металевією пластиною (рис. 3.4, а). Заливання кулі ведуть через низький стояк, об'єм якого дорівнює біля 1 % об'єму кулі (рис. 3.4, б).

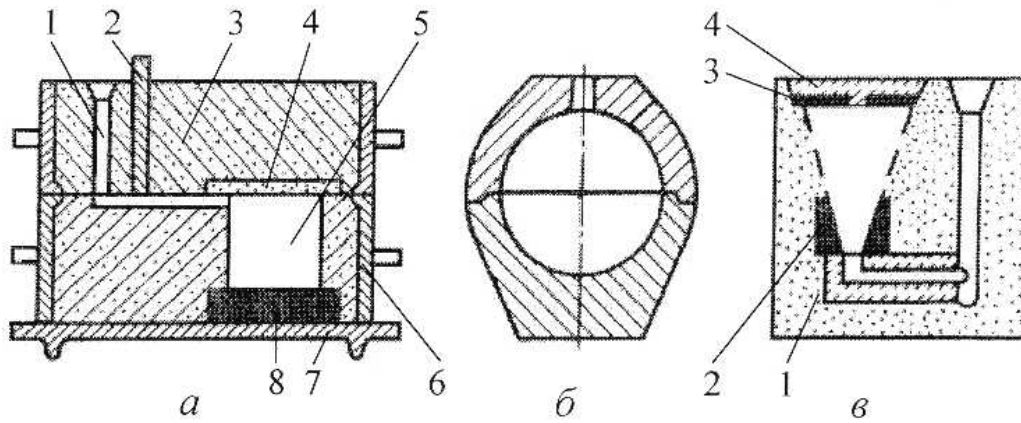
Конусний зразок отримують заливкою роз'ємної оболонкової форми, в яку встановлюють холодильники і піщані стрижні для створення направлено охолодження з метою виведення відкритої усадкової раковини на верхню поверхню (рис. 3.4, в).

Оскільки усадка при кристалізації виявляється у вигляді усадкових раковин неправильної форми і усадкової пористості, визначити об'єм твердого зразка шляхом геометричних вимірювань не представляється можливим. Тому цей об'єм знаходять діленням маси зразка на щільність сплаву.

Для визначення щільності невелику порцію досліджуваного сплаву заливають в металеву виливницю для отримання злитка розміром 10x10x60 мм. Швидке охолодження сплаву у виливниці дозволяє отримати нижню частину злитка щільною, без усадкових пор. Від нижньої частини злитка відрізують зразок заввишки 10 мм; обробляють його поверхню наждачним папером. Зважуючи зразок на повітрі і в рідині, визначають щільність сплаву за формулою:

$$\rho_{\text{спл}} = \frac{\gamma_p \cdot m_n}{m_n - m_p}, \quad (3.2)$$

де γ_p – щільність рідини, $\text{г}/\text{см}^3$;



- 1 – стояк; 2 – сталева пластина; 3 – формувальна суміш;
 4 – азбест; 5 – порожнина форми; 6 — опока;
 7 – підпочна плита; 8 – холодильник;
 9, 11 – піщані стрижні; 10 – кільцевий холодильник

a – кубічної проби; *б* – кульової проби; *у* – конусної проби

Рисунок 3.4 – Форми для отримання проб на об’ємну усадку

m_n – маса зразка на повітрі, г;

m_p – маса зразка в рідині, г;

$m_n - m_p$ – маса витисненої рідини, г.

Для зручності зважування зразок підвішують на капроновій нитці, маса і об’єм якої не вносять великої погрішності в результати визначення щільності сплаву. По знайденому значенню щільності сплаву і масі зразка $m_{зр}$ (куба, кулі, циліндра) знаходять об’єм сплаву в цьому зразку за формулою:

$$V_{зр} = m_{зр} / \rho_{спл}. \quad (3.3)$$

Початковий об’єм порожнини форми V_{ϕ} при відливанні куба обчислюють по розмірах моделі (усіченої піраміди):

$$V_{\phi} = H \cdot (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2}) / 3, \quad (3.4)$$

де H – висота моделі, см;

S_1, S_2 – площі основ піраміди, см².

При відливанні кулі об’єм порожнини форми визначають за формулою:

$$V_{\phi} = 4 \cdot \pi \cdot R^3 / 3 \quad (3.5)$$

де R – радіус кулі, см.

Об'єм відкритих усадкових раковин визначають шляхом їх заповнення рідиною з мірного посуду.

Для визначення пористості зразок зважують у воді. Заздалегідь його поверхню покривають тонким шаром парафіну для запобігання попаданню вологи в пори. По різниці мас зразка на повітрі і у воді визначають його об'єм. Різниця об'ємів зразка і сплаву в ньому і є об'єм пор.

Експериментальна частина

Прилади і матеріали: шахтна піч опору СШОЛ–11,6 12–МЗ; хромель-алюмелева термопара; гальванометр; моделі зразків для визначення об'ємної усадки; металеві форми для отримання виливок кулі або циліндра; аналітичні і технічні ваги з важками; штангенциркуль; графіто-шамотні тиглі; плавильний і формувальний інструмент; шихтові матеріали; шліфувальний папір; хлорид марганцю; спецодяг; захисні окуляри; рукавиці.

Порядок проведення роботи

Розрахувати шихту для приготування двох-трьох сплавів системи алюміній–силіцій або алюміній–мідь. Склад сплавів задається викладачем.

Завантажити шихту в тигель і розплавити її. Нагрівати розплав до 750 °С і обробити його хлоридом марганцю (0,1–0,15 %).

Підготувати ливарні форми для визначення об'ємної усадки. Встановити їх на місце заливання.

Залити форми металом. Перегрів сплавів над температурою ліквідуса повинен складати 100 °С.

Охолодити виливки, вийняти їх з форм, очистити від формувальної суміші, відокремити ливники. З нижньої частини злитка перетином 10x10 мм вирізувати зразок заввишки 10 мм. Обробити поверхню зразка шліфувальною шкіркою.

Визначити щільність сплаву. Для цього зразок підвісити на капроновій нитці і визначити його масу на повітрі і у воді з точністю до четвертого знаку.

Провести необхідні вимірювання моделі і порожнини форми, обчислити об'єм порожнини форми V_{ϕ} . Зважити зразки (куб, куля, циліндр). Визначити об'єм сплавів у зразках за формулою:

$$V_{\text{спл}} = m_{\text{зр}} / \rho_{\text{спл}}$$

де $m_{\text{зр}}$ – маса зразка, г.

Розрахувати абсолютну і відносну об'ємну усадку сплавів за формулами:

$$\varepsilon_{V.abc} = V_{\phi} - V_{cпл},$$

$$\varepsilon_V = \frac{V_{\phi} - V_{cпл}}{V_{cпл}} \cdot 100.$$

Замірити об'єм відкритих усадкових раковин, заповнюючи їх гасом.

Зважити зразки у воді. Визначити їх об'єми $V_{зр}$. Перед зважуванням покрити зразки тонким шаром парафіну.

Обчислити об'єм пор в зразках за формулою:

$$V_{пор} = V_{зр} - V_{cпл}.$$

Розрізати виливки і вивчити розподіл усадкової пористості по перетину.

Результати дослідів внести до робочого журналу.

Побудувати графік змінення відносної об'ємної усадки, об'єму усадкових раковин і об'єму пор залежно від складу сплавів заданої системи.

Вимоги до звіту по роботі

Звіт по роботі повинний містити:

- мету роботи, стислий виклад теорії об'ємної усадки сплавів кольорових металів;
- схеми установок, використаних у роботі;
- розрахунок шихти для виплавки алюмінієвих сплавів заданих складів;
- методику визначення об'ємної усадки;
- умови проведення дослідів і їх результати;
- графічні залежності відносної об'ємної усадки, об'єму усадкових раковин і об'єму пор від складу алюмінієвого сплаву;
- відповідні висновки.

Контрольні запитання

1. Які фізичні явища лежать в основі об'ємної усадки виливок?
2. У якому вигляді виявляється об'ємна усадка виливок?
3. Як впливає інтервал кристалізації сплаву на прояв об'ємної усадки?
4. Як впливають умови охолодження виливка на прояв об'ємної усадки?
5. Як впливає перегрівання розплаву на величину об'ємної усадки?
6. Які умови впливають на ширину пористої зони у виливка?
7. Яка мета дегазації розплаву при визначенні об'ємної усадки виливок?

Лабораторна робота № 4

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ВОДНЮ В АЛЮМІНІЄВОМУ РОЗПЛАВІ

Мета роботи:

- вивчення методів кількісного визначення вмісту водню в алюмінієвому розплаві;
- вивчення методів якісного оцінювання газової пористості сплавів;
- дослідження впливу якості шихти і температури перегріву на вміст газів у алюмінієвому сплаві.

Теоретична частина

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

$$C = K \cdot \sqrt{P_{H_2}} \cdot e^{-\Delta H/2RT}, \quad (4.1)$$

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

K – стала;

P_{H_2} – парціальний тиск водню, $1,333 \cdot 10^2$ Па;

ΔH – теплота розчинення водню в алюмінії, кДж/моль;

R – універсальна газова стала, $8,314 \cdot 10^{-3}$ кДж/(К·моль);

T – температура, К.

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

При постійній температурі розчинність водню як двоатомного газу залежно від тиску описується законом Сівертса:

$$C = K_C \cdot \sqrt{P_{H_2}}, \quad (4.2)$$

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

Рівняння (4.1) на практиці застосовують в логарифмічній формі:

$$\lg C = -A/T + B + 1/2 \cdot \lg P, \quad (4.3)$$

де $A = -\Delta H/(4,6 \cdot R)$;

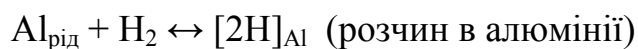
$$B = \lg K.$$

Розчинність водню в рідкому і твердому алюмінії в інтервалі температур 660–850 °С описується рівняннями (тиск в паскалях):

$$\lg C_p = -2760/T + 1,354 + 1/2 \cdot \lg P, \quad (4.4)$$

$$\lg C_{\text{тв}} = -2080/T + 0,41 + 1/2 \cdot \lg P, \quad (4.5)$$

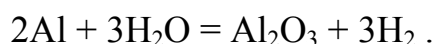
В основі процесу розчинення водню в алюмінії є оборотна реакція:



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

Вміст водню в атмосфері печі становить близько 0,01 %. У пічних газах його вміст також незначний, тому в таких умовах насичення металу воднем не відбувається.

Основним джерелом газонасичення є атмосферна волога, а також волога, що утворюється під час згоряння палива. Концентрація пари вологи в атмосфері печі набагато вища від концентрації водню. Насичення алюмінію воднем відбувається за реакцією:



При 500 °С константа рівноваги цієї реакції дорівнює

$$K_p = P_{\text{H}_2}^3 / P_{\text{H}_2\text{O}}^3 = 3,97 \cdot 10^{44}, \text{ або } P_{\text{H}_2} / P_{\text{H}_2\text{O}} = 7,3 \cdot 10^{14}.$$

Отже, навіть за незначного парціального тиску водяної пари в атмосфері слід очікувати на значне поглинання водню металом.

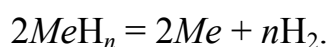
Залежність розчинності водню від вологості атмосфери, що змінюється в межах $P_{\text{H}_2\text{O}} = 13\text{--}4000$ Па, описується рівнянням:

$$\lg C = -5800/T + 4,58 + 1/2 \cdot \lg P_{\text{H}_2\text{O}}. \quad (4.6)$$

З рівняння (4.6) виходить, що вже при невеликій вологості повітря відбувається насичення розплаву воднем до 0,4–1,0 см³/100 г, тобто до значень, що зустрічаються на практиці.

Помітно впливають на розчинність водню в алюмінії легуючі елементи. Встановлено, що силіцій, мідь, срібло, свинець, вісмут, олово і кадмій знижують, а присадки нікелю, мангану, хрому, титану, торію і церію підвищують розчинність водню в рідкому алюмінії. Розчинність збільшують всі елементи, що утворюють гідриди, а найактивніше – лужні і лужноземельні метали. Так, добавка лише 0,02 % натрію підвищує розчинність водню в алюмінії до 3,0 см³/100 г. Вміст водню в алюмінії зростає при 700 °С від 0,9 до 2,0 см³/100 г при додаванні 6 % магнію.

Неметалеві включення (тверді й газоподібні) потрапляють у розплав переважно з шихтових матеріалів, а насичення ними відбувається потім, під час виплавляння і розливання сплавів. Велика кількість водню вводиться в розплав з лігатурами, які містять метали, що утворюють гідриди (титан, цирконій та ін.). Гідриди металів мають змінний хімічний склад і активно розкладаються при 690–730 °С, насичуючи сплав воднем:



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

Шкідливий вплив водню виявляється в тому, що водень, який розчиняється в розплаві, під час охолодження виділяється у вигляді пазирів. Газові пазирки, що утворюються в розплаві, намагаються спливати на поверхню. Однак зниження температури зумовлює збільшення в'язкості сплаву, що утруднює спливання пазирів газу. Після заливання сплаву у форми газові пазирі, що залишилися в розплаві, утворюють газову пористість у виливках. Зі збільшенням концентрації водню в розплаві газова пористість виливків зростає.

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

Методи визначення вмісту газів в металах. Класичним методом визначення вмісту газів в металах є вакуумна екстракція. Суть цього методу полягає в повному виділенні газів з аналізованої проби металу в умовах

високого вакууму. Після закінчення екстракції визначається кількість і склад газів, що виділяються.

