

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський державний технічний університет
(ДДТУ)

Є. М. Сігарьов
М. А. Кащєєв



**ПРАКТИКУМ
З ДИСЦИПЛІНИ
«МЕТАЛУРГІЯ КОЛЬОРОВИХ
МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ»**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Кам'янське
«ДДТУ»
2018

УДК 669.2/8(075.8)

ББК 34.33я73

С 34

Рецензенти

Л. В. Камкіна — декан металургійного факультету
Національної металургійної академії
України, доктор технічних наук, професор

В. П. Лялюк — завідувач кафедри металургійних
технологій Криворізького металургійного
інституту, доктор технічних наук, професор

Д. М. Тогобицька — завідувач відділу фізико-хімічних
проблем металургійних процесів
Інституту чорної металургії
ім. З. І. Некрасова НАН України,
доктор технічних наук, професор

*Друкується за рішенням Вченої ради ДДТУ
Протокол № 8 від 11.09.2018*

Сігарьов Є. М.

Практикум з дисципліни «Металургія кольорових металів та сплавів» :
Навчальний посібник / Є. М. Сігарьов, М. А. Кащєєв — Кам'янське :
ДДТУ, 2018. — 112 с.

Практикум з дисципліни «Металургія кольорових металів та сплавів» складається з двох частин. У першій частині наведені відомості щодо теорії та технології виробництва кольорових металів та сплавів, приклади вирішення практичних завдань. Друга частина містить опис методики та порядок виконання лабораторних робіт з дисципліни.

Для студентів вищих навчальних закладів.

ISBN 978-966-175-175-9

УДК 669.2/8(075.8)

ББК 4.33я73

© Сігарьов Є. М., Кащєєв М. А.

© ДДТУ, 2018

ЗМІСТ

Вступ	5
РОЗДІЛ 1. ПРАКТИЧНІ РОБОТИ.....	6
1.Тема 1. Властивості металевих розплавів	6
Практична робота 1. Визначення вмісту компонентів у сплавах	11
2. Тема 2. Взаємодія розплавів із газами.....	13
Практична робота 2. Визначення розчинності газів та розкислювачів у сплавах.....	19
3. Тема 3. Взаємодія сплаву з футеровкою	22
Практична робота 3. Визначення умов затікання сплаву у пори вогнетриву	24
4. Тема 4. Рафінування сплавів	25
Практична робота 4. Визначення тривалості фільтрації сплавів	35
5. Тема 5. Основні положення розробки технології плавлення металів та сплавів	37
Практична робота № 5. Розробка технології отримання сплаву	40
6. Тема 6. Тверднення виливка	57
Практична робота № 6. Розрахунок умов тверднення виливку	59
РОЗДІЛ 2. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ.....	66
7. Лабораторна робота 1. Дослідження впливу типу ливникових систем та температури заливання сплаву на якість виливків з алюмінієвих сплавів	66
7.1.1. Загальні відомості	66
7.1.2. Порядок виконання роботи.....	70
7.1.3 Контрольні питання.....	72
Лабораторна робота 2. Дослідження впливу температури заливання і хімічного складу на ливарні властивості алюмінієвих сплавів	72
7.2.1. Загальні відомості.....	72
7.2.2. Порядок виконання роботи.....	74
7.2.3. Контрольні питання.....	77
Лабораторна робота 3. Дослідження впливу матеріа-	

