

621.74
Н 561

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія



Т. М. Нестеренко
В. М. Очинський
Г. В. Карпенко

ТЕХНОЛОГІЯ І УСТАТКУВАННЯ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

Методичні вказівки до лабораторних занять

*для студентів ЗДІА
спеціальності 8.05040102 “Металургія кольорових металів”
денної та заочної форм навчання*

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

**ТЕХНОЛОГІЯ І УСТАТКУВАННЯ ЛИВАРНОГО
ВИРОБНИЦТВА КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ**

Методичні вказівки до лабораторних занять

*для студентів ЗДІА
спеціальності 8.05040102 “Металургія кольорових металів”
денної та заочної форм навчання*

*Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри МКМ,
протокол № 15 від 18.05.2015р.*

Запоріжжя
ЗДІА
2015

ББК 621.74

Н 561

Т. М. Нестеренко, к.т.н., доцент

В. М. Очинський, ст. викладач

Г. В. Карпенко, асистент

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

Нестеренко Т. М.

Н 561 Технологія і устаткування ливарного виробництва кольорових металів: Методичні вказівки до лабораторних занять для студентів ЗДІА спеціальності 8.05040102 “Металургія кольорових металів” денної та заочної форм навчання / Нестеренко Т. М., Очинський В. М., Карпенко Г.В.; Запоріж. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2015. – 48 с.

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності “Металургія кольорових металів”, які виконують лабораторні роботи з дисципліни “Технологія і устаткування ливарного виробництва кольорових металів”. Вказівки містять теоретичні відомості, методики досліджень і опис установок, що використовуються для вивчення технологій формування та виготовлення вливок у разовій і багаторазовій ливарних формах, визначення характеристик вихідних формувальних матеріалів і ливарних властивостей сплавів кольорових металів, контрольні запитання, перелік рекомендованої літератури, додаток.

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1. Рідкоплинність сплавів кольорових металів.....	4
Лабораторна робота № 2. Лінійна усадка сплавів кольорових металів.....	11
Лабораторна робота № 3. Об'ємна усадка сплавів кольорових металів.....	19
Лабораторна робота № 4. Визначення марки формувального піску.....	27
Лабораторна робота № 5. Технологія виготовлення виливка в разовій формі.....	35
Лабораторна робота № 6. Лиття алюмінієвих сплавів в кокіль.....	42
Перелік рекомендованої літератури.....	47
Додаток.....	48

Лабораторна робота № 1

РІДКОПЛИННІСТЬ СПЛАВІВ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

Мета роботи:

- вивчення рідкоплинності ливарних 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 кольорових металів мають більш цінний комплекс механічних, фізичних і технологічних властивостей. У розплаві всі компоненти (метали) сплаву знаходяться в атомарному стані, утворюючи рідкий однорідний розчин з однаковою хімічним складом. Під час твердіння (кристалізації) атоми компонентів розташовуються у певному порядку, утворюючи кристалічну речовину – сплав.

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

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

Хімічні властивості – окислюваність, розчинність, корозійна стійкість.

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

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

Особливо слід виділити ливарні властивості сплавів, які безпосередньо впливають на якість вилівка. Найважливішими ливарними властивостями сплавів є рідкоплинність, усадка, ліквация, схильність до утворення напруги і тріщин, поглинання газів і утворення газової пористості.

Якість виливків, 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 вилівок 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 виливом 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 виливом 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 і будова сплаву в рідкому стані: природа сплаву, в'язкість, поверхневий натяг, теплопровідність, теплоємність, теплота і інтервал кристалізації, схильність до поверхневого окислення та ін. Другу групу чинників складають властивості ливарної форми: теплоакумулююча здатність, газопроникність, шорсткість поверхні та ін. До третьої групи відносяться умови залиття: металостатичний натиск,

надмірний зовнішній тиск на розплав, перегрівання розплаву, температура ливарної форми, конструкція ливникової системи 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*.

З аналізу умов заповнення форми розплавом отримано наступну залежність:

$$R = \frac{V_{\text{сеп}} \cdot \rho \cdot [C \cdot (T_p - T_0) + Q]}{\alpha \cdot P \cdot (T_c - T_\phi)}, \quad (1.1)$$

де R – рідкоплинність металу (сплаву), мм;

$v_{\text{сеп}}$ – середня швидкість заповнення форми рідким металом, м³/с;

ρ – густина рідкого металу, кг/м³;

C – питома теплоємність рідкого металу, Дж/(кг·К);

T_p – температура перегрівання рідкого металу за температуру ліквідусу, К;

T_0 – температура, при якій рідкий метал втрачає рухливість, К;

Q – питома теплота кристалізації, що виділяється з одиниці об'єму металу під час охолодження до температури T_0 , Дж/кг;

α – середній коефіцієнт тепловіддачі від поверхні рідкого металу, Вт/(м²·К);

P – периметр перерізу, м;

T_c – середня температура рідкого металу протягом заливання, К;

T_ϕ – середня температура ливарної форми, К.

Якщо сплав рідкоплинний, то він заповнює всю порожнину ливарної форми найбільш складної конфігурації, в іншому випадку в щілинних перерізах вилівка утворюється дефект "недолив". Якщо при низькій рідкоплинності у формі виникають потоки, що рухаються назустріч, то вони можуть не злитися і тоді утворюється дефект "незлитина".

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 температурі заливання. В цьому випадку перегрівання над температурою ліквідусу для різних сплавів однієї групи неоднакове.

За показником рідкоплинності ливарні сплави кольорових металів поділя-

ють на три групи: а) з високою рідкоплинністю (понад 700 мм) – силуміни, крем'яниста латунь, олов'яна бронза; б) з середньою рідкоплинністю (350...700 мм) – алюмінієво–мідні та алюмінієво–магнієві сплави; в) з низькою рідкоплинністю (менше 350 мм) – титанові та магнієві сплави, спеціальні бронзи та латуні.

Для оцінювання 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.

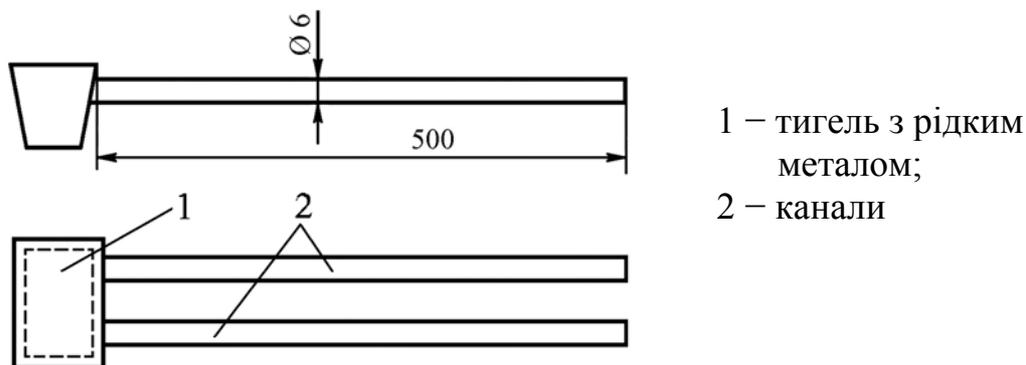
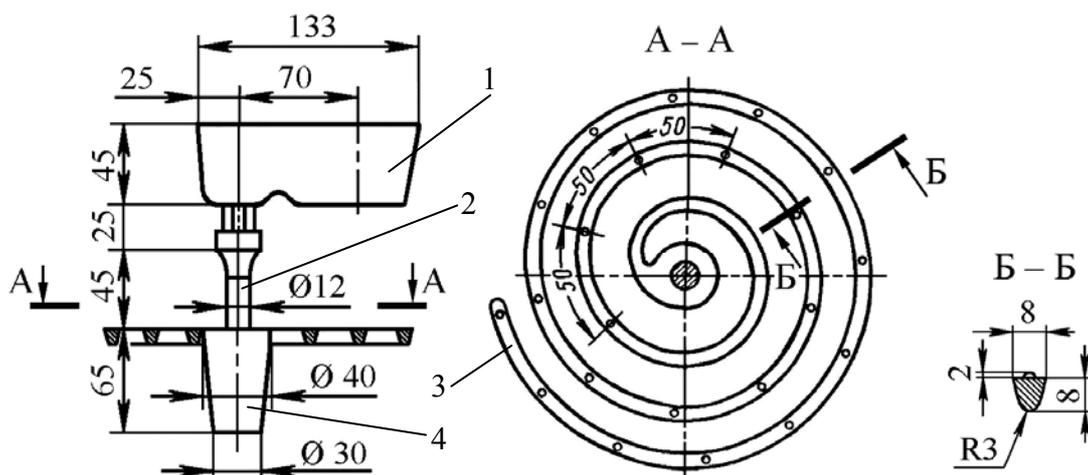


Рисунок 1.1 – Пруткова проба на рідкоплинність з прямими каналами (проба Руффа)

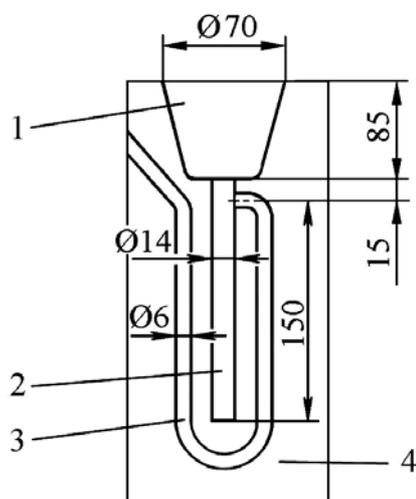
Найширше застосовують спіральні проби (рис. 1.2). Спіральний канал має трапецієвидний перетин. Для заливання форму встановлюють точно горизонтально за рівнем. У нижній півформі розташовують спіральні канали проби і металоприймач, у верхній – ливникову чашу і стояк. Для забезпечення однакового металостатичного 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. Якщо заливати метал при різних температурах, то по заповненій довжині спіралі можна знайти для кожного сплаву оптимальну температуру заливання форми.



1 – ливникова чаша; 2 – стояк; 3 – канал; 4 – металопріймач

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

U-подібну пробу отримують у металевій формі з вертикальним рознімом (рис. 1.3). Мірою рідкоплинності є довжина прутка, отриманого у вертикальному каліброваному каналі діаметром 6 мм. Проба дозволяє також оцінювати усадку сплаву та його схильність до утворення тріщин.



1 – ливарна чаша;
2 – стояк;
3 – канал;
4 – кокіль

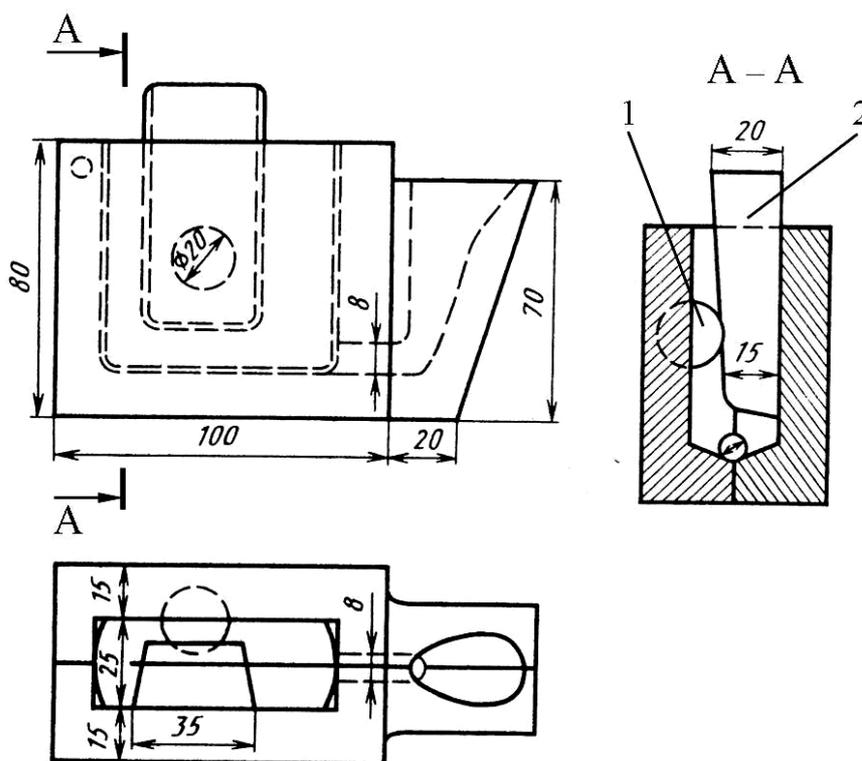
Рисунок 1.3 – Схема розніму кокілю для отримання U-подібної проби на рідкоплинність

Для оцінювання здатності сплаву заповнювати дуже тонкий рельєф використовують клинову або кулькову проби. 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.