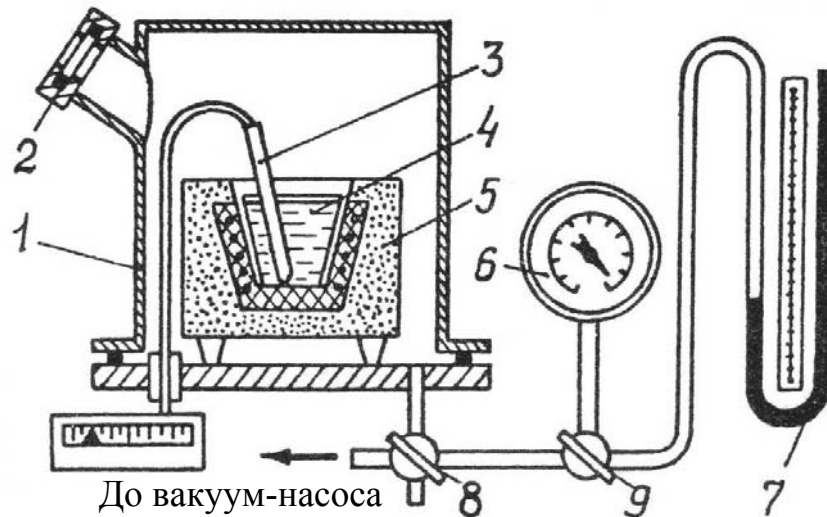
Застосовують два варіанти вакуумної екстракції (вакуум-нагрів і вакуум-плавлення), що розрізняються в основному агрегатним станом аналізованої проби металу. Температура екстракції при аналізі більшості легких сплавів вакуум-нагрівом на 20–30 °С нижча за температуру солідус досліджуваного сплаву, при вакуум-плавленні – на 20–30 °С вища за температуру ліквідус. За принципом і методикою обидва варіанти практично не розрізняються.

Вакуум-нагрів застосовують по ГОСТ 21132.1–75 для визначення вмісту газів в алюмінії і алюмінієвих сплавах. Наважку металу поміщають в кварцову трубку і нагрівають до температури 500–600 °С при залишковому тиску $(6,65–9,31) \cdot 10^{-5}$ Па. Гази, що виділяються, збирають в об'єм, що калібрується, де по зміні тиску визначають їх кількість. Водень з газової суміші видаляють дифузійно через нагрітий паладієвий фільтр і по різниці тисків визначають кількість водню.

Простішим, але і менш точним є метод першого пухирка (метод Дардела-Гудченко). Метод заснований на тому, що в умовах рівноваги парціальні тиски газу в металі і навколишньому середовищі рівні. По ГОСТ 21132.0–75 пробу металу заливають в тигель, що обігрівається і знаходиться у вакуумній камері (рис. 4.1). При постійній температурі поступово зменшують тиск над розплавом до появи першого пухирка газу, що виділився з розплаву. Момент виділення першого пухирка (за наявності на поверхні розплаву щільної оксидної плівки, що затримує дифузійно водню) відповідає рівності парціального тиску газу в розплаві і поза ним. Знаючи температуру розплаву і визначивши тиск, при якому виділяється перший пухирок, розраховують вміст водню в розплаві за рівнянням (4.3) або знаходять його по номограмі (рис. 4.2), побудованої за цим рівнянням.

Залежно від міцності оксидної плівки на поверхні розплаву пухирок газу виділятиметься при різному залишковому тиску. Відмінність в щільності оксидної плівки, що залежить від складу сплаву, враховується в рівнянні (4.3) значенням коефіцієнтів А і В (табл. 4.1).

Методи оцінювання газонасиченості сплаву. Одним з методів якісного оцінювання вмісту газів в кольорових металах і сплавах є спостереження за поверхнею проби А.Г. Спаського і О.М. Кулагіної, що кристалізується. Пробу отримують, заливаючи невелику порцію металу у відкриті металеві або графі-



- 1 – вакуумна камера; 2 – оглядове вікно;
 3 – термопара; 4 – тигель з металом; 5 – електропіч;
 6 – манометр зі шкалою від 0 до 100 кПа;
 7 – манометр зі шкалою від 0 до 27 кПа;
 8, 9 – триходовий кран

Рисунок 4.1 – Схема установки для визначення вмісту водню у алюмінієвому розплаві методом першого пузирка



Рисунок 4.2. – Номограма для визначення вмісту водню в алюмінії і сплавах АК6, Д1, Д16 по методу першого пузирка (цифри у прямих – градуси по Цельсію)

Таблиця 4.1 – Значення констант А і В у рівнянні (4.3) для алюмінієвих сплавів

| Легуючий елемент | Вміст легуючого елемента, % | Константи | |
|------------------|-----------------------------|-----------|-------|
| | | А | В |
| Силіцій | 2 | 2800 | 1,350 |
| | 4 | 2950 | 1,470 |
| | 6 | 3000 | 1,490 |
| | 8 | 3050 | 1,510 |
| | 10 | 3070 | 1,520 |
| Мідь | 2 | 2950 | 1,460 |
| | 4 | 3050 | 1,500 |
| | 6 | 3100 | 1,500 |
| Магній | 2 | 2720 | 1,469 |
| | 3 | 2695 | 1,506 |
| | 4 | 2670 | 1,535 |
| | 5 | 2640 | 1,549 |

тові форми-випливиці (рис. 4.3) діаметром 60 мм і завтовшки 10 мм або в графітові тигельки діаметром 25–40 мм і заввишки 50–60 мм. При кристалізації на поверхні проби відбуваються крапкові розриви поверхневої оксидної плівки, що є слідами пазирків газу, що виділяється. Кількість розривів є умовним критерієм, що характеризує пористість вилівка. По ньому роблять висновок про ступінь газонасиченості, порівнюючи пробу з еталоном.

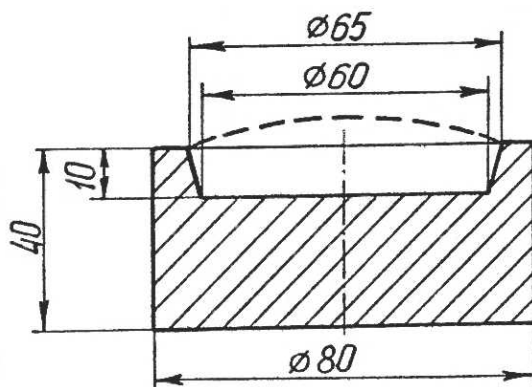
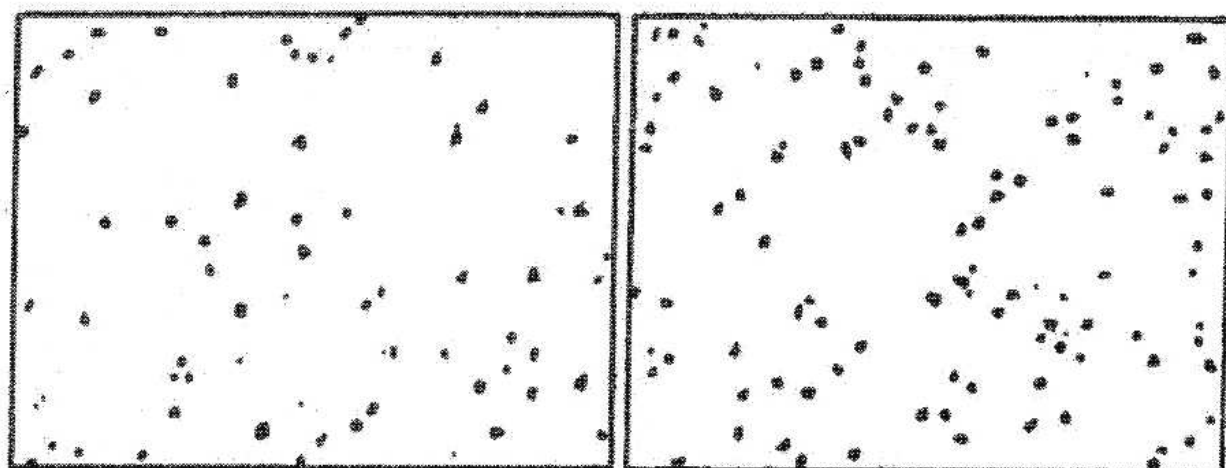


Рисунок 4.3 – Виливниця для відбору технологічної проби А.Г. Спаського і О.М. Кулагіної

Повніше уявлення про пористість металу можна скласти при розгляді подовжнього макрошліфа технологічної проби або темплета, вирізаного з готової виливки. Відповідно до ГОСТ 1583–73, темплети, вирізані з чушок алюмінієвих ливарних сплавів, фрезерують, а потім послідовно шліфують наждачним папером № 80, 120 и 280. Для остаточного доведення поверхні шліфа наждачний папір останнього номера покривають парафіном. Шліф перед травленням промивають спиртом або ацетоном, а потім просушують за допомогою фільтрувального паперу і протравлюють одним з реактивів, приведених в табл. 4.2. Після травлення шліф промивають проточною водою і висушують фільтрувальним папером. Для оцінювання щільності металу користуються шкалою пористості (рис. 4.4). Ступінь пористості шліфів в балах встановлюють порівнянням їх з еталонами шкали: бал 1 – дрібна; бал 2 – знижена; бал 3 – середня; бал 4 – підвищена; бал 5 – велика.

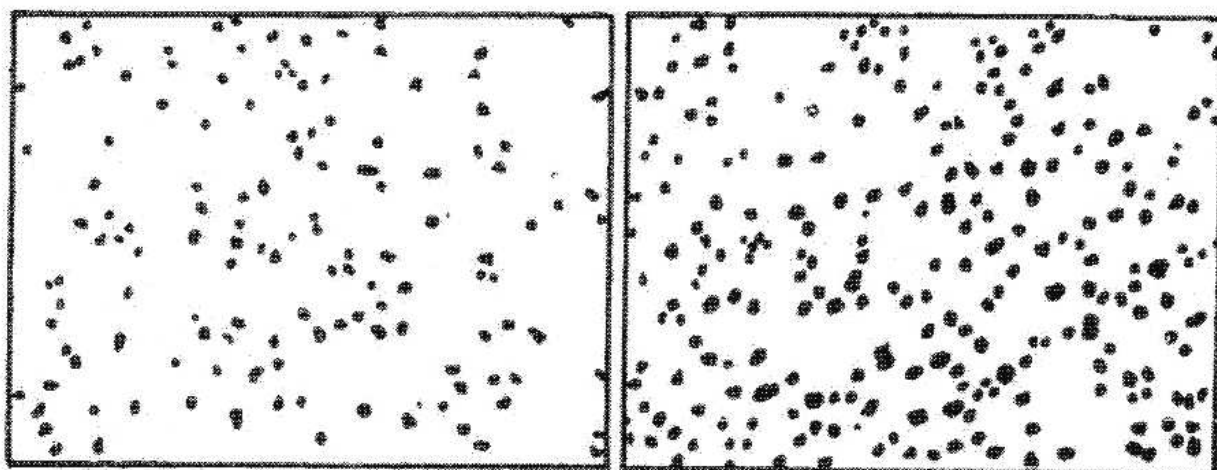
Таблиця 4.2 – Реактиви і режими травлення

| Склад реактиву | Область застосування | Режим травлення |
|--|--|---|
| 10–15 % розчин NaOH | Для мідьвмісних і інших сплавів | Шліф витримують в реактиві при 60–80 °С протягом 10–90 с, промивають водою, опускають в 20–30 % розчин HNO ₃ для зняття тонкої плівки. |
| 160–300 г/л CuCl ₂ , 1000 мл H ₂ O (реактив Юм-Розарі) | Для сплавів, що містять 5–13 % Si | Шліф протравлюють при кімнатній температурі багатократним зануренням на 5–10 с. |
| 10 мл HF, 15 мл HCl, 90 мл H ₂ O (реактив Флінка) | Для чистого алюмінію. Допускається для сплавів, окрім силумінів | При кімнатній температурі шліф занурюють в розчин або змочують тампоном протягом 30–90 с. |
| 20 мл HCl, 5 мл HF, 20 мл HNO ₃ , 55 мл H ₂ O (реактив Келлера) | Для сплавів на основі системи Al–Cu | При кімнатній температурі шліф занурюють в розчин або змочують тампоном протягом 30–300 с. |



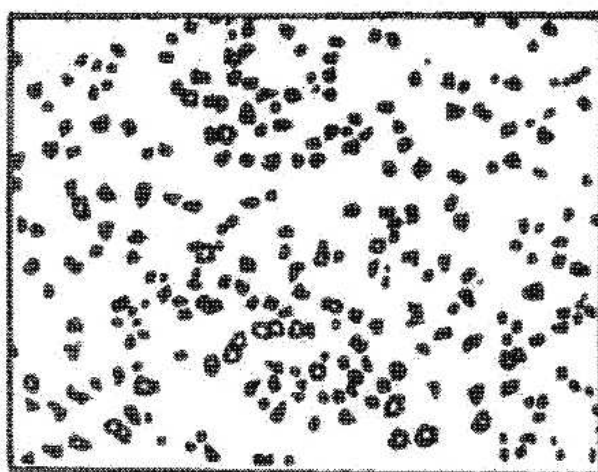
Бал 1

Бал 2



Бал 3

Бал 4



Бал 5

Рисунок 4.4 – Шкала пористості алюмінієвих сплавів

Пористість виливків оцінюють за п'ятибальною шкалою. Допустима кількість пор на 1 см² поверхні шліфа і діаметр їх залежно від номера еталону приведена в табл. 4.3. Еталонами ступеня пористості можна користуватися незалежно від марки сплаву.