лу форми на швидкість тверднення виливків	77
7.3.1. Загальні відомості	78
7.3.2. Порядок виконання роботи.....	78
7.3.3. Контрольні питання.....	80
Лабораторна робота 4. Дослідження впливу темпера-	
тури кокіля і сплаву на якість виливків	81
7.4.1. Загальні відомості.....	81
7.4.1.1. Основні операції технологічного процесу....	82
7.4.1.2. Особливості формування і якість виливків.	84
7.4.1.3. Ефективність виробництва і галузь	
застосування.....	86
7.4.1.4. Класифікація конструкцій кокілів	88
7.4.1.5. Вплив кокілю на властивості виливків	90
7.4.2. Порядок виконання роботи	91
7.4.3. Контрольні питання	92
Лабораторна робота 5. Дослідження впливу темпера	
тури сплаву на тріщиностійкість	92
7.5.1. Загальні відомості	92
7.5.2. Порядок виконання роботи.....	99
8. Правила техніки безпеки при виконанні лабораторних	
робіт	100
9. Методика виконання лабораторних робіт	101
9.1. Порядок проведення лабораторних робіт	101
9.2. Устаткування, інструмент, пристосування та	
матеріали	102
9.3. Зміст звіту	102
Перелік посилань.....	103
Додаток 1.....	105
Додаток 2.....	
Додаток 3.....	
Додаток 4.....	

ВСТУП

Кольорові метали і сплави мають велике значення для розвитку авіації, ракетобудування, радіоелектроніки техніки й інших технічних галузей. Практично без кольорових металів і сплавів у цей час неможливо побудувати ні однієї сучасної машини.

Перед промисловцями постає завдання поліпшення якості машин, що випускають, устаткування, приладів, підняття їхнього технічного рівня. Тому великого значення набуває поглиблення знань студентів з деяких питань технології виробництва, контролю якості кольорових сплавів.

Мета виконання практичних і лабораторних робіт - поглибити, розширити і закріпити теоретичні знання у ході засвоєння дисципліни «Металургія кольорових металів та сплавів».

При виконанні завдання студент набуває здатності самостійно застосовувати отримані знання, розвиває навички проведення досліджень і аналізує їх результати.

Матеріал навчального посібника, викладений у відповідності з діючою робочою програмою дисципліни «Металургія кольорових металів та сплавів», відповідає освітньо-професійній програмі для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 136 Металургія.

В розділах посібника узагальнено досвід викладання дисциплін «Теоретичні основи металургійних процесів», «Теорія та технологія виробництва металів», «Металургія кольорових металів та ливарне виробництво» на кафедрах металургії чорних металів та ливарного виробництва Дніпровського державного технічного університету.

Бібліографічний список джерел інформації, що були ключовими при створенні даного посібника, наведений у переліку посилань.

ЧАСТИНА 1. ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Тема 1. Властивості металевих сплавів

Чисельні значення густини металів та сплавів є необхідними для визначення маси литої деталі за її розмірами на кресленні, а густина у рідкому стані визначає масу сплаву для заповнення форми. Густина металів, які не зазнають поліморфних перетворень, зменшується з підвищенням температури. Зміни густини та об'єму сплавів, які пов'язані із температурою, є визначальними для розробки технології виробництва виливків.

Температура плавлення основних металів, які використовують на сучасному етапі, та їх густина наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Температура плавлення та густина металів

Метал	Атомна маса	$t_{пл.}$ °C	20 °C, $\rho_{тв},$ г/см ³	$t_{пл.}$ °C $\rho_{ж},$ г/см ³	$t_{пл} + 100$ °C $\rho_{ж},$ г/см ³	$(\rho_{тв} - \rho_{ж})$ $\rho_{тв}$ x100 %*1
1. Алюміній	27	660	2,70	2,38	2,35	6,5
2. Берилій	9	1285	1,85	1,69	—	—
3. Вісмут	209	271	9,80	10,0	9,92	-3,3
4. Вольфрам	184	3400	19,30	16,74	—	3,0
5. Галій	70	30	5,90	6,10	6,04	-3,5
6. Германій	73	937	5,30	5,50	5,44	-5,0
7. Залізо	56	1539	7,87	7,00	6,91	5,0
8. Золото	197	1063	19,30	17,35	17,25	5,0
9. Кадмій	112	321	8,64	8,02	7,95	4,3
10. Кальцій	40	840	1,54	—	—	—
11. Кремній	28	1420	2,35	2,53	2,50	-10,0
12. Літій	7	181	0,53	0,50	—	—
13. Магній	24	650	1,74	1,59	1,55	5,0
14. Марганець	55	1240	7,40	6,75	—	—
15. Мідь	64	1083	8,96	8,00	7,92	5,5
16. Молібден	96	2620	10,20	8,9	—	4
17. Натрій	23	98	0,97	—	—	—
18. Нікель	59	1455	8,90	7,90	7,78	5,3