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.

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



1 – кулька; 2 – клинова вставка

Рисунок 1.4 – Металева форма для отримання кулькової проби на 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 термопара; графітошамотні тиглі; плавильний інструмент і пристосування для розливання металу; формувальний інструмент; штангенциркуль; лінійка; спец-

одяг; 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 та замірити довжину спіралей (по виступах) з точністю до 10 мм.

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

Таблиця 1.1 – Експериментальні дані з визначення рідкоплинності сплаву

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

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 рідкоплинності 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 металевий сплав? Перелічить важливіші ливарні властивості металевих сплавів.
2. Що таке рідкоплинність сплаву?
3. Які види рідкоплинності розрізняють?
4. Які властивості сплаву впливають на заповнення форм?
5. Яку особливість вносить процес кристалізації сплаву в заповнення ливарних форм?
6. Перелічить властивості ливарної форми, які впливають на заповнення її розплавом.
7. На які групи поділяють ливарні сплави кольорових металів за показником рідкоплинності?
8. Які проби застосовують для оцінювання рідкоплинності сплавів?
9. Який зв'язок між рідкоплинністю сплаву та його розташуванням на діаграмі стану? Яка природа цього зв'язку?
10. Як збільшити рідкоплинність розплаву?

Лабораторна робота № 2

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.

Під час кристалізації внаслідок об'ємної усадки не вистачає металу для заповнення всієї порожнини форми. Проте, оскільки кристалізація поширюється з периферії стінки вилівка до її центра, не вистачатиме металу там, де він кристалізується останнім, тобто в центрі масивних перерізів стінки вилівка. В цьому перерізі утворюється концентрована усадкова раковина у вигляді порожнини. Розміри раковини залежать від об'ємної усадки сплаву та температури заливання ливарної форми.

Об'ємною усадкою виливка називають різницю між об'ємом порожнини ливарної форми V_ϕ і об'ємом виливка $V_{вил}$ після повного його охолодження, яку виражають не в абсолютних значеннях, а у відносних:

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

де ε_V – об'ємна усадка виливка, %.

Лінійна усадка металу виливка відбувається в твердому стані при охолодженні до нормальної температури, коли зменшуються лінійні розміри виливка. Виступи ливарної форми та стрижні затримують лінійну усадку, внаслідок чого у виливку виникають внутрішні напруження, які можуть призвести до жолоблення виливка або навіть до утворення тріщин. Якщо форма і особливо стрижнева суміші мають достатню піддатливість, то ці напруження значно зменшуються. Лінійна усадка також може спричинити брак виливка за розмірами, якщо її не врахувати при виготовленні моделі виливка.

Різницю між лінійними розмірами порожнини форми l_ϕ , заповненої рідким металом, і розмірами виливка $l_{вил}$ після охолодження до 20 °С називають *лінійною усадкою*. Лінійну усадку виражають не в абсолютних значеннях, а у відносних:

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

де ε_l – лінійна усадка, %.

Отже, об'ємна усадка виявляється у вигляді концентрованих раковин і пористості в теплових вузлах. Лінійна усадка зумовлює відмінність лінійних розмірів ливарної форми і виливка.

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 величину термічного стиснення Δl визначають 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.

Якщо прийняти, що 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, тоді розмір виливка $l_{вил} = l_0 \cdot [1 - \alpha \cdot (t_0 - 20)]$. Отже, лінійна усадка виливка:

$$\varepsilon_{\text{Л}} = \alpha \cdot (t_0 - 20) / [1 - \alpha \cdot (t_0 - 20)]. \quad (2.4)$$

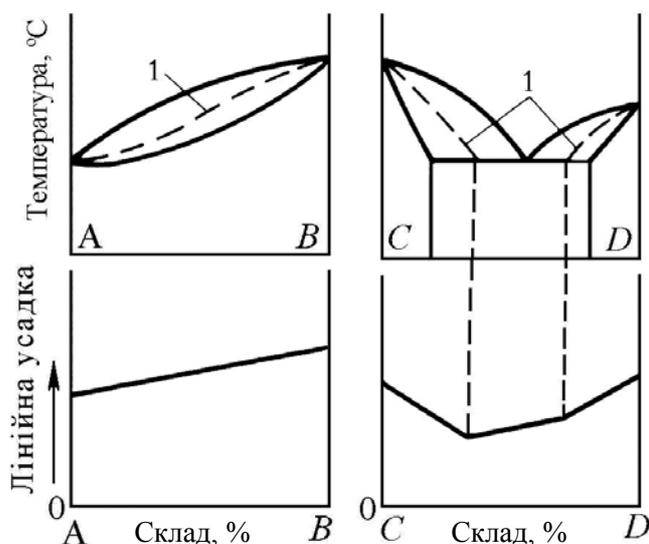
Розрахунок лінійної усадки металів і сплавів за формулою (2.4) не може дати правильних результатів з таких причин:

– температурний коефіцієнт лінійного розширення не є величиною постійною; 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, постійність умов лиття і твердіння дозволяють отримувати результати, якими можна характеризувати сплави залеж-

но від їх складу і стану (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Лінійна усадка ливарних сплавів кольорових металів

Тип сплаву	Лінійна усадка, %	
	вільна	утруднена
Алюмінієві сплави	0,9...1,5	0,8...1,2
Безолов'яна бронза	1,7...2,4	1,4...2,0
Магнієві сплави	1,3...1,8	1,1...1,6

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.

Ливарною усадкою вилівка називають різницю між лінійними розмірами моделі $l_{мод}$ і вилівка $l_{вил}$:

$$\varepsilon_{лив} = \frac{l_{мод} - l_{вил}}{l_{вил}} \cdot 100, \quad (2.5)$$

де $\varepsilon_{лив}$ – ливарна усадка, %.

Ливарна усадка відрізняється від лінійної тим, що вона залежить не лише від властивостей і стану металу і сплаву, але також і від конструкції вилівка, конструкції форми і деяких інших факторів.

Усадку сплаву і вилівка з цього сплаву різні за величиною та характером впливових факторів. На усадку сплаву впливають його склад і температура. На усадку вилівка впливає передусім усадка сплаву, а також умови, які супроводжують лиття: конструкція вилівка (з якою пов'язане нерівномірне охолодження, що призводить до виникнення напружень і деформацій); швидкість охолодження (з якою пов'язаний розподіл усадки по об'єму вилівка); опір ливарної форми скороченню довжини 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 вилівка перешкоджають форма внаслідок тертя вилівка об її стінки, стрижні, виступаючі частини. Окрім механічного утруднення усадки, для більшості виливків 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

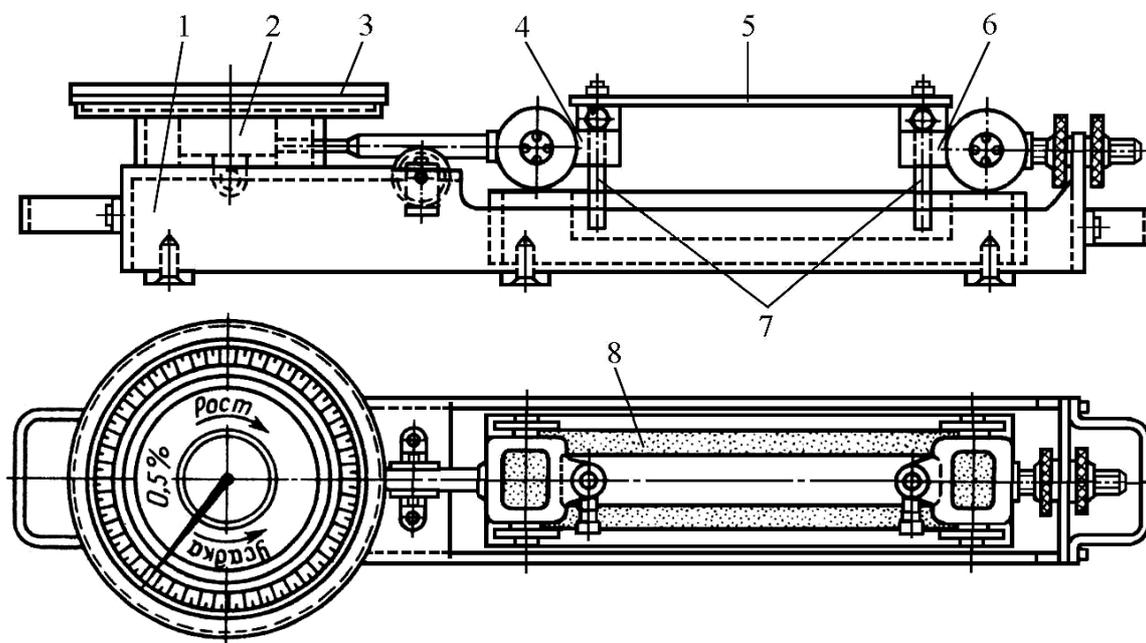
того, із-за різночасності твердіння і охолодження внутрішніх і зовнішніх шарів у зовнішніх шарах масивних виливок виникає температурна напруга стиснення. Це приводить до збільшення лінійної усадки даної ділянки виливка, тому лінійна усадка різних частин виливка в загальному випадку неоднакова. Як правило, лінійна усадка фасонних виливок рівна або менше лінійної усадки сплаву, а крупних масивних виливок (злитки та ін.) 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* або *усадкою з гальмуванням*.

Експериментальна частина

Прилади і матеріали: шахтна піч опору СШОЛ-11,6 12-М3; графіто-шамотні або графітові тиглі; потенціометри типу КСП; модельні комплекти; набір формувального, плавильного і вимірювального інструменту; секундомір; формувальна суміш; алюміній і лігатури алюміній-мідь і алюміній-силіцій; флюси для рафінування алюмінію і його сплавів; прилади І.Ф. Большако-ва 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 фор-



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

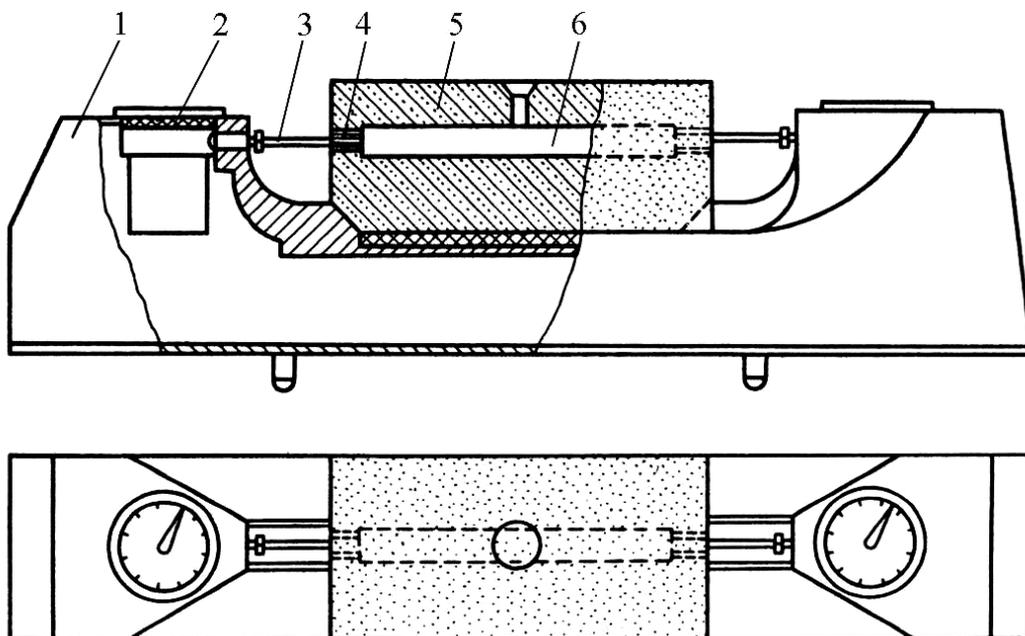
Рисунок 2.2 – Схема приладу І. Ф. Большакова

мою 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.

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 термопари, поміщеної в центрі зразка, вимірюють температуру.

Схема приладу ЦНІТмаша для дослідження вільної лінійної усадки надана 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.