Таблиця 4.3 – Число і діаметр пор, що відповідають еталонам шкали пористості

| Пористість, бали | Число пор на 1 см ² , не більше | Діаметр пор, мм, не більше | Пористість, % |
|------------------|--|----------------------------|---------------|
| 1 | 5 | 0,1 | 100 |
| 2 | 10 | 0,1 | 80 |
| | | 0,2 | 20 |
| 3 | 15 | 0,3 | 80 |
| | | 0,5 | 20 |
| 4 | 20 | 0,5 | 70 |
| | | 1,0 | 30 |
| 5 | 25 | 0,5 | 60 |
| | | 1,0 | 30 |
| | | > 1,0 | 10 |

Широке розповсюдження для якісного оцінювання вмісту газів у сплавах набув метод гідростатичного зважування, що дозволяє визначити щільність і пористість вилки по різниці об'ємних мас досліджуваного і еталонного зразків. Еталонний зразок, в якому практично відсутня газова пористість, отримують заливанням металу у кокіль з подальшою обробкою на ковальському пресі. Щільність еталонного зразка визначається гідростатичним зважуванням і перевіряється розрахунком по відомому хімічному складу.

Про вміст газів в сплаві можна зробити висновок також за допомогою вакуумної проби. Прожареним графітовим або графіто-шамотним тиглем місткістю 200 г відбирається невелика порція рідкого сплаву при 720–730 °С. Цей тигель поміщається під “дзвоник” (рис. 4.5), де сплав охолоджується до повної кристалізації при зниженому тиску (27–40 кПа). Створення вакууму сприяє повнішому виділенню розчинених газів зі сплаву. Під дією тиску цих газів поверхня проби в тиглі набуває опуклого контура. У розрізі затверділого злитка з'являються газові раковини. Про ступінь газонасиченості роблять

висновок, порівнюючи розріз вакуум-проби з еталоном. Уявлення про наявність газів в металі може бути також отримане по величині опуклості поверхні проби, що закристалізувалася у вакуумі.

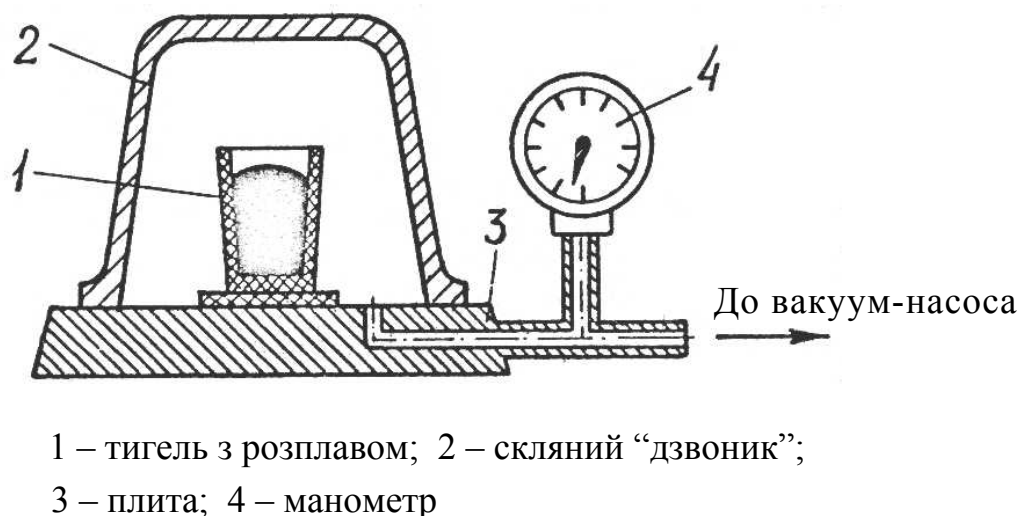


Рисунок 4.5 – Схема установки для отримання вакуум-проби

При контролі якості виливок значну допомогу виробничникам надають методи неруйнуючого контролю, що дозволяють оцінити щільність виробів, характер і розташування пористості. До цих методів відносяться: рентгенографія, гамма-дефектоскопія, кольорова дефектоскопія і ультразвуковий контроль.

Експериментальна частина

Прилади і матеріали: піч СШОЛ–11,6 12–МЗ; установка Дардела-Гудченко для визначення вмісту водню в алюмінієвому розплаві; установка для отримання вакуум-проби; графітові або графіто-шамотні і алундові тиглі; виливниці для відбору технологічних проб; ручна ножівка; інструменти і матеріали для виготовлення макрошліфів; технічні ваги з важками; набір плавильно-заливального інструменту; набір металів, підготовчих сплавів і лігатур для приготування сплаву заданого складу; набір реактивів для травлення; ванночки; вата; лабораторні щипці; захисні окуляри; рукавиці.

Порядок проведення роботи

Розрахувати шихту для приготування групи алюмінієвих сплавів. Кількість і склад сплаву, а також шихтові матеріали задає викладач. Кожна бригада отримує індивідуальне завдання.

Зважити компоненти шихти і в необхідній послідовності завантажити в розігрітий до червоності графітовий тигель. Перегріти сплав до заданої температури. Від кожного сплаву відібрати проби для визначення вмісту водню і для визначення ступеня газонасиченості.

Проби сплаву по черзі помістити в алундовий тигель установки (рис. 4.1). Ввімкнути піч установки і вакуумний насос. При появі в тиглі на поверхні розплаву першого пухирка відключити насос і записати тиск, показаний на манометрі, і температуру.

Знов ввімкнути насос і, знижуючи тиск, провести спостереження за поверхнею розплаву. При появі другого пухирка знову записати тиск і температуру (якщо другий пухирок з'являється при різниці тисків більше 6660 Па між появою першого і другого пухирків, то розрахунок провести за другими показаннями).

Розрахувати газонасиченість за рівнянням (4.3) і номограмою (рис.4.2). Вміст газу визначати по двох-трьох паралельних пробах за умови збіжності результатів. Для аналізу вмісту водню в розплаві взяти три-чотири алюмінієві сплави з різним вмістом легуючого компонента або різних систем.

Визначити вміст водню в сплавах залежно від типу або вмісту легуючого компонента і температури розплаву (у інтервалі 600–900 °С).

Для визначення ступеня газонасиченості одним з методів якісного оцінювання (задає викладач) виплавити декілька проб сплаву з різної шихтової сировини. Відлити сплави при різних температурах перегріву (від 700 до 900 °С).

Визначити вплив якості шихтової сировини і температури перегріву на вміст газів у сплаві. Результати вивчення технологічних проб представити у вигляді таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Експериментальні дані по визначенню газової пористості

| Характеристика сплаву | Число пор на 1 см ² проби | Діаметр пор, мм |
|-----------------------|--------------------------------------|-----------------|
| | | |

Вимоги до звіту по роботі

Звіт по роботі повинний містити:

- мета роботи, стислі відомості про взаємодію алюмінію і його сплавів з воднем, про методи оцінювання газонасиченості сплавів;
- схеми установок, використаних в роботі;
- вихідні дані (склад шихти, розрахунок шихти на 1 кг сплаву заданого складу, умови проведення плавки і розливання заданого сплаву);
- методику визначення вмісту водню в алюмінієвому розплаві;
- методику відбору технологічних проб;
- методику визначення газової пористості;
- розрахунки вмісту водню в розплаві;
- графічні залежності вмісту водню від складу сплаву і температури розплаву;
- висновки про вплив легуючих елементів і температури розплаву на вміст водню в алюмінієвому сплаві;
- висновки про вплив якості вихідної шихтової сировини і температури перегріву на вміст газів в сплаві.

Контрольні запитання

1. Які чинники впливають на розчинність водню в алюмінії і його сплавах?
2. Як описується залежність розчинності водню в алюмінії від тиску і температури?
3. Яке рівняння використовують на практиці для розрахунку газонасиченості алюмінієвого сплаву? Чому?
4. Що є основним джерелом насичення алюмінію воднем?
5. Чому домішка водню небажана у складі алюмінієвих сплавів?
6. Які методи використовують для кількісного визначення вмісту газів в сплавах?
7. У чому суть методу першого пузирка? Які він має переваги?
8. Які методи використовують для якісного визначення вмісту газів в сплавах?
9. Що таке шкала пористості алюмінієвих сплавів? Як нею користуватися?
10. У чому суть методу гідростатичного зважування для оцінювання газонасиченості?
11. Як за допомогою вакуумної проби визначити газонасиченість сплаву?
12. Які методи неруйнуючого контролю використовують для визначення газової пористості виливок?

Лабораторна робота № 5

ПЛАВЛЕННЯ І РАФІНУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Мета роботи:

- вивчення шихтування і технології плавлення різних алюмінієвих сплавів з вторинної сировини;
- дослідження впливу розміру зерна фільтра і матеріалу фільтра на ефективність очищення алюмінієвого розплаву.

Теоретична частина

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

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.

Хімічний склад і галузі застосування ливарних алюмінієвих сплавів досить різноманітні. Залежно від вмісту основних компонентів ці сплави відповідно до ДСТУ 2839–94 (ГОСТ 1583–93) поділяють на п'ять груп:

- 1) на основі системи алюміній – силіцій – магній (АК12 (АЛ2), АК9, АК9ч (АЛ4), АК7, АК7ч (АЛ9) та ін.);
- 2) на основі системи алюміній – силіцій – мідь (АК5М (АЛ5), АК5М2, АК5М7, АК9М2, АК12ММГН (АЛ30), АК12М2, АК12М2МГН (АЛ25) та ін.);
- 3) на основі системи алюміній – мідь (АМ5 (АЛ19), АМ4,5Кд (ВАЛ10));
- 4) на основі системи алюміній – магній (АМГ5К (АЛ13), АМГ6л (АЛ23), АМГ10 (АЛ27) та ін.);
- 5) на основі системи алюміній – інші компоненти (АК7Ц9 (АЛ11), АК9Ц6 (АК9Ц6р), АЦ4МГ (АЛ24)).

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

Найбільш шкідливою домішкою у сплавах першої групи є залізо, утворююче з компонентами сплаву потрійну β -фазу ($Al_xFe_ySi_z$), що

кристалізується у формі грубих голкоподібних кристалів, які різко знижують пластичні властивості силумінів. Для нейтралізації шкідливого впливу заліза до складу сплавів додають манган або кобальт.

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

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

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

Сплави п'ятої групи застосовують для виготовлення виливок з підвищеною стабільністю розмірів, що працюють при підвищених температурах і тисках, а також для виготовлення зварних конструкцій. Вони мають складну багатофазну структуру, що визначає їх високу схильність до гарячих тріщин.

З *деформівних* сплавів методом напівбезперервного лиття виготовляють круглі й плоскі злитки, які піддають гарячій і холодній обробці тиском (прокатуванню, пресуванню, штампуванню, куванню тощо).

Залежно від здатності зміцнюватися при гартуванні й наступному старін-

ні деформівні алюмінієві сплави поділяють на термічно незміцнювані та термічно зміцнювані.

До деформівних сплавів, що виготовляються із вторинної сировини, належить порівняно невелика група сплавів, склад яких наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Хімічний склад деформівних сплавів у чушках (ГОСТ 1131–76)

| Марка сплаву | Хімічний склад, % | | | | | | | | |
|--------------|----------------------|---------|---------|---------|--------------------|-----|-----|-----|------|
| | 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 |

Вторинні деформівні сплави, так само, як і первинні, – це сплави на основі системи алюміній – мідь – магній з добавками 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 низькосортної вторинної алюмінієвої сировини або з первинного алюмінію, забрудненого розчинним залізом, зазвичай виготовлюють *сплави-розкислювачі*. Хімічний склад цих сплавів відповідно до ДСТУ 3753–98 (ГОСТ 295–98) наведений у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Хімічний склад алюмінію для розкислення, алюмінотермії і виробництва феросплавів (ДСТУ 3753–98 (ГОСТ 295–98))

| Марка сплаву | Хімічний склад, % | | | | | | | |
|--------------|-------------------|----------------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| | Al + Mg | | домішок, не більше | | | | | |
| | усього, не менше | в 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 |

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

Спечені алюмінієві сплави застосовують для виготовлення деталей і вузлів малонавантажених конструкцій, що працюють в інтервалі температур 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).

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

Розрахунок шихти виконують з метою отримання сплаву заданої марки підбором сировини такого складу, який забезпечив би оптимальне використання всіх легуючих компонентів алюмінієвих сплавів (силіцію, міді, мангану, цинку та ін.), що містяться у складі брухту та відходів, з урахуванням вмісту в них шкідливих домішок. При складанні шихти необхідно враховувати втрати окремих компонентів сплаву і шихтових матеріалів під час плавлення.

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

Технологічна послідовність плавки (черговість завантаження печі) – це визначення виду і кількості шихтових матеріалів для утворення рідкої ванни і металу, що проплавляється в рідкій ванні. Сировиною для утворення рідкої ванни є кусковий брухт, пакетований брухт, крупний шлак (розміром більше 100 мм), підготовчі сплави і брак в чушках. У рідкій ванні проплавляють

стружку, дрібні обрізки, дрібний шлак. Кількість металу, потрібного для утворення рідкої ванни, складає 30–40 % від місткості печі.