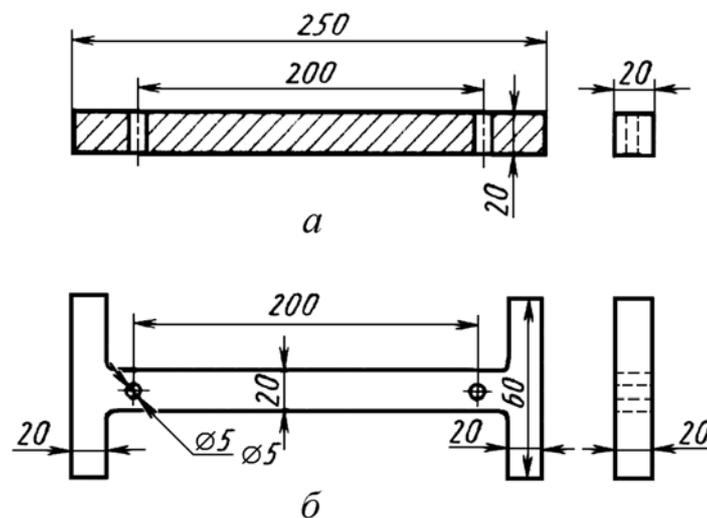
1 – станина; 2 – індикатор; 3 – патрони; 4 – кварцовий наконечник; 5 – форма; 6 – порожнина для заливання сплаву

Рисунок 2.3 – Схема приладу ЦНІТмаша

Реєстрація переміщення проводиться одночасно з двох сторін зразка за допомогою двох індикаторів. 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 та 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 або 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 заливанням 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. 2.4, *б*) мають Т-подібну форму за рахунок поперечних полиць. Ці полиці перешкоджають скороченню розмірів (усадці) зразка в подовжньому напрямі. На моделі кожного зразка передбачені отвори, які використовують для замірювання розмі-

рів 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 відходів, що додають до складу шихти, 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 2.2.

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 2.2 – 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. Для чого необхідно знати величину лінійної усадки сплаву?
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. У чому відмінність вільної і утрудненої лінійної усадки?
6. Що таке температура початку лінійної усадки?
7. Які причини тієї обставини, що лінійна усадка вилівка виявляється менше лінійної усадки сплаву?
8. Чи може лінійна усадка вилівка опинитися більше лінійної усадки сплаву?
9. Які ливарні дефекти виникають внаслідок усадки?
10. 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.

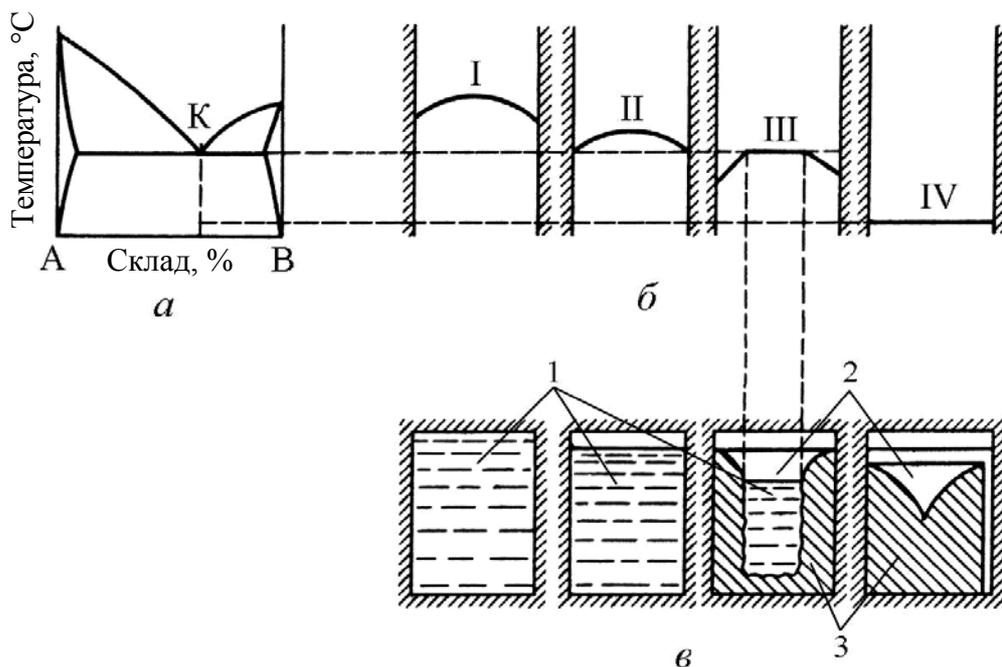
Теоретична частина

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, після заповнення додаткова кількість сплаву у форму не надходить, а охолодження відбувається рівномірно з усіх боків, окрім верху. Прийmemo також, що об'ємна усадка в рідкому і твердому станах пропорційна температурі, при кристалізації об'єм сплаву зменшується.



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

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

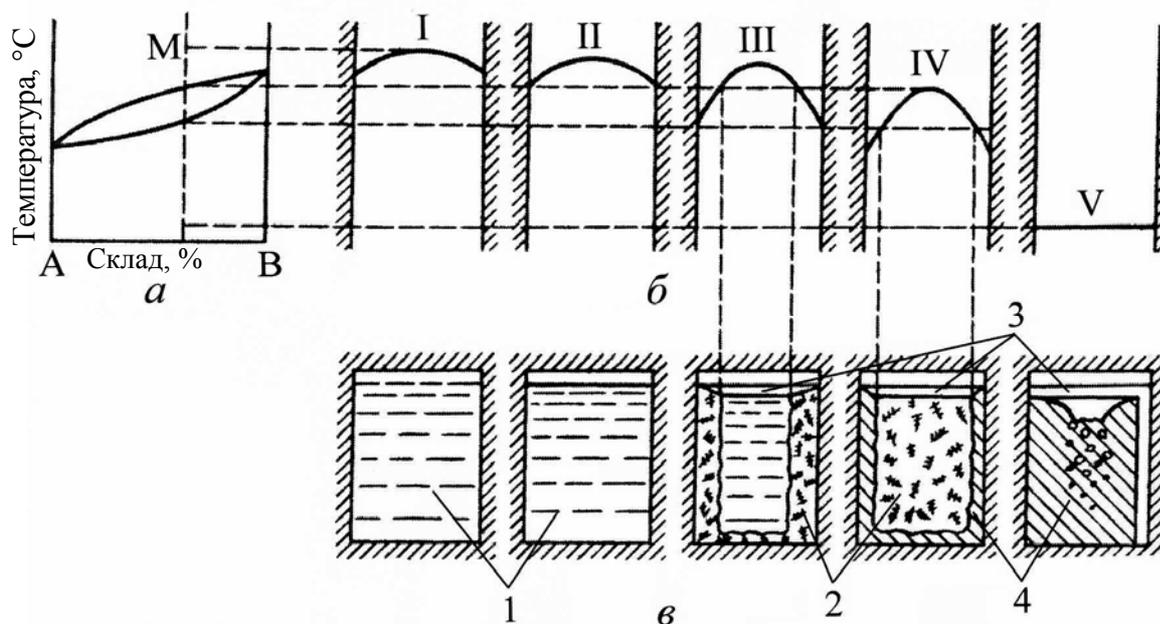
Відповідно до розподілу температури по перетину вилівка сплав тверднудиме і його об'єм змінюватиметься. У момент закінчення заливання

(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 виливка зі сплаву, що має інтервал кристалізації, відрізняється від твердіння виливка зі сплаву, що кристалізується при постійній температурі.

Розглянемо твердіння виливка 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



1 – рідкий сплав; 2 – двофазна область; 3 – усадкова раковина; 4 – твердий сплав; а – діаграма стану; б – діаграми розподілу температури по перетину виливка; в – схема виливка у процесі охолодження

Рисунок 3.2 – Схема твердіння сплаву з інтервалом кристалізації

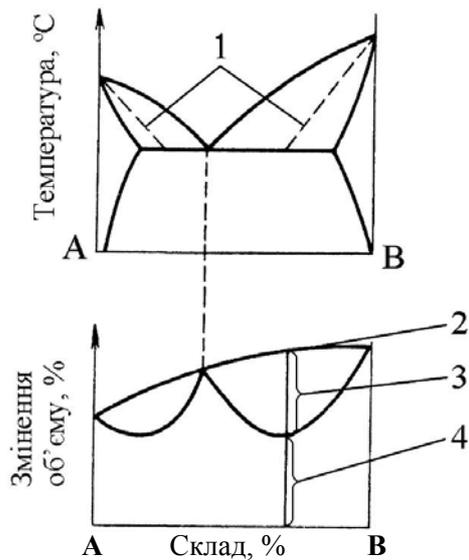
розплаву, що виявляється в пониженні рівня розплаву у формі. З цієї миті починається кристалізація сплаву. Досягши розподілу температури, що відповідає кривій III, у виливку утворюється двофазна область. У міру утворення і зростання кристалів в цій області знижується рівень розплаву у виливка, утворюється усадкова раковина, глибина якої збільшується аж до досягнення температури, розподіл якої відповідає кривій IV. У інтервалі між кривими III і IV на поверхні виливка 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 виливка, а на поверхні виливка утворюється шар твердого сплаву. При цьому росте глибина усадкової раковини. Подальше охолодження виливка до нормальної температури (крива V) приводить до зникнення двофазної області, деякого збільшення об'єму усадкової раковини, утворення усадкової пористості і скорочення розмірів виливка.

Можна відзначити, що якщо сплав має інтервал кристалізації, у виливка, що твердіє, з'являється двофазна область. Поки в середній частині виливка 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 виливка, усадкова раковина перестає заглиблюватися і починається утворення пористості (рихлість) в серединній частині виливка. 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 виливка 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 виливка 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, надана 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.

На характер залежності, представленій на рис. 3.3, істотно впливають умови охолодження. Збільшення інтенсивності охолодження виливка в ході твердіння спричинює скорочення двофазної області, внаслідок чого об'єм пористої області скорочується, об'єм усадкової пористості зменшується, а об'єм



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

у виливках, слід у ливарній формі створити умови безперервного живлення масивних перерізів виливка рідким металом у процесі кристалізації. Для цього над масивним перерізом виливка утворюють порожнину більшого перерізу. Таку порожнину називають надливом. Надлив має тверднути останнім, тоді усадкова раковина утворюватиметься в надливу і відрізатиметься разом з ним від виливка. Щоб забезпечити безперервне живлення виливка рідким металом, твердіння його має бути спрямованим від тонких перерізів до товстих і закінчуватись у надливу. Тому тонкі стінки виливка у ливарній формі розташовують унизу, а більш масивні – угорі, під надливом. Тоді рідкий метал з надливу буде перетікати у виливок під дією власної ваги, а якщо в надлив закласти крейдяний патрон, то під тиском крейда розкладається і виділяє вуглекислий газ, який тисне на метал і видавлює його з надливу у виливок, що дає змогу зменшити об'єм надливу.

Експериментальне визначення об'ємної усадки сплавів проводиться на спеціальних виливках-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 .

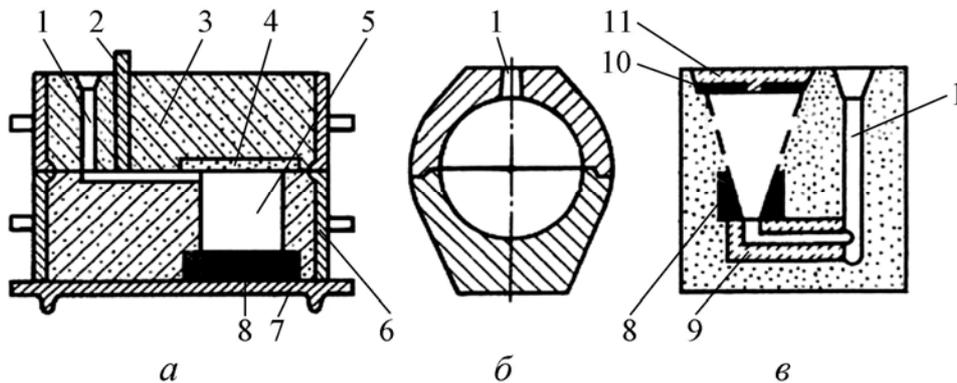
усадкової раковини збільшується. Зменшення інтенсивності охолодження виливка спричинює зворотні зміни: об'єм усадкової пористості зростає, а усадкової раковини зменшується. У разі достатньо малої інтенсивності охолодження двофазна область розповсюджується на всі перетини виливка, і тому усадкова раковина взагалі не утворюється, а об'ємна усадка виявляється тільки у вигляді розсіяної по всьому об'єму виливка усадкової пористості

Подібне зустрічається і у виливках з широкоінтервальних сплавів, отримуваних у формах з матеріалів з малою теплопоглинальною здатністю: у виливках зі сплавів на основі алюмінію з інтервалом кристалізації більше 80°C і виливках з олов'яних бронз з $5\text{...}10\%$ олова, отримуваних в піщаних формах.