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

Технологія плавлення. Компактну сировину завантажують на «сухий», добре прогрітий черінь, рівномірно розподіляючи по всій площі череня печі. Після часткового оплавлення шихти на її поверхню завантажують трохи флюсу (еквімолярну суміш солей NaCl і KCl). Флюс після розплавлення є захисним покривом на металі, запобігаючи його окисленню, і поглинає оксиди. Наступну порцію шихти занурюють, не чекаючи повного розплавлення раніше завантаженої сировини, і знову додають флюс. Для прискорення розплавлення шихту в печі перемішують сталевими ключками і шкребками.

Після повного розплавлення всієї зашихтованої компактної сировини проводять операцію флюсування (шлакування) – доведення шлаку до рідкого стану. Рідкий флюс, що захищає метал від окислення, внаслідок часткового випаровування його компонентів і поглинання оксидів перетворюється на в'язкий шлак. Щоб перед видаленням зробити шлак текучим з метою кращого відділення від нього металу, на поверхню ванни завантажують ще деяку кількість флюсу і енергійно перемішують. Загальна витрата флюсу, залежно від засміченості брухту, приведена в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Загальна витрата флюсу під час плавлення алюмінієвого брухту

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

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

У наплавленій рідкій ванні плавлять стружку і іншу дрібну сировину. Перед завантаженням стружки ванна металу повинна мати температуру 750–

850 °С і бути покрита тонким шаром розплавленого флюсу. Одночасне завантаження стружки складає близько 25 % маси рідкої ванни. Для уникнення швидкого окислення завантажену стружку негайно змішують в рідкий метал. Під час плавлення стружки необхідно стежити за тим, щоб шлак на поверхні розплавленого металу був рідким, що досягається додаванням свіжого флюсу. Витрата флюсу залежно від окисленості стружки приведена в табл. 5.4.

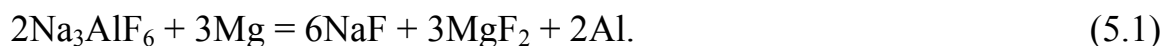
Таблиця 5.4 – Загальна витрата флюсу під час плавлення стружки

| | | | | | |
|--|-----|----|----|----|----|
| Вміст металу в стружці (по металургійному виходу), % | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| Витрата флюсу, % від маси стружки | 100 | 75 | 60 | 50 | 40 |

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

Після розплавлення всієї шихти повністю знімають шлак, розплав ретельно перемішують і відбирають пробу для експрес-аналізу хімічного складу.

Відповідно до результатів експрес-аналізу коректують склад розплаву додаванням легуючих компонентів (силіцію, міді та ін.) або зниженням вмісту домішок до норм стандарту. Вміст магнію в розплаві знижують обробкою рафінуючим флюсом (рівноважна суміш кріоліту з покривним флюсом). У основі цього методу є реакція:



За стехіометричним розрахунком на 1 кг магнію необхідно 6 кг кріоліту, проте практично його беруть в 1,5–2 рази більше. Інші метали, що знаходяться в алюмінієвому розплаві, не вступають у взаємодію з фторидними сполуками і вміст цих металів не змінюється. Тому зниження вмісту решти домішок досягають, розбавляючи розплав додаванням первинного алюмінію або відходів алюмінію.

Компоненти сплаву вводять в рідкий метал в чистому вигляді або у вигляді лігатур. Силіцій вводять в кристалічному вигляді за допомогою

«дзвоника» або у вигляді чушкового силуміну і алюмінієво-силіцієвих лігатур. Мідь зазвичай вводять в розплав у вигляді дроту, висічки та інших відходів з малим перетином і чистою поверхнею. Для повного розчинення міді ванну необхідно енергійно перемішувати. Магній і цинк вводять як в чистому вигляді, так і у вигляді брухту, а також лігатур алюміній–магній (90:10) і алюміній–цинк (70:30). Чистий магній, як і манган, вводять за допомогою «дзвоника».

Після закінчення коректування з ретельно перемішаної ванни беруть пробу сплаву для аналізу.

Виплавка алюмінієвих сплавів на повітрі приводить до забруднення розплавів оксидами, нітридами, воднем, включеннями шлаку і флюсу. Тому сплави піддають рафінуванню.

Дуже популярний метод рафінування *продуванням розплавів газами*. Як рафінувальні гази застосовують хлор, азот, аргон. Для збільшення поверхні контакту з металом, який очищують, ці гази вдувають у розплав у диспергованому стані. Дегазація сплаву відбувається внаслідок дифузії розчиненого в металі водню в пухирки газу, що вдувається. Цей процес відбувається до встановлення рівноваги розплаву з газовою фазою, яка рафінує. Водень видаляється під час продування також механічним захопленням його дрібних пухирків. Одночасно відбувається очищення від оксидів та інших нерозчинних домішок. Процес очищення металу від твердих неметалевих включень подібний флоатації.

Розпилення струменя газу, що вдувається, на пухирки діаметром до 0,1 мм досягається пропусканням його крізь пористі елементи, вмонтовані в днище тигля, або через пористі насадки на занурених у метал кварцових чи графітових трубах, через які газ, що рафінує, вдувають у розплав.

Як інертні рафінувальні гази використовують азот, аргон, гелій. Продування азотом або аргоном ведуть при 720–730 °С. Тривалість продування залежно від об'єму розплаву коливається в межах 5–20 хв., витрата газу складає 0,5–1,0 м³/т розплаву.

Як *солі, що рафінують*, застосовують хлориди цинку, мангану, хрому, алюмінію та гексахлоретан. Ці солі, взаємодіючи з рідким алюмінієм, утворюють хлорид алюмінію, механізм рафінування яким подібний дії AlCl₃, що утворюється під час продування розплаву хлором. Перед використанням хлориди піддають сушінню при 300–400 °С впродовж 4–6 год. (MnCl₂, C₂Cl₆) або перепплавляння (ZnCl₂), оскільки вони гігроскопічні. При рафінуванні сіль у

кількості 0,1–0,2 % маси шихти вводять у розплав за допомогою “дзвоника” за температури 700–730 °С, гексахлоретан – за температури 740–750 °С у кілька прийомів. Рафінування вважається завершеним після закінчення “бурління”. На ділянках фасонного литва для рафінування використовують таблетки препарату “Дегазер”, що складаються з гексахлоретану і хлориду барію (10 %), які вводять у розплав у кількості 0,5 % за температури 720–750 °С. Маючи більшу щільність, ніж розплав, таблетки опускаються на дно місткості, в якій здійснюється рафінування, забезпечуючи очищення всього об’єму розплаву.

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

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

$$\sigma_{Me-MeO} > \sigma_{фл-Me} > \sigma_{фл-MeO},$$

$$\sigma_{Me-MeO} > \sigma_{фл-Me} + \sigma_{фл-MeO},$$

де σ_{Me-MeO} – поверхневий натяг алюмінію на межі з оксидом;

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

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

Алюміній гірше змочує оксид алюмінію, ніж флюс. Отже, рафінування металевого розплаву відбувається внаслідок адсорбції оксидів флюсом через їхню кращу змочуваність флюсом, ніж металом. Якісно можна оцінити поверхневий натяг розплавленої солі на межі з твердою фазою за розміром крайового кута змочування краплі цієї солі, що знаходиться на твердій поверхні. Якщо крайовий кут змочування $\theta < 90^\circ$, то рідина добре змочує поверхню випробуваного матеріалу і поверхневий натяг у такій рідині низький. Якщо в краплі крайовий кут змочування $\theta > 90^\circ$, то така рідина погано змочує цю поверхню і, отже, її поверхневий натяг високий.

Флюс має відповідати таким вимогам: мати температуру плавлення нижчу, ніж температура плавлення сплаву; щільність – меншу, ніж щільність

металу; не вступати у взаємодію з алюмінієвим розплавом, футеровкою печі та пічними газами.

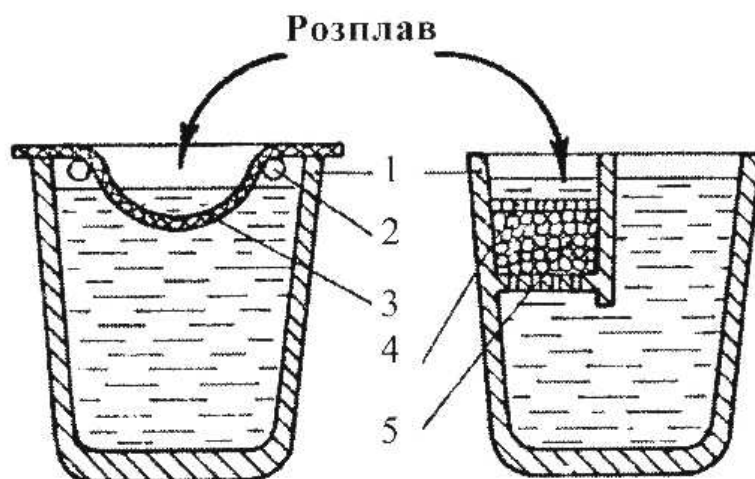
Вищий рівень дегазації розплавів отримують при *вакуумуванні*. Суть цього виду рафінування полягає в тому, що виплавлений за звичайною технологією сплав переливають в ківш, який потім поміщають у вакуумну камеру, де витримують при залишковому тиску 100–1000 Па протягом 10–30 хв. Температура розплаву при цьому підтримується на рівні 720–750 °С.

Фільтрування розплавів. Останніми роками для очищення алюмінієвих розплавів від неметалевих включень і інтерметалідів у все більших масштабах застосовують фільтрування. Суть методу полягає в пропусканні розплавів через сітчасті (двомірні), зернисті (об'ємні) або рідкі фільтри. До зернистих фільтрів можна віднести також керамічні фільтри з фіксованими розмірами каналів.

Сітчасті фільтри широко застосовують для очищення розплавів від великих включень і плівок. У основі роботи сітчастих фільтрів (склотканина, металева сітка) лежить механічне відокремлення макроскопічно крупних включень, розмір яких більше розміру комірки сітки. Тому чим менше розмір комірки, тим повніше очищення. Мінімальний розмір комірки визначається поверхневим натягом розплаву, тобто можливістю проходження через неї розплаву під дією невеликого металостатичного тиску (шар металу 50–100 мм над фільтром). У практичних умовах, наприклад, алюмінієві розплави не проходять через склотканину з розміром комірки менше 0,5x0,5 мм. Найчастіше використовують сітки з безлужного алюмоборосилікатного скла марок ССФ1–ССФ4 з розміром отворів від 0,6x0,6 до 1,7x1,7 мм.

Перевага сітчастих фільтрів – простота конструкції, невеликі витрати при виготовленні і використанні, можливість установки на будь-яких ділянках переливання металу: в роздавальних тиглях (рис. 5.1), ливникових каналах, розподільних коробках і кристалізаторах машин безперервного лиття. Витрата склосітки при одноразовому використанні фільтру складає 0,07 м² на 1 т злитків. Фільтрування через сітчасті фільтри впроваджене повсюдно при розливанні злитків з алюмінієвих сплавів. Очищення алюмінієвого розплаву пропусканням через сітки ССФ знижує в 1,5–2,0 рази вміст неметалевих включень і плівок у зламі технологічних проб. Проте сітчасті фільтри не дозволяють відокремлювати дрібнодисперсні включення і водень.

Значно більший ефект очищення дають зернисті фільтри. Вони являють собою шар із зерен фільтрувального матеріалу розміром 5–15 мм у поперечни-



1 – тигель; 2 – кільце – утримувач сітки; 3 – сітчастий фільтр;
4 – перфорована плита; 5 – зернистий фільтр

Рисунок 5.1 – Схема розташування фільтрів у роздавальних тиглях

нику, завтовшки 100–150 мм.

Вони являють собою шар зерен (кусточків) фільтрувального матеріалу певної товщини (рис. 5.1). Відмітна особливість зернистих фільтрів – велика поверхня контакту з металом в процесі фільтрування і наявність довгих, тонких міжзеренних каналів змінного перетину, метал в яких переміщається зі змінною швидкістю, що підсилює ефект рафінування.

Очищення розплавів від зважених включень у зернистих фільтрах обумовлене як механічними, так і адгезійними процесами. Першим з них належить вирішальна роль при відділенні крупних включень і оксидних плівок, другим – при відділенні тонкодисперсних включень. Зернисті фільтри затримують лише ті включення, розмір яких перевищує ефективний діаметр міжзеренних каналів. Ефективність очищення зростає в міру збільшення товщини шару і щільності укладання зерен фільтра, зменшення діаметра зерен та металостатичного напору. Фільтри, що змочуються розплавами, ефективніші, ніж ті, що не змочуються.

На практиці використовують зернисті фільтри із зерен розміром 4–30 мм при товщині шару 50–200 мм. Ці параметри визначаються необхідною пропускною спроможністю фільтру (1–8 т/год.). Максимальний ефект очищення отримують при використанні дрібнозернистих (4–5 мм у поперечнику) фільтрів із матеріалів, що мають найвищу адгезію з неметалевими включеннями (фториди). Зернисті фільтри, як і сітчасті,

встановлюють на шляху металу, що переливається з міксеру у форму. При фасонному литті фільтр розміщують у стояку, роздавальному тиглі або в ливниковій чаші.