Щоб уникнути усадкових раковин у виливках, слід у ливарній формі створити умови безперервного живлення масивних перерізів виливка рідким металом у процесі кристалізації. Для цього над масивним перерізом виливка утворюють порожнину більшого перерізу. Таку порожнину називають надливом. Надлив має тверднути останнім, тоді усадкова раковина утворюватиметься в надливу і відрізатиметься разом з ним від виливка. Щоб забезпечити безперервне живлення виливка рідким металом, твердіння його має бути спрямованим від тонких перерізів до товстих і закінчуватись у надливу. Тому тонкі стінки виливка у ливарній формі розташовують унизу, а більш масивні – угорі, під надливом. Тоді рідкий метал з надливу буде перетікати у виливок під дією власної ваги, а якщо в надлив закласти крейдяний патрон, то під тиском крейда розкладається і виділяє вуглекислий газ, який тисне на метал і видавлює його з надливу у виливок, що дає змогу зменшити об'єм надливу.

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.

Зразок у формі куба 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 металевою пластиною (рис. 3.4, а). Заливання кулі ведуть через низький стояк, об'єм якого дорівнює близько 1 % від 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).



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; а – форма кубічної проби; б – форма кульової проби; в – форма конусної проби

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

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. Швидко 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:

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

де ρ_p – щільність рідини, г/см³;

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 істотної 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:

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

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 потраплянню 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 або 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:

$$\varepsilon_{V.\text{абс}} = V_{\phi} - V_{\text{спл}},$$

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

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

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

Обчислити об'єм пор $V_{\text{пор}}$ в зразках за формулою:

$$V_{\text{пор}} = V_{\text{зр}} - V_{\text{спл}}.$$

Розрізати виливки і вивчити розподіл усадкової пористості по перетину.

За результатами дослідів побудувати графічні залежності 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;
- методика 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 виливках?
7. Для чого проводять дегазацію розплаву при визначенні об'ємної усадки виливок?
8. Як уникнути утворення усадкових раковин у виливках?

Лабораторна робота № 4

ВИЗНАЧЕННЯ МАРКИ ФОРМУВАЛЬНОГО ПІСКУ

Мета роботи:

- вивчення вихідних формувальних матеріалів та їх характеристик;
- визначення вмісту глинистої складової, середнього розміру зерна і коефіцієнта однорідності формувального піску.

Теоретична частина

Формувальними матеріалами називаються матеріали, що застосовують у ливарному виробництві для виготовлення разових форм і стрижнів. Розрізняють вихідні формувальні матеріали, формувальні і стрижневі суміші, допоміжні формувальні склади.

Вихідні формувальні матеріали поділяють на дві групи:

а) основні – вогнетривка основа суміші (кварцовий пісок, циркон, магнезит та ін.) та матеріали, що зв'язують (глина, рідке скло, лігносульфонат технічний, різні смоли, декстрин, інші скріплювачі);

б) допоміжні – спеціальні добавки (кам'яновугільний пил, мазут, тирса та ін.), які надають сумішам певні властивості (газопроникність, піддатливість, непригарність та ін.).

Формувальні і стрижневі суміші готують із вихідних формувальних матеріалів та з відпрацьованих сумішей (суміші, що були у використанні). Склад сумішей залежить від призначення, способу формування, роду металу, що заливається у форму, маси і конфігурації виливка.

Допоміжні формувальні склади – матеріали (фарби, клей, замазки), що необхідні для обробки і виправлення форм та стрижнів.

Для отримання виливок високої якості формувальні і стрижневі суміші, з яких виготовляють разові ливарні форми, повинні мати певні технологічні

властивості. Технологічні властивості сумішей багато в чому залежать від властивостей формувальних пісків, що використовують для їх приготування.

Найчастіше як основний формувальний матеріал застосовують кварцові піски, які поширені в природі, а тому дешевше інших і разом з тим мають необхідні властивості, основне з яких – вогнетривкість.

Основною складовою кварцових пісків є мінерал кварц (кремнезем), що має щільність 2,5...2,8 г/см³, високу вогнетривкість (температура плавлення 1713 °С), міцність, твердість 7,0 за мінералогічною шкалою і низьку хімічну активність. При нагріванні кварц переходить в інші кристалічні модифікації, що супроводжується зміненням його об'єму. Окрім кварцу пісок може містити польові шпати, слюду, оксиди заліза, гідрати оксидів заліза, карбонати, а також глинисті мінерали. Ці домішки надають піску різне забарвлення і погіршують його властивості, знижуючи температуру плавлення.

Для виготовлення сталевих і чавунних виливок використовують головним чином кварцові велико- і середньозернисті піски, що містять не менше 93 % SiO₂, не більше 1,0 % Fe₂O₃, не більше 2 % оксидів лужних і лужноземельних металів (Na₂O, K₂O, CaO, MgO), не більше 2 % глинистої складової. Вміст сульфідної сірки в кварцових формувальних пісках не повинен перевищувати 0,05 %. При виготовленні форм для мідних, алюмінієвих, магнієвих виливок можуть застосовуватися дрібнозернисті піски із вмістом глинистої складової більше 2 %. Для тонких кольорових виливок потрібні глинисті дрібнозернисті піски.

Формувальні піски залежно від масової частки глинистої складової (часточок глинистих матеріалів і уламків зерен кварцу та інших мінералів розміром менше 0,02 мм) поділяють на: кварцові, худі і жирні.

Кварцові і худі формувальні піски поділяють на групи залежно від масової частки глинистої складової, діоксиду силіцію, коефіцієнта однорідності і середнього розміру зерна, жирні піски – від межі міцності при стисненні у вологому стані та середнього розміру зерна. Вимоги до якості пісків регламентуються ГОСТ 2138-91 (табл. 4.1).

Разом з мінералогічним складом важливою властивістю піску є його зернова будова, яка характеризується розміром, формою і однорідністю зерен. Від зернової будови залежать теплофізичні, механічні та технологічні властивості, а також його газопроникність.

Піски за формою зерен розділяють на округлі, напівокруглі і кутасті, коефіцієнт кутастості для яких складає не більше 1,10; 1,25 і 1,40 відповідно.

Маркування пісків складається з літер і цифр.

Літера позначає тип піску: К – кварцовий, Т – худий, Ж – жирний. Цифра (за наявності) перед літерою позначає масову частку (%) глинистої складової. Нижній цифровий індекс для літер К, Т вказує масову частку (%) діоксиду силіцію у складі піску, а для літери Ж – межі міцності (МПа) при стисненні у вологому стані. Нижній цифровий індекс при літері О вказує коефіцієнт однорідності для кварцових і худих пісків. Цифри (дві або три) за літерами вказують середній розмір (мм) зерна.

Таблиця 4.1 – Класифікація і характеристика формувальних пісків

Пісок	Позначення групи цифрове	Масова частка глинистої складової, %, не більше	Позначення групи літерно-цифрове	Масова частка кремнезему, не менше %	Межа міцності при стисненні у вологому стані, МПа	Середній розмір зерна, мм	Коефіцієнт однорідності, %
Кварцовий	1	0,2	K ₁	99,0	–	–	–
	2	0,5	K ₂	98,0	–	–	–
	3	1,0	K ₃	97,0	–	–	–
	4	1,5	K ₄	95,0	–	–	–
	5	2,0	K ₅	93,0	–	–	–
Худий	1	4,0	T ₁	96,0	–	–	–
	2	8,0	T ₂	93,0	–	–	–
	3	12,0	T ₃	90,0	–	–	–
Жирний	–	12...50	Ж ₁	–	понад 0,08	–	–
	–	12...50	Ж ₂	–	0,05...0,08	–	–
	–	12...50	Ж ₃	–	до 0,05	–	–
Кварцовий, худий, жирний	01	–	–	–	–	до 0,14	–
	016	–	–	–	–	0,14...0,18	–
	02	–	–	–	–	0,19...0,23	–
	025	–	–	–	–	0,24...0,28	–
	03	–	–	–	–	понад 0,28	–
Кварцовий, худий	–	–	O ₁	–	–	–	понад 80
	–	–	O ₂	–	–	–	70...80
	–	–	O ₃	–	–	–	60...70
	–	–	O ₄	–	–	–	50...60
	–	–	O ₅	–	–	–	до 50

Наприклад, марка піску 2K₁O₃02 означає, що це кварцовий формувальний пісок з масовою часткою глинистої складової від 0,2 до 0,5 %, масовою часткою діоксиду силіцію не менше 99,0 %, коефіцієнтом однорідності від 60,0 до 70,0 % і середнім розміром зерна від 0,19 до 0,23 %.

Наприклад, марка піску Ж₂016 – жирний формувальний пісок з межею міцності при стисканні у вологому стані від 0,05 до 0,08 МПа та середнім розміром зерна від 0,14 до 0,18 мм.

Експериментальна частина

Прилади і матеріали: сушильна шафа з терморегулятором; установка для збовтування; прилад “Ротап” з набором сит; оптичний або електронний мікроскоп; технічні ваги; чаша кварцова; ексикатор; скляна посудина місткістю 1000 мл; U-подібна трубка (внутрішній діаметр 6...9 мм); розчин пірофосфату

натрію (густина 10 г/дм^3); дистильована вода; глясний папір; пензлик; пісок, що досліджується.

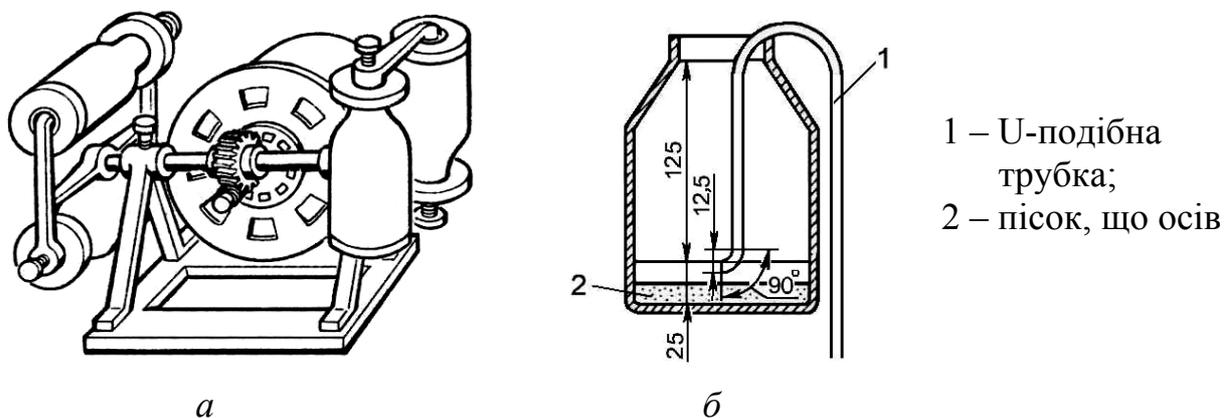
Визначення вмісту глинистої складової в піску.

Вміст глинистої складової в піску визначають нормальним і прискореним методами (ГОСТ 29234.1-91). Нормальний метод визначення глинистих складових використовують при проведенні досліджень та арбітражних суперечках. Для поточного контролю якості пісків найчастіше застосовують прискорений метод.

Нормальний метод. Випробування проводять паралельно на двох пробах. Від кожної проби піску відбирають два наважки масою по 50 г кожна.

Першу наважку поміщають в кварцову чашу і висушують при температурі $105\text{...}110 \text{ }^\circ\text{C}$, потім поміщають в ексікатор до охолодження.

Другу наважку піску масою 50 г висипають в посудину місткістю 1000 мл, додають 475 мл води і 25 мл розчину пірофосфату натрію (густина 10 г/дм^3). Посудину щільно закривають гумовою пробкою, закріплюють на установці для збовтування (рис. 4.1, а) і збовтують протягом 1 год при частоті обертання посудини $60\pm 5 \text{ хв}^{-1}$. Після цього установку вимикають, знімають посудину, відкривають кришку і ретельно змивають водою в посудину часточки піску, що пристали до кришки. Потім у посудину доливають воду до мітки на висоті 150 мм (рис. 4.1, б), суміш перемішують скляною паличкою та дають відстоятися протягом 10 хв. Зливають воду до рівня 12 мм від поверхні піску, що осів, за допомогою U-подібної трубки (діаметр 6...9 мм), введеної в посудину.