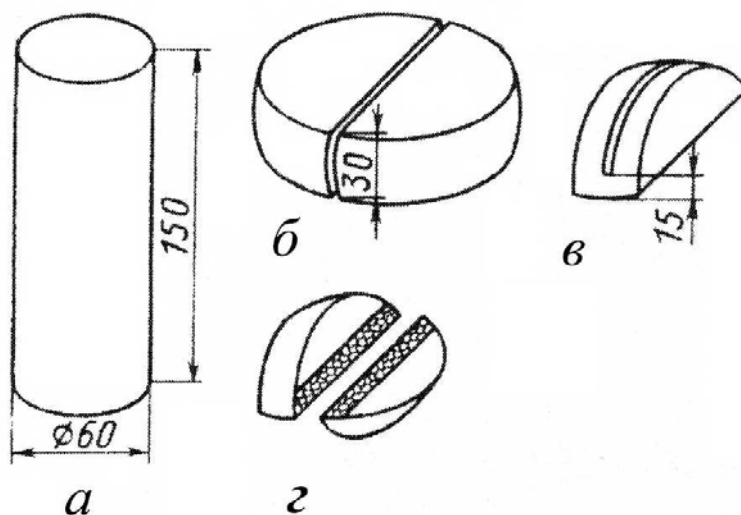
Залежно від складу матеріалу фільтр може бути «інертним» або «активним» по відношенню до неметалевої зависі і розплаву.

Для виготовлення інертних фільтрів використовують зазвичай куски вогнетривкого матеріалу (шамот, магнезит, корунд і ін.). Як активні фільтри застосовуються куски плавлених флюсів (хлоридні і фторидні солі), спечені гранули глинозему, просочені флюсом і ін. Температура плавлення цих флюсів повинна бути вища за температуру металу, що фільтрується. До таких флюсів належить, наприклад, сплав, що складається з 50 % MgF_2 і 50% CaF_2 . Активні фільтри разом з крупними включеннями і плівками дозволяють відокремити до 30–40 % тонкодисперсної зависі і на 10–20 % понизити вміст водню. Деяка дегазація розплаву обумовлена тим, що частина водню, що міститься в алюмінії, адсорбована твердими включеннями.

Контроль рафінування. Вміст неметалевих включень визначають методами хімічного аналізу і відбором технологічних проб. Враховуючи складність і трудомісткість хімічного методу кількісного визначення неметалевих включень для поточного контролю в цехових умовах його не застосовують. Наявність крупних включень і плівок визначають за допомогою технологічних проб Добаткіна–Зінов'єва (рис. 5.2). Для цієї мети з досліджуваного розплаву відливають (або вирізують зі злитка) заготовку діаметром 50 мм і завдовжки 150 мм. Заготовку в нагрітому стані осаджують по довжині у “галету” завтовшки 30 мм (п'ятикратна осадка). Після цього по площині, перпендикулярній напрямку осадки, “галету” надрізають і ламають. По кількості і площі неметалевих включень у зламі роблять висновок про чистоту розплаву (рис. 5.3). Задовільним вважається такий розплав, площа неметалевих включень в якому не перевищує 0,05 % на 1 см² площі зламу.

Експериментальна частина

Прилади і матеріали: піч СШОЛ–11,6 12–МЗ; муфельна електропіч; технічні ваги з важками; графітовий, сталевий або шамотний лоток-ванна; сталеві коробки; графітові тиглі; сітки марок ССФ1–ССФ4; подрібнений магнезит і сплав, що складається з 50 % MgF_2 і 50 % CaF_2 , розміром 4–6 мм; виливниці для відбору технологічних проб; набір плавильно-заливального інструменту; ручна ножівка; набір вторинної алюмінієвої сировини; первинний



a – лита заготовка; *б* – осаджена і розрізана заготовка (“галета”);
в – розташування бічного надрізу; *г* – злам

Рисунок 5.2 – Технологічна проба Добаткіна–Зінов'єва

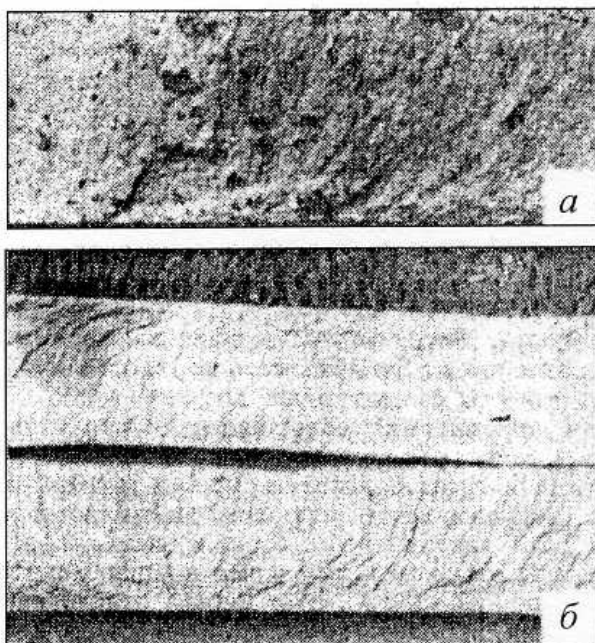


Рисунок 5.3 – Злами технологічних проб з нерафінованого (*a*)
і рафінованого (*б*) сплавів

алюміній; легуючі компоненти; флюси; набір реактивів для травлення; набір інструментів і матеріалів для виготовлення макрошліфа; лабораторні щипці; ванночки; вата, захисні окуляри; рукавиці.

Порядок проведення роботи

Розрахувати шихту для приготування групи алюмінієвих сплавів. Кількість і склад сплаву, а також шихтові матеріали задає викладач. Кожна бригада отримує індивідуальне завдання. Згідно розрахунку зважити компоненти шихти для приготування 1 кг алюмінієвого сплаву.

Для вивчення технології виплавки сплаву в розігріту до температури 750–850 °С піч з лотком-ванною завантажити спочатку компактну шихту, а потім сипку шихту. Після проплавлення всієї шихти перемішати ванну розплаву, зняти шлак і взяти пробу для експрес-аналізу.

Відповідно до результатів аналізу розрахувати необхідну кількість добавок і прокоректувати хімічний склад сплаву.

Ретельно перемішати ванну розплаву, очистити її поверхню від шлаку і знову відібрати пробу для аналізу.

Для дослідження впливу розміру зерна фільтра і матеріалу фільтра на ефективність очищення алюмінієвого розплаву фільтруванням у тиглі місткістю 200 г встановити матеріали, що фільтрують (укласти сітку двох марок, засипати подрібнений магнезит або сплав фторидів).

Тиглі з матеріалами, що фільтрують, встановити в муфельну електропіч і підігріти до 700–750 °С для видалення адсорбованої вологи і запобігання «заморожуванню» металу в каналах фільтрів.

По черзі заливати порцію сплаву в кожен тигель (заливання проводити таким чином, щоб верхній рівень фільтра був покритий шаром металу завтовшки 10–15 мм).

Відібрати з кожного тигля технологічні проби для визначення ступеня засміченості металу твердими включеннями (відібрати також проби нерафінованого металу). Приготувати макрошліфи і по них визначити ефективність очищення розплаву.

Зіставити результати фільтрування через різні фільтри.

Вимоги до звіту по роботі

Звіт по роботі повинний містити:

- мета роботи, стислі відомості про класифікацію алюмінієвих сплавів, шихтування, технологію плавлення і рафінування сплавів;
- вихідні дані (склад шихти, розрахунок шихти на 1 кг сплаву заданого складу, умови проведення плавки і розливання заданого сплаву);

- технологію плавлення, фільтрування і відбору проб;
- тривалість плавлення різних видів сировини;
- результати експрес-аналізів і розрахунків для коректування складу сплаву;
- результати якісного оцінювання засміченості металу;
- висновки про вплив розміру комірки сітчастого фільтра і матеріалу кускового фільтра на ефективність очищення алюмінієвого розплаву від неметалевих включень.

Контрольні запитання

1. На які групи поділяють алюмінієві сплави за способом виготовлення виробів?
2. На які системи залежно від вмісту основних компонентів поділяють ливарні алюмінієві сплави? Які властивості характерні для кожної системи?
3. На які групи поділяють деформівні алюмінієві сплави?
4. Чим відрізняються вторинні деформівні алюмінієві сплави від первинних? Де їх використовують?
5. Що таке сплави-розкислювачі? Де їх використовують?
6. Що таке шихтування? Які є види розрахунку шихти?
7. Назвіть основні джерела і процеси втрат алюмінію під час плавлення.
8. Які особливості характерні для плавлення вторинної алюмінієвої сировини? З яких операцій складається технологія плавлення вторинної алюмінієвої сировини?
9. У чому суть шлакування?
10. Які хлориди використовують для рафінування розплавів? Яку підготовку вони проходять перед введенням в розплав?
11. Якими способами здійснюють дегазацію розплавів?
12. В чому суть механізму дегазації продуванням розплавів інертними і активними газами, обробкою хлоридами?
13. Скільки рафінуючого газу і хлоридів витрачається на 1 т розплаву?
14. У чому суть дегазації вакуумуванням? За яких обставин її здійснюють?
15. Які методи використовують для очищення розплавів від неметалевих включень? Який з них найбільш ефективний?
16. У чому суть механізму видалення оксидної плівки з розплаву флюсами?
17. Які методи контролю використовують для оцінювання вмісту неметалевих включень?
18. Які параметри зернистих фільтрів забезпечують оптимальні умови очищення алюмінієвих розплавів від великих включень і плівок?

Лабораторна робота № 6

ПЛАВЛЕННЯ І РАФІНУВАННЯ МАГНІЄВИХ СПЛАВІВ

Мета роботи:

- вивчення технології виплавки магнієвих сплавів;
- дослідження ефективності різних методів рафінування магнієвих сплавів від оксидних плівок і шлакових включень.

Теоретична частина

Близько половини всього вироблюваного магнію використовується для легування алюмінієвих сплавів, решта магнію витрачається для виготовлення магнієвих сплавів. Чистий магній має недостатньо високий комплекс механічних властивостей, тому в техніці використовують в основному магнієві сплави. Застосування магнієвих сплавів завдяки їх великій питомій міцності дозволяє зменшити масу деталей машин. У літакобудуванні з магнієвих сплавів виготовляють колеса і вилки шасі, різні важелі, корпуси приладів, насосів, коробок передач, ліхтарі і двері кабін, деталі планера літака. Магнієві сплави успішно використовують у конструкціях вертольотів. З магнієвих сплавів виготовляють корпуси ракет, обтічники, корпуси насосів, паливні і кисневі баки, опорні вузли, стабілізатори.

Із-за високої демпфуючої здатності з магнієвих сплавів виготовляють кожухи для розміщення електронної апаратури керованих снарядів.

Із-за малої здатності поглинати теплові нейтрони і практично повної відсутності взаємодії з ураном магнієві сплави застосовують для виготовлення оболонок тепловиділяючих елементів в атомних реакторах.

Магнієві сплави за способом виробництва з них напівфабрикатів і виробів поділяють на дві основні групи:

- а) деформівні сплави – для виробництва напівфабрикатів різними методами обробки тиском;
- б) ливарні сплави – для отримання деталей методами фасонного лиття.

Магнієві сплави деформівні і ливарні маркують відповідно літерами МА і МЛ (табл. 6.1).

Деформівні сплави. Для виготовлення листів, поковок, штамповок, профілів, прутків і смуг в промисловості застосовують наступні групи деформівних магнієвих сплавів відповідно до ГОСТ 14957–76:

- 1) на основі системи магній – манган (МА1, МА8, МА8пч);

Таблиця 6.1 – Хімічний склад магнієвих сплавів

| Марка | Основні компоненти, % (магній – решта) | | |
|-------|--|---------|----------|
| | Al | Zn | Mn |
| МА2 | 3,0–4,0 | 0,2–0,8 | 0,15–0,5 |
| МА2–1 | 3,8–5,0 | 0,8–1,5 | 0,3–0,7 |
| МА3 | 5,5–7,0 | 0,5–1,5 | 0,15–0,5 |
| МА5 | 7,8–9,2 | 0,2–0,8 | 0,15–0,5 |
| МЛ4 | 5,0–7,0 | 2,0–3,5 | 0,15–0,5 |
| МЛ5 | 7,5–9,0 | 0,2–0,8 | 0,15–0,5 |
| МЛ6 | 9,0–10,2 | 0,6–1,2 | 0,1–0,5 |

- 2) на основі системи магній – алюміній – цинк (МА2, МА2–1, МА2–1пч, МА3, МА5);
- 3) на основі системи магній – цинк – цирконій (МА14, МА15, МА19, МА20);
- 4) на основі системи магній – рідкісноземельний метал (РЗМ) – манган (МА11, МА12, МА17);
- 5) на основі систем магній – ітрій та магній – ітрій – кадмій (ВМД10);
- 6) на основі системи магній – літій (МА18, МА21).

Сплави першої групи. Сплави системи магній – манган (МА1, МА8, МА8пч) відрізняються високою корозійною стійкістю, високою пластичністю в гарячому стані, задовільно зварюються; їх застосовують у відпаленому або нагартованному стані для виготовлення виробів, що не несуть високих навантажень.

Сплави другої групи. Сплави системи магній – алюміній – цинк (МА2, МА2–1, МА2–1пч, МА3, МА5) залежно від вмісту алюмінію мають високу міцність або пластичність. Зі збільшенням вмісту алюмінію зростає міцність сплавів і знижується пластичність.

Сплави третьої групи. Сплави системи магній – цинк – цирконій (МА14, МА15, МА19, МА20) відрізняються від інших високою міцністю; вони мають хорошу пластичність в гарячому стані і задовільну корозійну стійкість. Їх застосовують для виготовлення середньонавантажених деталей. Ефективність дії цирконію різко знижується у присутності алюмінію, силіцію, мангану,

нікелю або сурми. Тому домішки цих елементів допускаються в малих кількостях.