а – установка для збовтування; б – посудина з U-подібною трубкою

Рисунок 4.1 – Обладнання для визначення глинистої складової в піску

Операції доливання води, енергійного взмучування, відстоювання протягом 10 хв і зливання U-подібною трубкою повторюють двічі. Потім в посудину втретє наливають воду до відмітки 150 мм, суміш перемішують паличкою, витримують протягом 5 хв і зливають воду за допомогою U-подібною трубки. Ці операції повторюють до тих пір, поки вода в посудині після відстою-

вання не буде абсолютно прозорою.

Осад з посудини переносять у кварцову чашку, ретельно змиваючи піщинки, що пристали до стінок посудини. Протягом 5 хв вода в чашці відстоюється, потім її зливають. Пісок, що залишився, висушують у сушильній шафі за температури 105...110 °С до постійної маси. Висушений пісок охолоджують в ексікаторі та зважують з точністю до 0,01 г.

Масову частку глинистої складової в піску $C_{\text{гл}}$ (%) визначають за формулою:

$$C_{\text{гл}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100, \quad (4.1)$$

де m_1 – маса наважки піску до відмучування, г;

m_2 – маса наважки висушеного осаду після видалення глинистих часточок, г.

Розбіжність між результатами паралельних визначень не повинна перевищувати 10 %. Якщо розбіжність перевищує 10 %, випробування повторюють. За результат випробування приймають середнє арифметичне результатів трьох визначень.

Прискорений метод. Наважку піску масою 20 г висипають в посудину для кип'ятіння, заливають 300 мл води і кип'ятять протягом 5 хв. Осад з посудини переносять в посудину установки для збовтування (рис. 4.1), додають 200 мл води і перемішують протягом 10 хв. Подальші операції проводять так само, як і при визначенні глинистої складової нормальним методом.

Визначення середнього розміру зерна і коефіцієнта однорідності піску.

Середній розмір зерна і коефіцієнт однорідності розраховують за даними гранулометричного складу (ГОСТ 29234.3-91). Метод визначення гранулометричного складу заснований на визначенні кількісного розподілу частинок за розмірами шляхом розсівання на ситах.

Наважку піску після визначення в ній масової частки глинистих часточок просівають на струшуючому пристрої типу “Ротап” (рис. 4.2), що працює за

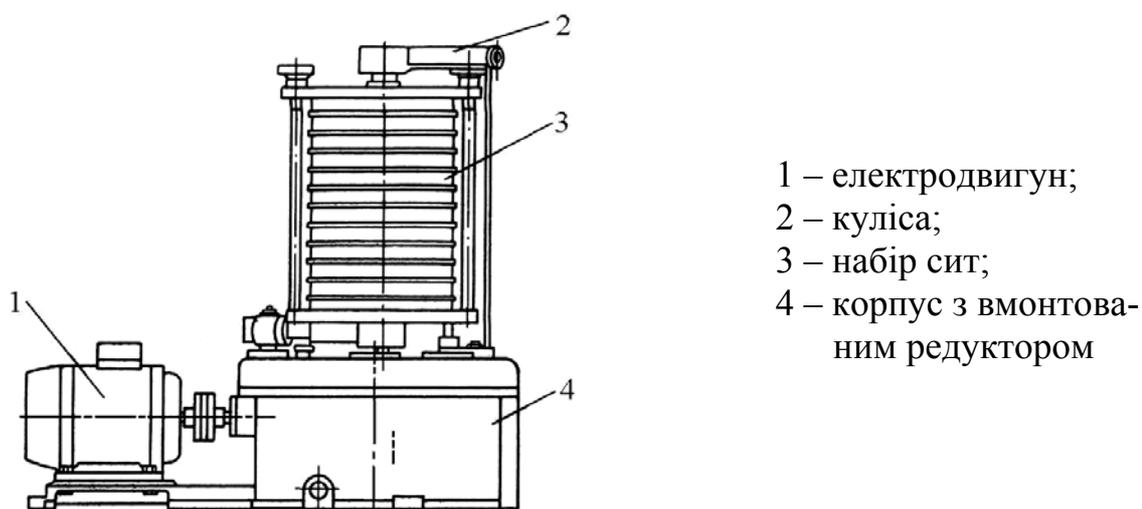


Рисунок 4.2 – Пристрій типу “Ротап”

принципом обертового руху зі швидкістю обертання $300 \pm 15 \text{ хв}^{-1}$ при одночасному струшуванні з рівномірною частотою 180 ± 10 у хвилину.

Розсівання ведуть протягом 15 хв, після чого залишки піску роздільно з кожного сита кількісно переносять на глянсовий папір і зважують з точністю до 0,01 г.

Випробування проводять на двох наважках.

Масову частку залишку піску на ситі X (%) обчислюють за формулою:

$$X = (m_1/m) \cdot 100, \quad (4.2)$$

де m_1 – маса залишку на ситі, г;

m – маса початкової наважки, г.

Розбіжність, що допускається, між результатами двох паралельних визначень не повинна перевищувати 10 %. Якщо результати випробування відрізняються від середнього арифметичного більше, ніж на 10 %, тоді визначення повторюють ще один раз. За результат випробування приймають середнє арифметичне результатів трьох визначень.

Для визначення середнього розміру зерна і коефіцієнта однорідності будують інтегральну криву розподілу часточок по розмірах (рис. 4.3). Для чого по осі абсцис відкладають в логарифмічному масштабі розмір сторін комірок сітки, а по осі ординат – в лінійному масштабі кількість часточок менше даного розміру у відсотках.

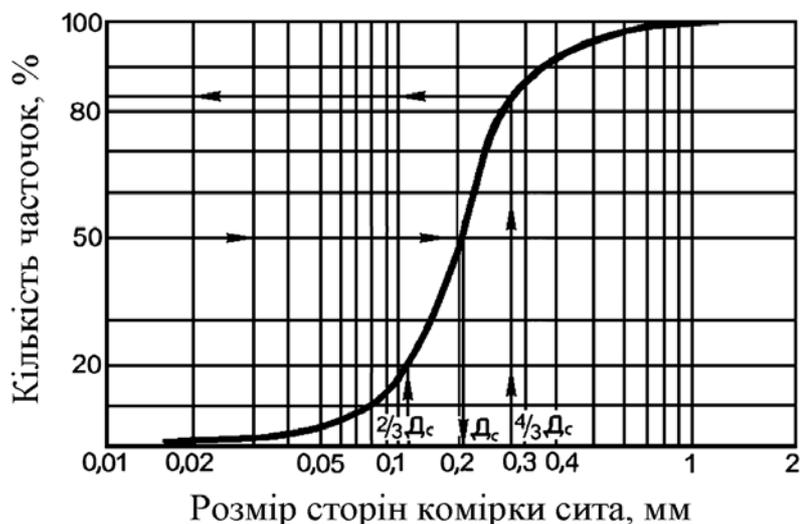


Рисунок 4.3 – Інтегральна крива розподілу часточок піску по розмірах

Середній розмір зерна D_c відповідає розміру сторін комірок сітки, через який проходить 50 % піщаної основи.

Для визначення коефіцієнта однорідності O по інтегральній кривій знаходять кількість часточок розміром менше $4/3 D_c$ і $2/3 D_c$. Коефіцієнт однорідності дорівнює різниці цих значень (рис. 4.3).

Приклад заповнення таблиці з результатами для визначення середнього розміру зерна і коефіцієнта однорідності наданий в Додатку.

Порядок проведення роботи

Приготувати дві наважки формувального піску масою 50 і 20 г.

Визначити вміст глинистої складової в піску, що досліджується, нормальним і прискореним методами. Кожна бригада отримує індивідуальне завдання. Метод визначення глинистої складової задає викладач. Масову частку глинистої складової в піску $C_{гн}$ розрахувати за формулою (4.1).

Визначити зерновий склад піщаної основи за допомогою ситового аналізу. Частини наважок, що залишилися після відмучування, масами 50 і 20 г (піщану основу) просіяти на струшуючому пристрої.

Спочатку перевірити чистоту сит і зібрати комплект по їх номерах, з яких кожне нижчерозташоване має мати менший розмір отворів, ніж вищерозташоване. Під саме нижнє сито № 005 поставити піддон. На верхнє сито № 2,5 насипати пісок, що досліджують. Комплект сит накрити кришкою, встановити і закріпити їх на піддоні приладу. Ввімкнути електродвигун і просіяти протягом 15 хв.

Після розсівання прилад вимкнути, видалити кришку, зняти сита. Залишки піску, що знаходяться на ситі з отворами певного розміру, висипати із сит, починаючи із сита з найбільшими отворами. Пісок із сита обережно струсити на один бік і пересипати на глясовий папір. Пісок, що пристав до сітки або рамки сита, обережно протерти м'яким пензликом через сітку в наступнє сито з меншими отворами. Пісок, висипаний на глясовий папір, зважити.

Масову частку залишку піску на ситі обчислити за формулою (4.2). За результат випробування прийняти середнє арифметичнє результатів трьох визначень і занести в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати визначення середнього розміру зерна (D_c) і коефіцієнта однорідності (O)

Розмір сторін комірки, мм	Залишок на ситі, г	Залишок на ситі, %	Кількість часточок розміром менше сторін комірки сита, %
2,50			
...			
0,05			
Піддон			
Всього	50,00	100	–
$D_c =$	$4/3 D_c =$	$2/3 D_c =$	$O =$

Побудувати інтегральну криву розподілу часточок по розмірах, визначити середній розмір зерна і коефіцієнт однорідності формувального піску.

Подальші операції з наважкою масою 20 г проводити так само, як і з наважкою масою 50 г.

Форму зерен піску визначити візуально шляхом перегляду під мікроскопом.

За отриманими результатами вмісту глинистої складової, середнього розміру зерна і коефіцієнта однорідності визначити марку формувального піску.

Вимоги до звіту по роботі

Звіт по роботі повинний містити:

- мету роботи, стислі відомості про формувальні матеріали;
- схеми установок, використаних в роботі;
- методику визначення вмісту глинистої складової у формувальному піску;
- методику визначення зернового складу формувального піску;
- результати визначення середнього розміру зерна і коефіцієнта однорідності формувального піску у вигляді таблиці та інтегральної кривої розподілу часточок піску по розмірах;
- вказати марку і форму часточок формувального піску;
- відповідні висновки.

Контрольні запитання

1. Які матеріали називають формувальними?
2. Як класифікують вихідні формувальні матеріали?
3. На які групи поділяють формувальні піски залежно від вмісту в них глинистої складової?
4. Як поділяють формувальні піски за вмістом в них кремнезему?
5. Як позначають марки формувальних пісків?
6. Розшифруйте марку піску 4К₃О₁025.
7. Чим відрізняються піски марок Ж₂016 та Ж₂025?
8. Як визначають вміст глинистої складової формувальних пісків?
9. Як визначають зерновий склад піщаної основи?
10. Поясніть відмінності у визначенні вмісту глинистої складової у формувальному піску нормальним і прискореним методами.

Лабораторна робота № 5

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА В РАЗОВІЙ ФОРМІ

Мета роботи:

- вивчення технології виготовлення виливка в разовій формі;
- ознайомлення з формувальним інструментом і оснащенням;
- опанування технологічними процесами виготовлення разових ливарних форм по роз'ємній моделі та отримання виливка.

Теоретична частина

Фасонні виливки виготовляють в ливарних формах, які поділяють на разові та постійні. Разові ливарні форми призначені для отримання лише одного виливка, після тверднення в них сплаву вони руйнуються. Для виготовлення разових форм застосовують матеріали, що легко формуються, без зайвих зусиль руйнуються для видалення готового виливка, але є достатньо міцними для протидії силам, що виникають під час заповнення порожнини форми розплавленим металом.

Постійні форми виготовляють з металу (зазвичай більш тугоплавкого, ніж отримані з нього виливки), використовують для виробництва значної кількості деталей (іноді до сотні тисяч виливок).

Переважну кількість виливків виготовляють у піщано-глинистих формах завдяки їх універсальності і низькій собівартості, недефіцитності матеріалів, простій організації технологічного процесу.

Виливок – вироб, отриманий під час тверднення металу або сплаву в ливарній формі.

Технологія виготовлення виливка з ливарних сплавів у разовій піщаній формі складається з такої послідовності технологічних операцій: виготовлення модельних комплектів; приготування формувальних і стрижневих сумішей; формування ливарних форм і стрижнів; сушіння стрижнів (іноді і форм); складання форм; приготування рідкого сплаву кольорових металів; заливання форм металом; вибивання виливка з форм і стрижнів з виливка; обрубкування ливникової системи і очищення виливка; механічна і термічна обробка виливка; контроль і виправлення дефектів готового виливка.

Ливарне оснащення – пристосування для виготовлення виливків, що складаються з моделі виливка, моделі елементів ливникової системи, модельної плити, стрижневих ящиків, опок та ін.

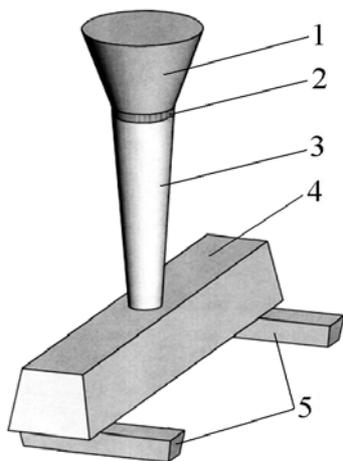
Частина оснащення, до складу якої входять всі пристосування, необхідні для утворення робочої порожнини ливарної форми при її формуванні, називається *модельним комплектом*. Він складається з моделі виливка, моделей елементів ливникової системи, модельної плити, стрижневих ящиків, формувальних, контрольних та складальних шаблонів для конкретного виливка.

Повний комплект оснащення, необхідний для отримання разової форми, називають *формувальним комплектом*.

Модель вилівка є зразком, за допомогою якого одержують зовнішні контури майбутнього вилівка в формі. Конструкція моделі має забезпечити вивільнення її з форм без порушення одержуваного відбитка. Вона може бути суцільною або роз'ємною. Розміри моделі перевищують розміри майбутнього вилівка на величину лінійної усадки металу або сплаву та на величину припуску для різання в процесі виготовлення з вилівка деталі. Поверхня моделі має бути гладкою і чистою, щоб легко відокремлюватися від формувальної суміші. В одиничному виробництві в більшості випадків моделі виготовляють із деревини, а в масовому – з алюмінієвих сплавів, чавуну, пластмаси.

Стрижень – елемент ливарної форми, що використовують для одержання у вилівку отвору, порожнини або іншого складного контуру. Для фіксації стрижнів у формі вони мають спеціальні виступи, які називають стрижневими знаками. Для виготовлення ливарних стрижнів застосовують роз'ємні стрижневі ящики.

Ливникова система – сума каналів, якими рідкий метал надходить у ливарну форму. Вона має забезпечити швидке заповнення форми рідким металом, правильне його тверднення у формі, мати якомога меншу масу і легко відокремлюватися від вилівка. Складається ливникова система (рис. 5.1) з ливникової чаші, стояка, шлаковловлювача, живильників, а також випору (на рисунку не наданий).



- 1 – ливникової чаша;
- 2 – фільтрувальний елемент (вогнетривка сітка);
- 3 – стояк;
- 4 – шлаковловлювач;
- 5 – живильники

Рисунок 5.1 – Модель ливникової системи

Ливникова чаша призначена для приймання рідкого металу з ковша. По стояку конічної форми метал надходить у трапецоїдний в перерізі шлаковловлювач, який розміщено у верхній половині ливарної форми. Він призначений для затримування шлакових і земляних включень, які спливають на поверхню металу внаслідок зниження швидкості його струменя у шлаковловлювачі. Живильники – канали, що підводять рідкий метал безпосередньо в порожнину ливарної форми. Випор установлюють у найвищій точці вилівка, тому рідкий метал заповнює випор останнім, що дає змогу контролювати заливання форми. Крім того, у випор при заповненні форми металом виходить повітря.

Ливникова система під час заливання форми має бути заповнена рідким металом, щоб забезпечити безперервність струменя, оскільки розривання струменя призведе до всмоктування повітря та шлаку у порожнину форми, а також до утворення окислених плівок у місці розривання, які розчленять вилівок. Тому між елементами ливникової системи витримують певне співвідношення – сумарна площа перерізу всіх живильників ($S_{жив}$) повинна бути меншою, ніж площа перерізу шлаковловлювача ($S_{шл}$), який має переріз менший, ніж стояк ($S_{ст}$):

$$S_{жив} < S_{шл} < S_{ст}.$$

Моделі звичайно монтують на металевих плитах, які називають *моделними плитами*. Ці плити не тільки формують площину рознімання ливарної форми, несуть на собі різні частини моделі вилівка та моделі ливникової системи, але й слугують для набивання формувальною сумішшю одної з парних опок при використанні нероз'ємних моделей.

Опоки – порожні рамки (круглого або прямокутного перерізу), що призначені для утримання формувальної суміші при виготовленні ливарної форми, її транспортуванні та заливанні рідким металом. Виготовляють опоки зі сталі, чавуну, алюмінію, а іноді – з деревини. Вони мають бути легкими, міцними і добре утримувати ущільнену формувальну суміш. При формуванні за роз'ємною моделлю використовують парні опоки, які центруються за допомогою спеціальних вушок та центрувальних штирів, забезпечуючи повний збіг контурів вилівка верхньої та нижньої напівформ.

Формувальний інструмент для виготовлення разової форми вручну можна поділити на дві групи: 1) інструмент, що використовують для наповнення опок формувальною сумішшю, ущільнення її та видалення моделей з форм; 2) інструмент для обробки форм.

Для наповнення опок формувальною сумішшю застосовують совкові лопати. Ущільнюють суміш пневматичними або ручними трамбівками. Сталевими голками (душниками) наколюють вентиляційні канали, щоб легше виходили гази з форми. Виймають моделі із форми за допомогою підйомника з гострим кінцем (для дерев'яних моделей) або з нарізкою на кінці для (металевих моделей).

До обробного інструменту належать гладилки, ложки для обробки криволінійних поверхонь і вирізування ливникової чаші, гачки для видалення залишків суміші з глибоких і вузьких заглибин форми та ін.

Формувальні і стрижневі суміші, що використовують в ливарному виробництві, складаються з кварцового піску, глини і зв'язуючих матеріалів. Ці суміші повинні мати добру пластичність, плинність, газопроникність, міцність та протипригарність.

Форми та стрижні покривають фарбою та припилом. Фарби складаються з вогнетривкої глини, графіту, кварцового піску, зв'язуючого. Моделі фарбують: для чавуну – червоною, для сталі – синьою, для кольорових металів – жовтою фарбою, а стрижневі знаки – чорною фарбою.

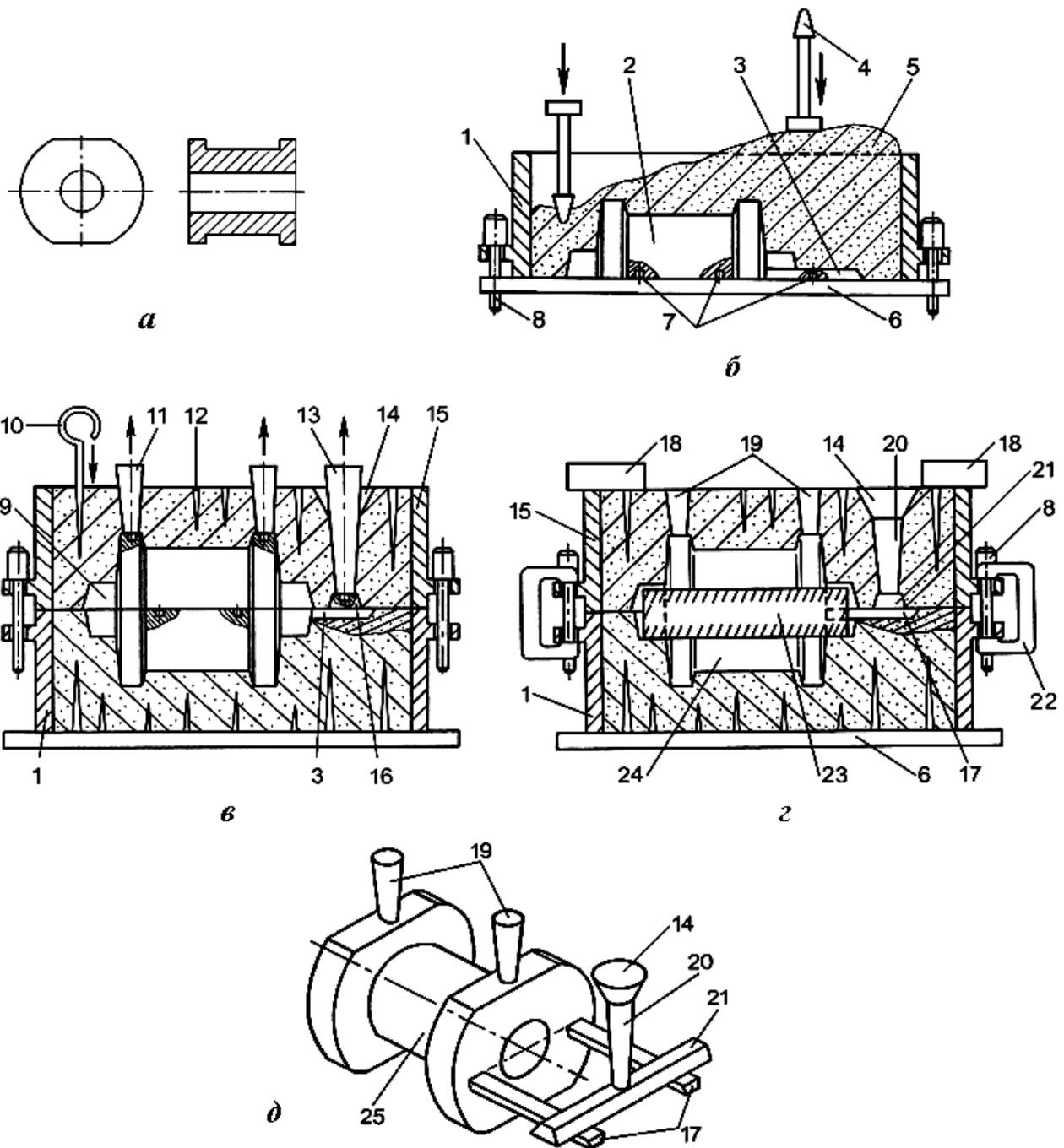
За способом застосування формувальні суміші поділяють на облицювальні, наповнювальні, єдині. *Облицювальну* суміш (формувальну або стрижневу) використовують для виготовлення робочого шару форми або стрижня з завищеною газоникністю та завтовшки 15... 100 мм. *Наповнювальну* суміш використовують для заповнення форми та стрижня після нанесення облицювальної суміші. *Єдину* суміш використовують одночасно як облицювальну та наповнювальну. Формувальні та стрижневі суміші готують на спеціальних ділянках. Сирий формувальний матеріал сушать, подрібнюють, просівають. Відпрацьовану суміш також сушать, подрібнюють, просівають і додатково очищують від пилу. Підготовлені матеріали у визначеній пропорції змішують у спеціальних змішувачах-бігунах.

Процес виготовлення ливарних форм та стрижнів називають *формуванням*. Залежно від розмірів та маси виливка, а також від типу виробництва (індивідуальне або масове) ливарні форми та стрижні виготовляють вручну, на формувальних машинах, напівавтоматичних і автоматичних лініях.

Залежно від внутрішнього контуру, розмірів та складності виливків застосовують різні способи ручного формування. Найчастіше застосовують формування в двох опоках за нероз'ємною та роз'ємною моделлю.

Послідовність технологічних операцій під час формування в двох опоках по роз'ємній моделі показано на рис. 5.2. На модельну плиту ставлять нижню напівмодель деталі площиною рознімання донизу, моделі живильників та нижню опоку. На модель насипають облицювальну суміш, потім – наповнювальну суміш. Суміш утрамбовують до верху опоки, надлишки суміші видаляють, душником роблять наколи (рис. 5.2, б). Після виготовлення нижньої напівформи опоку з напівмоделлю перевертають. На неї послідовно ставлять верхню частину моделі, модель ливникової системи і модель випору. Поверхню рознімання форми присипають розділовим сухим піском, по центрувальних штирях встановлюють верхню опоку, насипають суміш і ущільнюють (рис. 5.2, в). Потім знімають верхню опоку і видаляють частину моделі, вставляють стрижень і складають форму. Зверху на кромки опоки встановлюють вантаж, щоб під час заливання рідкий метал не підняв верхню опоку (рис. 5.2, г). Загальний вид виливка з ливниковою системою надано на рис. 5.2, д.