Сплави четвертої групи. Сплави системи магній – РЗМ – манган (МА11, МА12, МА17) відрізняються від інших вищими жароміцними властивостями. Так, сплави з церієм достатньо стійко працюють при температурах до 200 °С, а з неодимом – при 250 – 300 °С.

До *п'ятої групи* відносяться сплави, леговані ітрієм, зокрема, сплав ВМД10, який відноситься до системи магній – ітрій – кадмій. Сплав відрізняється високою технологічністю і з нього можна отримувати всі види деформівних напівфабрикатів. Сплав ВМД10 належить до високоміцних магнієвих сплавів. Напівфабрикати з цього сплаву за рівнем механічних властивостей перевершують поширені серійні магнієві сплави. Сплав ВМД10 знаходить достатньо широке застосування для виготовлення масивних виробів, до яких пред'являються підвищені вимоги по тріщиностійкості.

Сплави шостої групи. Легування магнію літієм дозволяє створити сплави із щільністю 1,3–1,6 г/см³, що приводить до значного збільшення питомих характеристик механічних властивостей. Так, жорсткість конструкцій з магнієво-літієвих сплавів вище за жорсткість конструкцій з інших матеріалів, в тому числі сталь і титан. До того ж рівень міцності сплавів системи магній–літій можна підвищити додатковим легуванням алюмінієм, цинком, кадмієм, РЗМ. Сплав МА18 відрізняється найменшою щільністю (1,6 г/см³) серед магнієвих сплавів. Він має високу пластичність і ударну в'язкість, найвищу технологічність; листове штампування, гнуття, витягування можуть проводитися в холодному стані.

Ливарні сплави. За хімічним складом відповідно до ГОСТ 2856–79 ливарні магнієві сплави поділяють на три групи:

- 1) на основі системи магній – алюміній – цинк (МЛ3, МЛ4, МЛ4пч, МЛ5пч, МЛ5он, МЛ6);
- 2) на основі системи магній – цинк – цирконій (МЛ8, МЛ12, МЛ15, МЛ17, МЛ18);
- 3) на основі системи магній – РЗМ (МЛ9, МЛ10, МЛ11, МЛ19).

Сплави першої групи. Сплави системи магній–алюміній–цинк (МЛ3, МЛ4, МЛ5, МЛ6) призначені для виробництва високонавантажених виливок, що працюють в атмосфері з великою вологістю. Для підвищення корозійної стійкості в сплави вводять 0,1–0,5 % мангану, а для зниження окислюваності

0,001–0,002 % берилію або 0,5–0,1 % кальцію. Сплави цієї групи відносять до високоміцних. Основним зміцнювачем в них є алюміній, розчинність якого в магнії при евтектичній температурі складає 17,4 %, а при нормальній температурі 2,8 %. Цинк також зміцнює магній, але менш ефективно, ніж алюміній.

Сплави другої групи. Сплави системи магній–цинк–цирконій (МЛ8, МЛ12) також відносять до високоміцних. Вони відрізняються від інших груп магнієвих сплавів підвищеними механічними властивостями і доброю оброблюваністю різанням. Легування їх лантаном покращує ливарні властивості, дещо підвищує жароміцність і зварюваність, але знижує міцність і пластичність при нормальній температурі. Ці сплави мають задовільні ливарні властивості, мають подрібнене цирконієм зерно, здатні зміцнюватися при термічній обробці. З них можна отримувати виливки з однорідними властивостями в різних по товщині перетинах.

Сплави другої групи використовують для виготовлення виливок, що працюють при 200–250 °С і високих навантаженнях.

Сплави третьої групи. Сплави системи магній–РЗМ–цирконій (МЛ10, МЛ11, МЛ19) мають високу жароміцність і добру корозійну стійкість. Вони призначені для тривалої роботи при 250–350 °С і короткочасної роботи при 400 °С. Ці сплави мають хороші ливарні властивості, високу герметичність, малу схильність до утворення мікрорихлості і усадкових тріщин, високі і однорідні механічні властивості в перетинах різної товщини. Сплави з РЗМ застосовують для виготовлення виливок, що працюють під впливом статичних і утомних навантажень.

Для виготовлення виливок частіше за інших використовують сплави першої групи. З них кращі ливарні властивості мають сплави МЛ5 і МЛ6. З них виготовляють високонавантажені виливки, що працюють у важких атмосферних умовах (висока вологість).

Виплавка магнієвих сплавів зв'язана з рядом труднощів. Сплави легко окислюються і поглинають багато водню. На відміну від алюмінієвих сплавів на поверхні магнієвих розплавів утворюється рихла оксидна плівка, що не захищає його від подальшого окислення і загоряння. Окислення сповільнюється в атмосфері сірчастого і вуглекислого газів. Протягом плавки магній і його сплави вступають у взаємодію з азотом, утворюючи нітрид, та інтенсивно поглинають водень. Оксиди і нітрид, знаходячись у зваженому стані, не

розчиняються в металі і є причиною погіршення механічних властивостей сплаву і утворення мікропористості у виливках. Вміст водню в магнієвих сплавах (МЛ4, МЛ5, МЛ6) досягає 34 см^3 на 100 г металу.

Легування магнію церієм, лантаном, неодимом, літійом або ітрієм підсилює окислення. Різке зниження окислюваності досягається введенням в розплав 0,002–0,005 % берилію. При вищому вмісті берилію в сплавах другої групи спостерігається зростання зерна і зниження технологічних властивостей.

Для захисту від окислення при плавці застосовують флюси, що складаються з хлоридних і фторидних солей лужних і лужноземельних металів. Основою більшої частини флюсів є карналіт ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl}$). Хлорид барію вводять у флюс як обважнювач, сприяючий кращому відділенню флюсу від сплаву. Фторид кальцію підвищує в'язкість і збільшує рафінуючу здатність флюсу. Оксид магнію додають як загусник, що полегшує утворення кірки при перегріві.

На вітчизняних заводах широко застосовують флюси ВІ2 і ВІ3 (табл. 6.2). Вони мають хороші захисні та рафінуючі властивості при плавці більшості магнієвих сплавів. Флюс, що складається з хлориду і фториду літію, використовують при виплавці магнієво-літійових сплавів. При плавці сплавів з рідкісноземельними металами і ітрієм використовують флюси, що не містять хлориду магнію, оскільки в результаті обмінних реакцій:



та



мають місце значні втрати (до 20 %) рідкісноземельних елементів і ітрію.

Попадання флюсу в розплав (а згодом і у виливок) приводить до утворення вогнищ інтенсивної корозії із-за їх високої гігроскопічності. Тому в даний час розроблена технологія безфлюсового плавлення. Захист розплавів від інтенсивного окислення при цьому здійснюється введенням в пічну атмосферу 0,1 % гексафториду сірки (SF_6).

Магнієві сплави плавлять у тигельних, відбивних і індукційних печах промислової частоти, футерованих магнезитом. Широко використовують сталеві тиглі. Залежно від масштабу виробництва і маси виливків застосовують три способи виплавки магнієвих сплавів: у стаціонарних і виймальних тиглях, дуплекс-процес (відбивна піч і тигель або індукційна піч і тигель).

Таблиця 6.2 – Склад флюсів для виплавки магнієвих сплавів

| Флюс | Хімічний склад, % | | | | | | | |
|----------|---|-------|-------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|---|
| | MgCl ₂ | KCl | NaCl | CaCl ₂ | BaCl ₂ | CaF ₂ | AlF ₃ | інші компоненти |
| ВИ2 | 38–46 | 32–40 | – | 10 | 5–8 | 3–5 | – | до 1,5 MgO; до 3 H ₂ O |
| ВИ3 | 30–40 | 25–35 | – | до 7 | – | 15–20 | – | 7–10 MgO; до 3 H ₂ O |
| 1 | – | – | – | – | – | – | – | 20 LiF; 80 LiCl |
| 2 | – | – | 14–21 | 47–51 | 26–29 | 2–5 | – | до 2 H ₂ O |
| 3 | – | 22–26 | 17–20 | 35–39 | 19–23 | 2–5 | – | до 2 H ₂ O |
| 4 | – | 55 | – | 28 | 15 | 2 | – | – |
| ФЛ1 | – | – | – | – | – | 13 | 40 | 32 MgF ₂ ; 15 B ₂ O ₃ |
| ФЛ5 | 25–42 | 20–36 | – | – | 4–8 | 0,5–10 | 3–14 | 3–11 MgF ₂ ; 1,8 B ₂ O ₃ |
| ВИАМ1 | – | – | – | – | – | 3,5 | 23,5 | 40 B ₂ O ₃ ; 33 Na ₃ AlF ₆ |
| ВИАМ5 | – | – | – | – | – | 17,5 | 15,0 | 17,5 MgF ₂ ; 50 B ₂ O ₃ |
| Примітка | Покривно-рафінуючий флюс ВИ2 застосовується для плавлення у стаціонарних печах і тиглях; покривно-рафінуючий флюс ВИ3 – для плавлення у виймальних тиглях; флюс покривний №1 – для сплавів магнію з літєм; покривні флюси №2 і №3 – для сплавів магнію з РЗМ; покривний флюс №4 – для сплавів магнію з торієм і цирконієм; ФЛ1 і ФЛ5 – безхлоридні покривно-рафінуючі флюси; ВИАМ1 і ВИАМ5 – рафінуючі флюси. | | | | | | | |

Плавку в стаціонарних тиглях використовують в масовому або великосерійному виробництві дрібних виливок. Сталевий литий тигель нагрівають до 500 °С і завантажують в нього флюс ВИ2 до 10 % від маси шихти. Флюс розплавляють, а потім невеликими порціями завантажують підігріті до 150 °С шихтові матеріали. Після розплавлення шихти розплав нагрівають до 700–720 °С і проводять рафінування і модифікування. Після витримки розплаву протягом 10–15 хв. відбирають проби на злам, хімічний і спектральний аналізи, а потім невеликими ковшами метал розливають по формах. Залишок металу (25–30 % об'єму розплаву в тиглі), забруднений неметалевими включеннями і флюсом, зливають після кожної плавки і використовують для приготування підготовчих сплавів. Під час переплавлення сплав рафінують флюсом.

При виготовленні крупних виливок плавку проводять під шаром флюсу ВИ3 у виймальних зварних сталевих тиглях з перегородкою і дуплекс-процесом. Цей флюс має меншу щільність, ніж флюс ВИ2, тому спливає на поверхню розплаву і під час заливки форм утримується в тиглі перегородкою. Для заповнення форм використовують 2/3 об'єму розплаву. Залишок розплаву, забруднений флюсом і неметалевими включеннями, направляють на переплавку і рафінування. Після проведення всіх операцій рафінування і модифікування тигель виймають з печі і транспортують до місця заливання.

Інтенсивна взаємодія магнієвих розплавів з пічними газами, футерувкою і вологою супроводжується збагаченням їх оксидами (рис. 6.1) і воднем, тому їх завжди піддають рафінуванню.

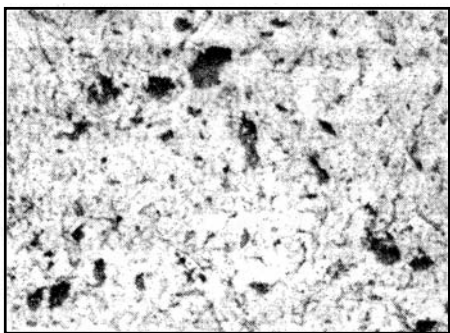


Рисунок 6.1 – Оксидні включення (чорні плями) у зламі виливок зі сплаву МЛ5

Найпростіший спосіб відділення неметалевих включень – відстоювання. Основі його є процес седиментації. Стосовно магнієвих сплавів відстоювання

зазвичай проводять при 750 °С. Зі збільшенням температури і часу витримки ефективність очищення зростає. Проте цей спосіб малопродуктивний, особливо у разі відділення дрібних включень. Ефективнішим способом очищення є обробка розплаву флюсами. Основою цього способу є процес адсорбції включень рідкими солями. Ефективність очищення визначається величиною поверхні контакту металу з флюсом і зростає у міру погіршення змочуваності включень металом в середовищі флюсу і зменшення міжфазного натягу на межі метал–флюс.

При плавці в стаціонарному тиглі для рафінування використовують флюс ВИ2, при плавці у виймальному тиглі – легший флюс ВИ3. Перед рафінуванням розплав нагрівають до 700 °С, видаляють покривний флюс і вводять в сплав 0,001–0,002 % берилію або 0,5 % кальцію для захисту від загоряння. Рафінування здійснюють засипкою на поверхню розплаву порції флюсу (близько 1 % маси розплаву), розплавленням і замішуванням його в розплав на 2/3 висоти тигля протягом 5–6 хв. Після цього видаляють використаний флюс і наносять свіжий. Хлорид магнію, що входить до складу флюсу, змочує неметалеві включення, збільшує їх розміри і сприяє їх осадженню або спливанню.

Повніше видалення оксидних плівок може бути досягнуте пропусканням розплаву через рідкі флюси (табл. 6.2).

Найбільш високого рівня очищення від неметалевих включень досягають фільтруванням магнієвих розплавів через зернисті фільтри з магнезиту. Досвід тривалого використання магнезитових фільтрів показав, що фільтрування дозволяє майже повністю ліквідувати брак виливок по оксидних плівках і флюсових включеннях. Ефективність очищення зростає у міру зменшення розміру зерен фільтру і збільшення товщини шару, що фільтрує. Технологію фільтрування і розташування фільтрів при литті магнієвих сплавів приймають такими ж, як і при литті алюмінієвих сплавів.

Якість рафінування оцінюють відношенням площі зламу технологічної проби F_m , зайнятої неметалевими (темними) включеннями, до загальної площі зламу $F_{зл}$, тобто коефіцієнтом ураженості зламу K_n :

$$K_n = F_m / F_{зл}. \quad (6.3)$$

Експериментальна частина

Прилади і матеріали: шахтна піч опору СШОЛ–11,6 12–М3; сталеві зварні тиглі ємністю 1 дм³, хромель-алюмелева термопара; гальванометр; технічні ваги з важками; набір плавильно-заливального інструменту; виливниця для відливання проб на злам; набір шихтових матеріалів; набір флюсів; порошок сірки; сухий кварцовий пісок; роздроблений магнезит; спецодяг; захисні окуляри; рукавиці.

Порядок проведення роботи

Розрахувати шихту для приготування 1 кг одного з магнієвих сплавів, приведених в табл. 6.1. Марка сплаву, види і кількість використовуваних в шихті відходів задається викладачем. Підготувати шихтові матеріали згідно з розрахунком.

Зважити флюс ВІ2 з розрахунку 10 % від маси шихти і флюс ВІ3 (або інший, вказаний викладачем) з розрахунку 3 % від маси шихти. Підготувати фільтр заданої зернистості з магнезиту.

Сталеві тиглі для плавки і фільтрування прожарити при температурі 700 °С. Роздроблений магнезит нагріти до температури 600 °С.

У нагрітій тигель насипати половину наважки флюсу ВІ2 і завантажити в нього шихту (окрім цинку), злегка присипавши її флюсом. Розплавити матеріали, що знаходяться в тиглі, при температурі 680 °С завантажити цинк і залишок флюсу.

Нагріти розплав до температури 720 °С. При нагріванні спостерігати за станом металу, присипаючи окремі вогнища займання флюсом.

Підготувати і нагріти виливницю до температури 150 °С.

При температурі розплаву 720 °С носок тигля очистити від флюсу. Пробити кірку флюсу на поверхні розплаву і обережно без струсів нахилити тигель якомога ближче до виливниці і повільним, спокійним струменем залити метал в підігріту виливницю. Під час заливання струміль металу слід припорошувати порошком сірки.

Встановити ступінь ураженості зламу проби неметалевими включеннями.

Розплав, що залишився в тиглі, нагріти до 720 °С.

У нагрітій сталевій тигель для рафінування на висоту 50–60 мм засипати нагрітій до температури 600 °С подрібнений магнезит. Встановити тигель з фільтром в нагрітій сталевій прожареній тигель.

Профільтрувати порцію розплаву. Для цього пробити кірку флюсу на поверхні розплаву і без струсів нахилити тигель якомога ближче до тигля з фільтром і відлити порцію металу, достатню для заливання проби на злам.

З профільтрованого розплаву відлити пробу на злам в нагріту виливницю.

Залишок непрофільтрованого розплаву помістити в піч і нагріти до температури 720 °С. Вимкнути піч, зняти використаний флюс і здійснити рафінування флюсом. Склад флюсу вибрати в табл. 6.2 за вказівкою викладача. Флюс замішати в метал протягом 5–6 хв. на глибину 2/3 висоти розплаву в тиглі. При перемішуванні періодично підсипати свіжий флюс. Рафінування вважається закінченим, коли поверхня розплаву набуває дзеркальний (блискучий) вигляд.

Нагріти розплав до температури 760 °С і витримати при цій температурі протягом 8–10 хв., зняти шлак, посипати поверхню свіжим флюсом і при температурі 720 °С залити пробу на злам.

Оцінити ефективність рафінування при зіставленні зламів проб, визначити коефіцієнт ураженості зламу K_n . Рафінування вважається успішним, коли проба має чистий дрібний злам, без неметалевих включень (чорних плям).

Повторити дослід, змінюючи розмір зерна і висоту шару фільтру.

Занести результати визначення коефіцієнта ураженості зламу K_n в табл. 6.3. Побудувати графічні залежності коефіцієнта ураженості зламу K_n від розміру зерна і висоти шару фільтру.

Таблиця 6.3 – Експериментальні дані по рафінуванню магнієвих сплавів

| Умови рафінування | | | | Результати рафінування | | |
|-------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Флюс | Кількість флюсу, % | Розмір зерна фільтру, мм | Висота фільтру, мм | Площа зламу, см ² | Площа чорних плям, см ² | Коефіцієнт ураженості зламу |
| немає | – | – | – | | | |
| ВИЗ | 3 | – | – | | | |
| – | – | 10 | 50 | | | |
| – | – | 10 | 100 | | | |
| – | – | 6 | 50 | | | |
| – | – | 6 | 100 | | | |

Вказівки з охорони праці

При плавленні магнієвих сплавів неприпустимий контакт металу, флюсів, плавильного інструменту і іншого устаткування з вологою, оскільки це може спричинити займання металу, викиди з печі або міксера і погіршення якості виливок. Застосування вологого флюсу не допускається.

Магній і його сплави залежно від складу спалахують на відкритому повітрі при 400–500 °С і горять сліпуче білим полум'ям, виділяючи велику кількість тепла і диму. Наприклад, сплав МЛ5 спалахує при 400–430 °С, а сухий пил магнію і його сплавів спалахує з вибухом при 400–480 °С, вологий пил – при 360–380 °С. Гасити водою або пінним вогнегасником магнієві сплави, що спалахнули, не можна, оскільки може відбутися вибух.

Універсальним засобом для гасіння магнію, що горить, і його сплавів є сухий мелений флюс, який застосовують під час виплавки магнієвих сплавів. На випадок спалаху металу в тиглі або формі слід підготувати запас сухого мelenого флюсу і піску.

Вимоги до звіту по роботі

Звіт по роботі повинний містити:

- мету роботи, стислі відомості про класифікацію, технологію плавлення і рафінування магнієвих сплавів;
- схеми лабораторних установок, використаних у роботі;
- вихідні дані (склад шихти, розрахунок шихти на 1 кг сплаву заданого складу, умови проведення плавки і рафінування заданого сплаву);
- заходи щодо техніки безпеки під час плавки магнієвих сплавів;
- методикку і результати дослідження якості металу;
- графічну залежність коефіцієнта ураженості зламу від розміру зерна і висоти шару фільтру;
- відповідні висновки.

Контрольні запитання

1. Де застосовують і як класифікують магнієві сплави?
2. На які групи поділяють деформівні магнієві сплави?
3. Які групи магнієвих сплавів застосовують для виготовлення фасонних виливок?
4. Як взаємодіють магній і його сплави з газами пічної атмосфери?

5. Які флюси використовують для захисту магнієвих розплавів від окислення і загоряння?
6. Чому для виплавки магнієвих сплавів з рідкісноземельними елементами використовують флюси, що не містять хлорид магнію?
7. Як забезпечується захист від окислення під час безфлюсової виплавки магнієвих сплавів?
8. У якому вигляді і в якій послідовності здійснюють завантаження шихтових матеріалів при виплавці магнієвих сплавів?
9. Якими способами здійснюють рафінування магнієвих розплавів від неметалевих включень?
10. Який з методів очищення магнієвих розплавів найбільш ефективний?
11. Які флюси використовують для рафінування магнієвих сплавів? У чому їх відмінність від покривних флюсів?
12. Які матеріали використовують для виготовлення зернистих фільтрів?
13. Назвіть кращий режим рафінування магнієвих розплавів флюсами.
14. Які параметри зернистих фільтрів забезпечують кращі умови очищення магнієвих сплавів від оксидних плівок і шлакових включень?
15. У чому суть очищення магнієвих розплавів зернистими фільтрами?
16. Які методи контролю використовують для оцінки вмісту неметалевих включень в магнієвих сплавах?
17. Які методи використовують для дегазації магнієвих розплавів?
18. При яких температурах здійснюють продування магнієвих розплавів азотом, гелієм, хлором або сумішшю гелію з хлоридами?

Лабораторна робота № 7

ПЛАВЛЕННЯ І РАФІНУВАННЯ МІДНИХ СПЛАВІВ

Мета роботи:

- вивчення технології виплавки мідних сплавів;
- дослідження ефективності різних способів рафінування мідних сплавів від неметалевих включень.

Теоретична частина

Мідні сплави поділяють на бронзу і латунь.

Виготовляють бронзу олов'яну (сплави міді з оловом) і безолов'яну (сплави міді з алюмінієм, залізом, манганом, нікелем та ін.).

Латунь – сплави на основі міді з цинком (вміст цинку не перевищує 50 %), в яких можуть міститися також і інші елементи (силіцій, алюміній, залізо, манган, свинець).

Латунь за хімічним складом поділяється на подвійну (просту), що складається з міді і цинку, і спеціальну, що містить легуючі компоненти: залізо, манган, нікель, силіцій, олово і свинець.

Основна перевага мідних сплавів полягає в тому, що вони мають високу корозійну стійкість, тепло- і електропровідність, хороший опір зносу, низький коефіцієнт тертя, хорошу притираємість в парі з іншими твердішими металами, добре працюють при негативних температурах до $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Недолік мідних сплавів – висока щільність і низькі властивості при підвищених температурах.

Олов'яні і безолов'яні бронзи, латуні (табл. 7.1) мають високі механічні і антифрикційні властивості, добре протистоять корозії в морській воді, парі і інших середовищах, зберігають високу пластичність при низьких температурах. Мідні сплави немагнітні, легко поліруються і обробляються різанням.

Плавку мідних сплавів проводять в тигельних і шахтних індукційних і відбивних печах, футерованих шамотом або кварцом. При плавці на повітрі мідні сплави окислюються і насичуються воднем. Окислюються в першу чергу компоненти, що мають вищий, ніж мідь, ізобарний потенціал утворення оксиду. З цієї причини легуючі елементи мідних сплавів (алюміній, берилій, олово, цинк і ін.) розкислюють мідь, утворюючи тверді, рідкі і газоподібні оксиди. Тверді оксиди повільно спливають в розплавах і можуть потрапити у вилівок.

За винятком латуней, розчиненню водню в яких перешкоджає високий

Таблиця 7.1 – Хімічний склад мідних ливарних сплавів

| Марка | Основні компоненти, % (мідь – решта) | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|-----------|----------|---------|-----------|------------|
| | Sn | Pb | Al | Mn | Zn | інші |
| Бронзи олов'яні (ГОСТ 613–79) | | | | | | |
| БрО10Ф1 | 9,0–11,0 | – | – | – | – | 0,4–1,1 P |
| БрО10Ц2 | 9,0–11,0 | – | – | – | 1,0–3,0 | – |
| БрО5Ц5С5 | 4,0–6,0 | 4,0–6,0 | – | – | 4,0–6,0 | – |
| БрО3Ц12С5 | 2,0–3,5 | 3,0–6,0 | – | – | 8,0–15,0 | – |
| Бронзи безолов'яні (ГОСТ 493–79) | | | | | | |
| БрА9Мц2Л | – | – | 8,0–9,5 | 1,5–2,5 | – | – |
| БрА9Ж3Л | – | – | 8,0–10,5 | – | – | 2,0–4,0 Fe |
| БрА10Ж3Мц2 | – | – | 9,0–11,0 | 1,0–3,0 | – | 2,0–4,0 Fe |
| БрС30 | – | 27,0–31,0 | – | – | – | – |
| Латуні (ГОСТ 17711–80) | | | | | | |
| ЛЦ40С | – | 0,8–2,0 | – | – | 57,0–61,0 | – |
| ЛЦ40Мц1,5 | – | – | – | 1,0–2,0 | 57,0–60,0 | – |
| ЛЦ30А3 | – | – | 2,0–3,0 | – | 66,0–68,0 | – |
| ЛЦ16К4 | – | – | – | – | 78,0–81,0 | 3,0–4,5 Si |

тиск пари цинку, мідні сплави інтенсивно поглинають водень і при кристалізації схильні до утворення газової пористості. Більшою мірою до цього схильні сплави з широким інтервалом кристалізації. Залежно від складу бронз і умов їх плавки вміст водню в 100 г металу може складати від 1,5 до 20 см³. З підвищенням температури інтенсивність взаємодії з газами збільшується. До взаємодії з газами найбільш схильні алюмінієві і силіцієві бронзи та латуні.

Для захисту від окислення плавку мідних сплавів проводять під покривом деревного вугілля або флюсів на основі фторидів, скла або соди (2–3 % від маси розплаву). Для запобігання утворення твердих нерозчинних оксидів, мідь перед додаванням легуючих елементів розкислюють 0,1–0,15 % фосфору. Після розкислювання в розплав послідовно вводять легуючі компоненти (силіцій, алюміній, манган, олово, свинець, цинк і ін.) в чистому вигляді або у вигляді лігатур.

Щоб уникнути сильного окислення і насичення воднем не рекомендується сильно перегрівати розплави. Особливо це стосується алюмінієвих бронз і кременистих латуней, оскільки оксиди алюмінію Al_2O_3 і силіцію SiO_2 , що утворюються, важко видаляються з розплавів і, потрапляючи у виливки, знижують їх властивості. Перегрівання алюмінієвих бронз може бути обумовленим виділенням теплоти змішування при додаванні алюмінію в розплав. Щоб уникнути цього рекомендується вводити алюміній невеликими порціями одночасно з міддю.