Приготування розплаву (одержання рідкого металу) та заливання форм розплавом проводиться з урахуванням визначених технологічних вимог, від яких залежить якість виливка. Особливе значення мають такі чинники: температура перегрівання рідкого металу, тривалість заливання, ступінь заповнення ливникової системи розплавом, висота струменя тощо. Рідкий метал з печей подається зазвичай в ковшах, з яких і заливається у форми. Безперервним струменем метал заливають з висоти не більше 200 мм. Тривалість охолодження виливка залежить від його маси, виду сплаву, властивостей формувальної суміші і становить від однієї хвилини до декількох годин або навіть діб. Для скорочення технологічного циклу іноді застосовують примусове охолодження.



1 – нижня опока; 2 – нижня напівмодель виливка; 3 – модель живильника; 4 – трамбівка; 5 – формувальна суміш; 6 – модельна плита; 7 – центрувальні шипи; 8 – центрувальний штир; 9 – верхня напівмодель виливка; 10 – душник; 11 – модель випору; 12 – вентиляційні канали (наколи); 13 – модель стояка; 14 – ливникова чаша; 15 – верхня опока; 16 – модель шлаковловлювача; 17 – живильник; 18 – вантаж; 19 – випори; 20 – стояк; 21 – шлаковловлювач; 22 – скоба; 23 – стрижень; 24 – робоча порожнина форми; 25 – виливок; *a* – ескіз деталі “Втулка”; *б* – виготовлення нижньої напівформи; *в* – виготовлення верхньої напівформи; *г* – зібрана ливарна форма; *д* – виливок з елементами ливникової системи

Рисунок 5.2 – Формування по роз’ємній моделі

Процес виймання (вибивання) виливків із форм проводять як вручну, так і за допомогою вібраторів або на пневмогідравлічних установках.

Після вибивання із форм виливок обрубують та очищують. Обрубкування необхідне для видалення живильників. У мідних виливків ливники виділяються прес-кусачками, а в алюмінієвих та магнієвих – обрубними штампами. Від формувальної суміші, що взялася до поверхні, виливки очищують піскоструменевою обробкою.

Еспериментальна частина

Прилади і матеріали: комплект формувальних інструментів (совок або лопата, сито, трамбівка, дерев'яний молоток, ложки, душник (вентиляційна голка), гладилка, підйомник, гачки, пензлик); плавильна піч; графітошамотні тиглі; набір плавильних інструментів; комплект моделей виливка та елементів ливникової системи; шихтові матеріали для виплавки алюмінієвого сплаву; формувальна суміш; сухий кварцовий пісок; порошковий графіт або молоте деревне вугілля; захисні окуляри; рукавиці.

Порядок виконання роботи

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

Підготувати моделі виливків і елементів ливникової системи, опоки, модельні плити, формувальний інструмент і робоче місце.

Приготувати формувальну суміш заданого викладачем складу. Підготувати розділовий пісок і протипригарне покриття.

Для виготовлення разової форми по роз'ємній моделі на модельну плиту покласти нижню напівмодель деталі площиною рознімання донизу, присипати модельною пудрою та накрити нижньою опокою, залишаючи відстань від моделі до стінки опоки близько 25...50 мм. Через сито просіяти облицювальну суміш, покриваючи модель шаром завтовшки 15...30 мм, а іншу частину опоки засипати із надлишком наповнювальною сумішшю. Суміш насипати шарами по 50...75 мм та ущільнювати ручною трамбівкою (спочатку гострим, а потім плоским її кінцем, у стінок опоки – гострим кінцем). Після заповнення (набивання) усієї опоки надлишки формувальної суміші зрізати лінійкою в рівень з опокою. Душником (вентиляційною голкою) наколоти вентиляційні канали, не доходячи до напівмоделі на 10...15 мм. Набиту опоку перевернути на 180°.

На нижню напівмодель по центрувальних шипах установити верхню напівмодель і площину рознімання форми посипати сухим розділовим піском. На нижню опоку по штирях накласти верхню опоку. Установити моделі шлаковловлювача, стояка та випору. Просіяти облицювальну суміш, ущільнюючи її руками навколо моделей ливникової системи. Засипати верхню опоку з надлишком наповнювальною сумішшю. Ущільнити формувальну суміш трамбівкою, лінійкою зрізати надлишки суміші у рівень з верхньою опокою. Душником наколоти вентиляційні канали у верхній напівформі та

гладилкою вирізати біля стояка ливникову чашу. Видалити з форми моделі стояка та випору. Верхню опоку зняти і перевернути на 180°.

Пензликом злегка змочити формувальну суміш водою навколо напівмоделей. Напівмоделі злегка розштовхнути підйомником у різні боки та обережно видалити із форми. У нижній напівформі прорізати живильники. Форму обробити, поправити і вигладити інструментом (гладилки, ложечки), припилити порошковим графітом або молотим деревним вугіллям. Встановити у нижню напівформу готовий стрижень за знаками. Накрити нижню напівформу верхньою по центрувальних штирях. Зверху на кромки опоки встановити вантаж, щоб під час заливання рідкий метал не підняв верхню опоку. Готову форму перенести на ділянку заливання до печі.

Завантажити підготовлену шихту в тигель, приготувати у печі алюмінієвий розплав заданого складу. Нагрівати розплав до 750 °С і обробити його хлоридом марганцю (0,1...0,15 %). Довести температуру розплаву до заданої викладачем температури заливання.

Рідкий метал з тигля залити у форму за допомогою спеціальних тигельних кліщів. Повноту заповнення форми металом контролювати за виходом металу у випор. Виливок витягнути з форми через 15...20 хв після заливання. Вибивати виливок з форми та стрижень з виливка на спеціально відведеному місці.

Після очищення візуально оглянути виливок і визначити його якість, можливі дефекти (раковини, тріщини, брак поверхні, невідповідність розмірів і конфігурації виливка кресленню та ін.).

Вимоги до звіту по роботі

Звіт по роботі повинний містити:

- мету роботи, стислі теоретичні відомості про ливарне оснащення та його призначення;
- послідовність технологічних операцій виготовлення виливка з ливарних сплавів у разовій піщаній формі;
- опис технологічних операцій виготовлення разової піщано-глинистої форми з пояснювальними схемами і рисунками;
- рисунок отриманих виливків з описом наявних ливарних дефектів;
- висновки про залежність якості виливка від температури заливання алюмінієвого сплаву в форму.

Контрольні запитання

1. Що таке ливарна форма? Як їх класифікують?
2. Які матеріали та оснащення використовують для виготовлення ливарних форм?
3. Що таке модель виливка? Як класифікують моделі?
4. Як виготовляються порожнини та отвори у виливках?
5. Яке призначення стрижневих знаків?
6. Для чого використовують ливникову систему та з яких елементів вона складається?

7. Що таке опоки і для чого вони використовуються?
8. Які технологічні операції слід виконувати під час формування?
9. В якій послідовності виконують технологічні операції при формуванні по роз'ємній моделі в опоках?
10. Які дефекти утворюються у виливках внаслідок неякісного формування?

Лабораторна робота № 6

ЛИТТЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ В КОКІЛЬ

Мета роботи:

- вивчення технології лиття алюмінієвих сплавів у кокіль;
- дослідження впливу температури нагріву кокілю на структуру виливок з алюмінієвих сплавів.

Теоретична частина

Лиття в кокіль широко використовують для виготовлення фасонних виливок з алюмінієвих, магнієвих і цинкових сплавів, рідше – при литті мідних сплавів, іноді – при виготовленні виливок з тугоплавких сплавів. Цим способом виготовляють виливки різної маси (від декількох грамів до десятків тонн) різного призначення, як, наприклад, поршні, колеса, втулки, шківни, картери, циліндри, корпуси підшипників, побутові вироби.

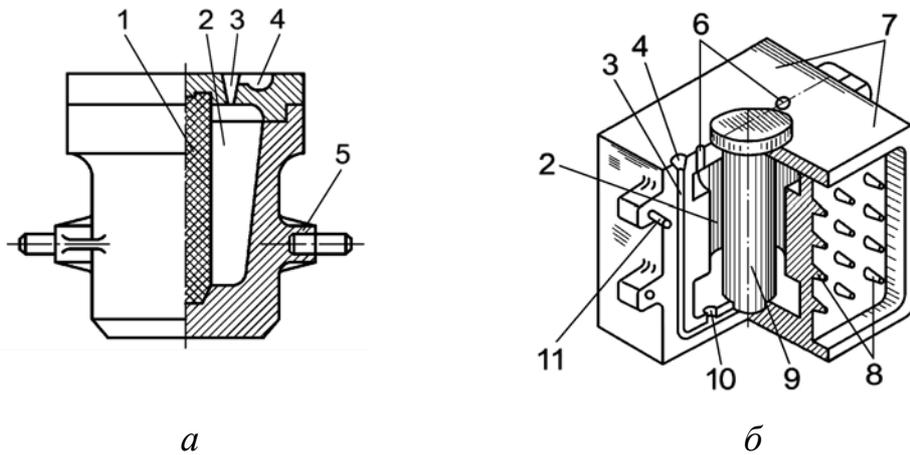
Практично всі алюмінієві сплави можна застосовувати для лиття в кокіль залежно від складності виливок (їх конфігурації, товщини стінок) і вимог, що висувають до виливок за міцністю, герметичністю, корозійною стійкістю, жароміцністю тощо.

Кокіль – металева форма з природним або примусовим охолодженням, яка заливається металевим розплавом під дією гравітаційних сил. Заповнення металевої форми під примусовим тиском здійснюють іншими спеціальними способами лиття (вакуумне всмоктування, лиття під тиском та ін.), а форми, в яких сплав твердне під тиском, називають прес-формами.

Під час лиття порожнину форми заповнюють розплавленим металом (сплавом). Після тверднення металу форму розкривають або витрушують, витягують виливок, проводять відповідну підготовку форми (очищення, обдування, фарбування) і знов заливають її. Процес може продовжуватися багато разів залежно від характеру сплаву, що заливається, і стійкості металевої форми.

За конструкцією кокілі можуть бути нероз'ємними (витрушуваними) та роз'ємними з горизонтальним або вертикальним розніманням. Нероз'ємні кокілі (рис. 6.1, а) застосовують для одержання невеликих виливок простої конфігурації, а більш складні і великогабаритні виливки одержують в роз'ємних кокілях (рис. 6.2, б).

Для лиття алюмінієвих сплавів найчастіше застосовують кокілі з вертикальним розніманням. При вертикальному розніманні значно простіше здійснюються розкриття кокілю і видалення виливок, а також легко виконувати



1 – піщаний стрижень; 2 – порожнина форми; 3 – стояк; 4 – ливникова чаша; 5 – поворотні цапфи; 6 – випори; 7 – половини кокілю; 8 – пальці; 9 – металевий стрижень; 10 – живильник; 11 – напрямний штир; *a* – нероз’ємний кокіль; *б* – кокіль з вертикальним розніманням

Рисунок 6.1 – Кокілі

ливникову систему. Роз’ємний кокіль складається з двох половин з напрямними штирями. Щоб уникнути жолоблення, кокілю надають коробчастої форми (рис. 6.1, *б*). Для прискорення охолодження кокілю іноді на зовнішній поверхні стінки відливають пальці. Отвір (або внутрішню порожнину) у виливку утворює піщаний або металевий стрижень. Метал заливають у ливникову чашу і по стояку та живильникам він заповнює порожнину форми. Оскільки металеві стрижні невіддатливі, їх видаляють із форми до початку усадки металу. Якщо внутрішня конфігурація виливка дуже складна, то металеві стрижні виконують із кількох частин (рознімними) або замінюють піщаними. Ливникову систему розміщують у площині рознімання кокілю. Для виходу повітря із форми в момент заливання крім випорів у площині рознімання по всій висоті кокілю прорізають щілини завглибшки 0,3...0,5 мм. Розкривають кокіль і виштовхують готовий виливок вручну або механізованим способом.

Залежно від габаритних розмірів деталей металеві форми можуть виконуватися багатомісними для одночасного лиття декількох деталей.

Для виготовлення кокілів широко застосовують вуглецеві і леговані сталі, сірий і високоміцний чавуни, леговані нікелем, хромом, міддю, а також сплави кольорових металів (алюмінієві, мідні). Для виливок дрібних деталей з алюмінієвих сплавів кокілі можуть виготовлятися з алюмінієво-силіцієвих сплавів.

Робочу поверхню кокілю і металевих стрижнів покривають спеціальними фарбами. Фарбування проводиться для захисту поверхні кокілю від дії рідкого металу і, отже збільшення терміну його використання. Крім того, фарбування регулює швидкість охолодження виливка: чим тонше шар фарби, тим більша тепловіддача і інтенсивніше процес кристалізації, і навпаки. Товщина шару фарби, що наноситься на робочу поверхню форми, складає 0,1...0,3 мм. Теплоізоляційну фарбу наносять на поверхні ливникової системи шаром 0,5...1 мм і

надливів – 2...3 мм. Надливи часто утепляють листовим азбестом.

Нагрівання кокілів перед початком роботи, а також підігрівання працюючих кокілів, призначених для отримання простих виливок, здійснюють газовими пальниками або пересувними електронагрівальними пристроями до відповідних температур (табл. 6.1). Нагрівання здійснюють для запобігання розтріскуванню робочої поверхні форми.

Таблиця 6.1 – Температури нагріву кокілів перед заливанням алюмінієвих сплавів

Вид виливка	Товщина стінки виливка, мм	Температура нагріву кокілів перед заливанням, °С
Тонкостінний, ребристий	1,6...2,1	400...420
Ребристий, корпусний	5,0...10,0	350...400
Простий, без ребер	до 8,0	250...350
Простий, без ребер	понад 8,0	200...250

Для лиття алюмінієвих сплавів в кокіль застосовують верхні, нижні, вертикально-щілинні ливникові системи. Верхня ливникова система забезпечує правильний тепловий режим форми і направлене тверднення виливка; витрата сплаву мінімальна. Проте при падінні струменя сплаву з великої висоти можливе його розбризкування, захоплення повітря і шлаків. Тому верхню ливникову систему зазвичай використовують для невеликих по висоті алюмінієвих виливок. Нижня ливникова система забезпечує плавне заповнення форми сплавом і послідовне витіснення повітря і газів, що утворюються, з порожнини форми. Недоліки такої системи – погіршення умов тверднення виливка (особливо високого) і сильне перегрівання кокілю в місці підведення сплаву. Для зменшення різниці температур по висоті виливка передбачають додатковий верхній живильник або проводять доливання гарячого сплаву в надливи. Стояк зазвичай роблять зігнутих, що сприяє плавному надходженню першої порції сплаву в порожнину форми і кращому відокремленню шлаків. Вертикально-щілинна ливникова система забезпечує направлене тверднення виливка і хороше заповнення високих форм. Недоліки такої системи – трудність її виконання в кокілі і видалення ливників з виливка, а також перегрівання ділянок кокілю, прилеглих до щілини. Для кращого відшлакування рекомендується надходження сплаву у форму через стояк у вертикальний колектор і щілину, далі – у порожнину форми. Цю ливникову систему застосовують для отримання високих тонкостінних виливок з алюмінієвих сплавів.

Для отримання складних великогабаритних виливок часто використовують комбіновані ливникові системи, що складаються з елементів описаних вище систем. Окремі елементи системи виконують як в самому кокілі, так і в стрижнях.

Для лиття в кокіль алюмінієвих сплавів застосовують ливникову систему, що розширюється:

$$S_{ст} < S_{шл} < S_{жив},$$

де $S_{ст}$, $S_{шл}$, $S_{жив}$ – сумарні площі перерізів стояків, шлаковловлювачів і живильників, $см^2$.

Співвідношення елементів ливникової системи для дрібних і середніх алюмінієвих виливок: $S_{ст} : S_{шл} : S_{жив} = 1:2:3$, а для крупних і складних виливок: $S_{ст} : S_{шл} : S_{жив} = 1:3:6$.

Порівняно з піщаними формами лиття в кокіль має ряд переваг: не потрібні формові суміші і модельно-опокове оснащення; підвищена розмірна точність і чистота поверхні виливка; високі якість і щільність металу виливка; висока продуктивність процесу; багаторазове використання ливарних форм; можливість механізації і автоматизації процесу; економне використання виробничих площ та ін. Підвищена швидкість кристалізації сплаву в кокілі перешкоджає розчиненню газів в рідкому металі та сприяє подрібненню структурних складових сплаву, внаслідок чого збільшуються механічні властивості, щільність і герметичність виливок.

До недоліків лиття в кокіль слід віднести високу трудомісткість виготовлення і вартість кокілю, тому їх застосовують лише в серійному і масовому виробництві; підвищену схильність до виникнення внутрішніх напруг у виливку через утруднену усадку та більш вузький порівняно з литтям у піщану форму інтервал оптимальних умов лиття для отримання якісного виливка. Підвищена теплопровідність форми може привести до неповного заповнення форми розплавленим металом через швидку втрату його рідкоплинності.

Еспериментальна частина

Прилади і матеріали: плавильна піч; графітошамотні тиглі; набір плавильних інструментів; термopара; набір кокілів; електронагрівник для підігріву кокілів; шихтові матеріали для виплавки алюмінієвого сплаву; набір фарб; набір слюсарного інструменту для виготовлення шліфів; шліфувальний папір; суміш азотної і соляної кислот (3:1); 10 %-ний розчин хлорної міді; захисні окуляри; рукавиці.

Порядок виконання роботи

Розрахувати шихту для отримання 1,0...1,5 кг алюмінієвого сплаву АЛ2. Кількість сплаву, шихтові матеріали і температури підігрівання кокілів задає викладач. Кожна бригада отримує індивідуальне завдання.

Ознайомитися з будовою кокілів, звернув особливу увагу на механізм рознімання форми, принцип дії виштовхувачів, конструкцію вентиляційних каналів. Провести контрольне збирання і розбирання кокілів для встановлення правильності і надійності взаємодії їх частин.

Підігріти кокілі електронагрівником або газовим пальником до температури, визначеної за даними табл. 6.1, і пофарбувати ті ділянки форми, де потрібно зменшити тепловідведення.

Завантажити підготовлену шихту в тигель, приготувати у печі алюмінієвий сплав АЛ2. Нагрівати розплав до 750 °С і обробити його хлоридом марганцю (0,1...0,15 %).

Встановити вплив температури кокілю на структуру алюмінієвого виливка. Для цього сплав нагріти до температури 720 °С та залити в кокіль, нагрітий до заданої викладачем температури (200, 300 і 400 °С).

Витягнути виливки з кокілів, охолодити їх до нормальної температури і розрізати за вказівкою викладача. Виготовити макрошліфи і оцінити вплив температури кокілю на структуру виливок. Середній розмір зерна виливка визначити методом випадкових січних. Протравити шліфи сумішшю азотної і соляної кислот (3:1) з додаванням 10 %-ого розчину хлорної міді. Визначити оптимальний режим заливання.

Результати визначення середнього розміру зерна виливок занести в табл. 6.2 та побудувати графічну залежність середнього розміру зерен від температури нагрівання кокілю.

Таблиця 6.2– Результати визначення середнього розміру зерна виливок

Температура кокілю, °С	Середній розмір зерна виливка, мм
200	
300	
400	

Вимоги до звіту по роботі

Звіт по роботі повинний містити:

- мету роботи, стислі теоретичні відомості про лиття в кокіль;
- розрахунок шихти для виплавки алюмінієвого сплаву АЛ2;
- схема і опис будови кокілю;
- послідовність технологічних операцій під час лиття сплавів у кокіль;
- таблиця з результатами визначення середнього розміру зерна виливок;
- графічну залежність середнього розміру зерен алюмінієвого виливка від температури нагрівання кокілю;
- висновки про залежність якості виливка від температури кокілю.

Контрольні запитання

1. У чому суть способу лиття в кокіль?
2. Як класифікують кокілі?
3. Які матеріали використовують для виготовлення кокілів?
4. Перелічіть основні переваги процесу лиття в кокіль порівнянно з литтям в піщану форму.
5. Для чого наносять фарбу на робочу поверхню кокілю?
6. Назвіть основні технологічні операції при литті в кокіль.
7. Для чого підігрівають кокіль перед заливанням металу?
8. Чим регулюють спрямованість тверднення виливка в металевих формах?
9. Які ливникові системи використовують під час лиття алюмінієвих сплавів у кокіль? Як обирають тип ливникової системи?
10. Як підтримується оптимальна температура кокілю?

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Курдюмов, А. В. Литейное производство цветных и редких металлов [Текст]: учебник / А. В. Курдюмов, М. В. Пикунов, В. М. Чурсин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1982. – 352 с. – Библиогр.: с. 351–352. – 6700 экз.
2. Цветное литье [Текст]: справочник / Н. М. Галдин, Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук и др.; под общ. ред. Н. М. Галдина. – М.: Машиностроение, 1989. – 528 с. – Библиогр.: с. 515–518. – 16000 экз. – ISBN 5–217–00396–0.
3. Корицький, Г. Г. Технологія ливарного виробництва [Текст]: навч. посіб. / Г. Г. Корицький, М. О. Маняк, С. Ю. Пасічник. – Донецьк: ДонНТУ, 2008. – 176 с. – Бібліогр.: с. 175. – 300 прим. – ISBN 978–966–377–057–4.
4. Лабораторные работы по технологии литейного производства [Текст]: учеб. пос. / А. В. Курдюмов, А. М. Михайлов, Б. В. Бауман и др.; под общ. ред. А. В. Курдюмова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с. – Библиогр.: с. 263. – 8700 экз. – ISBN 5–217–00857–1.
5. Титов, Н. Д. Технология литейного производства [Текст]: учебник / Н. Д. Титов, Ю. А. Степанов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 432 с. – 25000 экз.
6. Абрамов, Г. Г. Справочник молодого литейщика [Текст] / Г. Г. Абрамов, Б. С. Панченко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с. – Библиогр.: с. 317. – 40000 экз. – ISBN 5–06–001101–1.
7. Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини [Текст]: навч. посіб. / Т. М. Нестеренко, О. М. Нестеренко, Г. О. Колобов, В. П. Грицай. – К.: Вища шк., 2007. – 207 с. – Бібліогр.: с. 202–203. – 500 прим. – ISBN 978–976–642–354–5.
8. Литейное производство [Текст]: учебник / А. М. Михайлов, Б. В. Бауман, Б. Н. Благов и др.; под общ. ред. А. М. Михайлова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 256 с. – 18500 экз.
9. Степанов, Ю. А. Технология литейного производства. Специальные виды литья [Текст]: учебник / Ю. А. Степанов, Г. Ф. Баландин, В. А. Рыбкин; под ред. Ю. А. Степанова. – М.: Машиностроение, 1983. – 287 с. – Библиогр.: с. 284. – 22000 экз.

ДОДАТОК

Таблиця – Результати визначення середнього розміру зерна (D_c) і коефіцієнта однорідності (O)

Розмір сторін комірки, мм	Залишок на ситі, г	Залишок на ситі, %	Кількість часточок розміром менше сторін комірки сита, %
2,50	0	0	100
1,60	0	0	100
1,00	0,1	0,2	99,8
0,63	0,4	0,8	99,0
0,40	1,8	3,7	95,3
0,315	4,6	9,5	85,8
0,20	18,75	38,5	47,3
0,16	8,9	18,3	29,0
0,10	11,6	23,8	5,2
0,063	2,35	4,8	0,4
0,05	0,15	0,3	0,1
Піддон	0,05	0,1	0
Всього	50,00	100	–
$D_c = 0,206$	$4/3 D_c = 0,275$	$2/3 D_c = 0,137$	$O = 56$

Методичне видання

Т. М. Нестеренко

к.т.н., доцент

В. М. Очинський

ст. викладач

Г. В. Карпенко

асистент

**ТЕХНОЛОГІЯ І УСТАТКУВАННЯ ЛИВАРНОГО
ВИРОБНИЦТВА КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ**

**Методичні вказівки
до лабораторних занять**

для студентів ЗДІА

*спеціальності 8.05040102 “Металургія кольорових металів”
денної та заочної форм навчання*

Підписано до друку .05.2015 р. Формат 60x84 1/32. Папір офсетний.

Умовн. друк. арк. 2,7. Наклад 50 прим.

Замовлення №

Запорізька державна інженерна академія
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 2958 від 03.09.2007 р.

Віддруковано друкарнею
Запорізької державної інженерної академії
з оригінал-макету авторів

69006, м. Запоріжжя, пр. Леніна, 226

ЗДІА