Для очищення розплавів від розчиненого водню і твердих неметалевих включень їх піддають продуванню газами, вакуумуванню, обробці флюсами або фільтруванню. Найбільш глибоке очищення розплавів від неметалевих включень дає фільтрування через зернисті фільтри з фторидів кальцію і магнію. Фільтри перед використанням підігрівають до $800\text{ }^\circ\text{C}$.

Мідні сплави модифікують з метою подрібнення зерна і нейтралізації шкідливих домішок. Для подрібнення зерна в сплави вводять тугоплавкі елементи (титан, ванадій, цирконій, бор, вольфрам, молібден) у кількості $0,15\text{--}0,2\%$. Для нейтралізації шкідливого впливу домішок вісмуту, сурми, миш'яку і свинцю в подвійну латунь вводять присадки кальцію (до $0,2\%$), церію (до $0,3\%$) або цирконію ($0,4\%$).

Рафінування мідних розплавів здійснюють для зниження вмісту газів і видалення зважених неметалевих включень. Дегазацію мідних розплавів здійснюють продуванням інертними газами (аргон, азот), обробкою хлоридами і флюсами, вакуумуванням. Ці ж способи, разом з фільтруванням, застосовують і для очищення розплавів від зважених неметалевих включень. Оскільки більша частина рафінуючих засобів в тій чи іншій мірі гігроскопічна, необхідною умовою їх застосування є попередня сушка або переплавлення.

Рафінування інертними газами проводять при температурі розплаву $1150\text{--}1200\text{ }^\circ\text{C}$, витрата газу $0,25\text{--}0,5\text{ м}^3$ на 1 т розплаву, тривалість продування при тиску газу $19,6\text{--}29,4\text{ кПа}$ складає $5\text{--}10$ хв.

Хлорид марганцю вводять в кількості $0,1\text{--}0,2\%$ від маси розплаву при $1150\text{--}1200\text{ }^\circ\text{C}$ за допомогою "дзвоника". Для видалення бульбашок рафінуючого газу розплав перед розливанням витримують протягом $10\text{--}15$ хв.

Вакуумування застосовують в тих випадках, коли сплав не містить компонентів з високим тиском пари. Стосовно мідних сплавів цей процес здійснюють при $1150\text{--}1300\text{ }^\circ\text{C}$ і залишковому тиску $0,6\text{--}1,3\text{ кПа}$. Тривалість

вакуумування визначається масою розплаву, що піддається обробці, і висотою стовпа рідкого металу. В більшості випадків тривалість вакуумування не перевищує 25 хв.

Обробку розплавів флюсами (табл. 7.2) застосовують в основному для очищення від зважених неметалевих включень. Найбільш високі рафінуючі властивості мають фторидні флюси, зокрема суміш фторидів кальцію і магнію. Перед рафінуванням розплав нагрівають до 1250 °С, знімають шлак і на дзеркало металу насипають порошок переплавленого флюсу в кількості 1,5–2 % від маси розплаву. Протягом 8–15 хв. флюс замішують в розплав. Перед заливанням для повнішого відділення крапель флюсу розплав витримують при температурі заливання протягом 10–15 хв.

Таблиця 7.2 – Склади рафінуючих флюсів для бронзи

| Тип бронзи | Хімічний склад флюсу, % |
|-------------------|--|
| Олов'яні бронзи | 7 Na ₂ B ₄ O ₇ ; 60 Na ₂ CO ₃ ; 33 CaF ₂ |
| Алюмінієві бронзи | 20 CaF ₂ ; 60 NaF; 20 Na ₃ AlF ₆ |
| Алюмінієві бронзи | 60 NaCl; 40 Na ₃ AlF ₆ |
| Алюмінієві бронзи | 10 Na ₂ CO ₃ ; 20 CaF ₂ ; 30 NaF; 20 Na ₃ AlF ₆ ; 20 Na ₂ SO ₄ |
| Алюмінієві бронзи | 6 Na ₂ B ₄ O ₇ ; 70 Na ₂ CO ₃ ; 12 Na ₃ AlF ₆ ; 12 K ₂ CO ₃ |

Оптимальним способом очищення мідних сплавів, що містять елементи, які легко окислюються (алюміній, титан, цирконій, берилій), від неметалевих включень є фільтрування. Для цієї мети використовують зернисті фільтри з магнезиту, алунду, сплаву фторидів кальцію і магнію. Товщину фільтру вибирають від 60 до 150 мм, розмір зерна в поперечнику складає 5–10 мм. Перед фільтруванням зернисті фільтри нагрівають до 800 °С. Фільтрування дозволяє понизити вміст неметалевих включень в 2–3 рази, що приводить до укрупнення зерна, підвищення пластичних і втомних характеристик і зниження вмісту газів.

Вміст неметалевих включень визначають методами хімічного аналізу і відбором технологічних проб. Враховуючи складність і трудомісткість хімічного методу кількісного визначення неметалевих включень для поточного контролю в цехових умовах його не застосовують. Наявність крупних включень і плівок визначають за допомогою технологічних проб Добаткіна–Зінов'єва

(рис. 5.2). По кількості і площі неметалевих включень у зламі роблять висновок про чистоту розплаву. Характерні злами проб приведено на рис. 7.1.

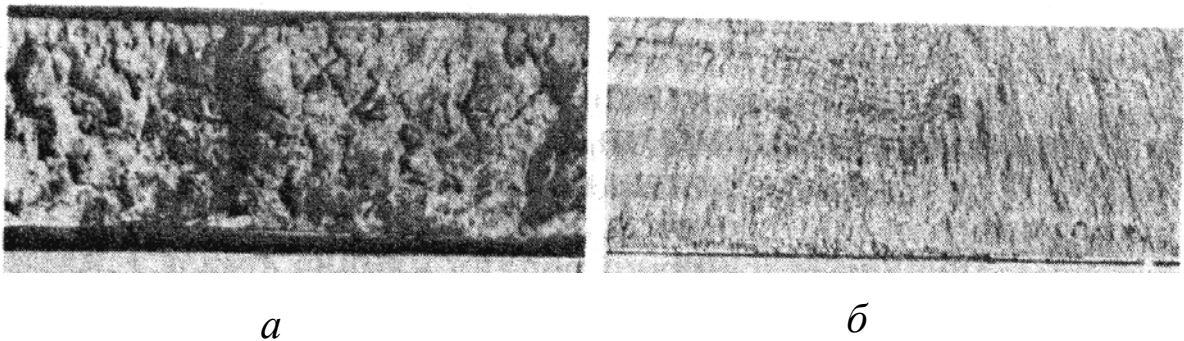


Рисунок 7.1 – Плівки у зламах технологічних проб сплаву БрА9Мц2Л до (а) і після (б) фільтрування

Експериментальна частина

Прилади і матеріали: силітова, високочастотна електропіч; механічна пила для розрізання виливок; прес для осідання технологічних проб; переносний гальванометр з термопарою; металева виливниця для отримання злитків діаметром 30–40 мм і завдовжки 100 мм, графіто-шамотний тигель ємністю 5 кг; набір інструментів для плавлення і заливання; набір інструментів і матеріалів для виготовлення макро- і мікрошліфів; шихтові матеріали; виливниця для відливання структурної проби; рафінуючі засоби (азот, хлорид мангану, зерна сплаву фторидів кальцію і магнію); розчини для травлення мікро- і макрошліфів; фотореактиви; фотопластини і фотопапір; спецодяг; захисні окуляри; рукавиці.

Порядок проведення роботи

Розрахувати шихту для отримання сплаву заданого складу – алюмінієві бронзи або спеціальні латуні (ЛЦ30А3, ЛЦ16К4).

Розплавити мідь, нагріти її до 1200 °С. Ввести в розплав решту компонентів шихти, дотримуючи певну послідовність (у алюмінієві бронзи алюміній вводять в останню чергу).

Перегріти розплав до 1250 °С. Витримати при цій температурі протягом 5–10 хв., зняти шлак і відлити злиток діаметром 20 мм і завдовжки 80–100 мм у металевій формі і структурну пробу в графітовій формі.

Половину розплаву, що залишився, відлити в нагрітій тигель. Помістити обидва тиглі в піч. Нагріти обидві порції до температури 1250 °С і відрафінувати їх різними способами за вказівкою викладача.

Відлити злитки з рафінованих розплавів в таких же температурних умовах, в яких розливався розплав до рафінування.

Зі злитків вирізати зразки на осадку діаметром 20 мм і завдовжки 80 мм і темплети для виготовлення макрошліфів. Виготовити макротемплети.

Нагріти зразки до 800 °С і осадити на пресі до висоти 20 мм (чотирикратна осадка).

Надрізати осаджені зразки по схемі, приведеній на рис. 5.2, і зламати їх. Визначити ураженість зламів неметалевими включеннями.

Протравити макрошліфи і структурні проби в 10–20 %-ному розчині персульфату амонію. Вивчити структуру темплетів і проб. Визначити середній розмір зерна.

Оцінити ефективність різних способів рафінування порівнянням зламів, макрошліфів і структурних проб сплаву в вихідному і рафінованому станах.

Результати визначення коефіцієнтів ураженості зламів технологічних проб оксидними плівками, середнього розміру зерна структурних проб і темплетів представити у вигляді табл. 7.3.

Таблиця 7.3 – Експериментальні дані по рафінуванню мідних сплавів

| Сплав | Спосіб рафінування | Коефіцієнт ураженості зламу плівками | Середній розмір зерна, мм | | Характеристика мікроструктури |
|-------|--|--------------------------------------|---------------------------|----------|-------------------------------|
| | | | технологічної проби | темплета | |
| | Без рафінування Обробка солями (MnCl ₂) Продування азотом Фільтрування через фільтр з магнезиту | | | | |

Провести статистичну обробку результатів визначення середнього розміру макрозерна темплета і проби. Знайти довірчий інтервал при вірогідності 0,95.

Вимоги до звіту по роботі

Звіт по роботі повинний містити:

- мету роботи, стислі відомості про класифікацію, технологію виплавлення і рафінування мідних сплавів;
- схеми установок, використаних в роботі;
- вихідні дані (склад шихти, розрахунок шихти для виплавки 1 кг мідного сплаву заданого складу, умови проведення плавки і рафінування заданого сплаву);
- опис макроструктури злитків і структурних проб;
- опис зламів технологічних проб і їх фотознімки;
- опис мікроструктури сплавів;
- висновки про ефективність способів рафінування.

Контрольні запитання

1. Як класифікують мідні сплави?
2. Які властивості характерні для мідних сплавів?
3. Як класифікують бронзи? Де застосовують безолов'яну бронзу?
4. Які сплави називають латунню? Як класифікують латуні?
5. У яких печах виплавляють мідні сплави?
6. Який флюс використовують при виплавленні мідних сплавів?
7. Якими способами можна здійснювати дегазацію мідних розплавів?
8. У чому суть механізму дегазації продуванням розплаву інертними або активними газами?
9. Скільки рафінуючого газу витрачається на 1 т мідного розплаву?
10. У яких випадках можна здійснювати дегазацію мідних сплавів вакуумуванням?
11. При яких залишкових тисках здійснюють дегазацію вакуумуванням?
12. У чому суть механізму дегазації вакуумуванням?
13. Який зі способів дегазації найбільш ефективний?
14. Якими способами рафінують мідні розплави від неметалевих включень?
15. Назвіть найбільш ефективний спосіб очищення мідних розплавів від неметалевих включень.

ПЕРЕЛІК 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. Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини / Т.М. Нестеренко, О.М. Нестеренко, Г.О. Колобов, В.П. Грицай. – К.: Вища шк., 2007. – 207 с.
3. Магниеые сплавы: Технология производства и свойства отливок и деформируемых полуфабрикатов/ Под ред. И.И. Гурьева, Чухрова М.В. – М.: Металлургия, 1978. – 296 с.
4. Смирягин А.П., Смирягина Н.А., Белова А.В. Промышленные цветные металлы и сплавы: Справочник. – М.: Металлургия, 1974. – 488 с.
5. Тарасов А.В. Производство цветных металлов и сплавов: Справочник. Т.1. Общие вопросы металлургии. – М.: Металлургия, 2001. – 344 с.
6. Тарасов А.В. Производство цветных металлов и сплавов: Справочник. Т.2. Кн.1. Производство тяжелых цветных металлов. – М.: Металлургия, 2001. – 408 с.
7. Тарасов А.В. Производство цветных металлов и сплавов: Справочник. Т.2. Кн.2. Производство легких, редких цветных и драгоценных металлов. – М.: ИКЦ "Академкнига", 2007. – 316 с.
8. Тарасов А.В. Производство цветных металлов и сплавов: Справочник. Т.3. Вторичная металлургия тяжелых цветных металлов – М.: ИКЦ "Академкнига", 2008. – 448 с.
9. Цветное литье: Справочник Под ред. Н.М. Галдина. – М.: Машиностроение, 1989. – 528 с.
10. Цыганов А.С. Производство вторичных цветных металлов и сплавов. М.: Металлургиздат, 1961. – 302 с.

Підписано до друку 28.05.2010 р. Формат 60x84 1/32.
Папір офсетний.
Умовн. друк. арк. 4,2. Наклад 50 прим.
Замовлення №

Віддруковано друкарнею
Запорізької державної інженерної академії
з комп'ютерного оригінал-макету

69006, м. Запоріжжя, пр. Леніна, 226
РВВ ЗДІА, тел. 223 8 240