19. Ніобій	93	2460	8,60	7,85	-	—
20. Олово	119	232	7,30	7,0	6,90	3,5
21. Осмій	190,2	3050	22,48	—	—	—
22. Ртуть	201	-39	13,55 * ²	13,70	13,46	3,7
23. Свинець	207	327	11,35	10,68	10,55	3,5
24. Срібло	108	961	10,50	9,35	9,26	4,0
25. Сурма	122	630	6,70	6,49	6,43	-1,0
26. Титан	48	1670	4,50	4,10	4,03	4,0
27. Хром	52	1815	7,15	6,30	—	6,0
28. Цинк	65	419	7,14	6,57	6,46	4,0
29. Цирконій	91	1850	6,50	6,0	—	5,0
* ¹ Зміна густини під час кристалізації. * ² У рідкому стані.						

Об'єм металу при нагріванні можливо визначити за виразом

$$V_t^{\text{ж}} = V_{\text{пл}}^{\text{ж}} [1 + \beta_{\text{ж}} (t - t_{\text{кр}})] \quad (1.1)$$

Для визначення густини металу використовують залежність

$$\rho_{\text{жт}} = \rho_{\text{жпл}} [1 - \beta_{\text{ж}} (t - t_{\text{кр}})] \quad (1.2)$$

Густина сплаву $\rho_{\text{сп}}$ може бути визначена за правилом адитивності, тобто за значеннями густини вихідних компонентів, з урахуванням їх вмісту в сплаві, з рівняння

$$100/\rho_{\text{сп}} = (X_A/\rho_A) + (X_B/\rho_B) + \dots, \quad (1.3)$$

де ρ_A, ρ_B, \dots — густина компонентів сплаву за заданої температури; X_A, X_B, \dots — їх вміст у сплаві, %.

Питомий об'єм сплаву може бути визначений наступним чином

$$100V_{\text{спл}} = X_A V_A + \dots + X_K V_K \quad (1.4)$$

Для процесу виготовлення металавих сплавів велике значення мають теплота плавлення, теплоємність, теплопровідність металів.

Дані щодо перерахованих вище властивостей наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Теплота плавлення (L), теплоємність (C), теплопровідність (λ) металів

Метал	Li	Sn	Pb	Zn	Mg	Al	Cu	Ni	Fe
L , кДж/кг	430	60	24	110	370	400	205	290	270
L , кДж/моль	3	7,1	5	7,1	8,9	10,8	13	17	16
C , кДж/кг К	4,3	0,27	0,14	0,48	1,38	1,1	0,50	0,64	0,7
C , Дж/моль К	30	32	30	31	33	29,7	32	33	40
$\lambda_{\text{рідк}}$, Вт/м К	44	30	16	60	-	70,0	170	-	25
$\lambda_{\text{тв}}$, Вт/м К	89	60	30	90	-	150	270	-	30

В'язкість рідини визначає силу опору, що виникає під час руху двох сусідніх її шарів з різними швидкостями. Розрізняють динамічну η і кінематичну в'язкість ν :

$$\eta = \nu / \rho, \quad (1.5)$$

де ρ - густина рідини.

У системі СІ одиницями виміру динамічної в'язкості є Паскаль на секунду, кінематичної в'язкості — квадратні метри на секунду. Значення динамічної в'язкості (при перегріві над точкою плавлення на 10—20 °С) наведені нижче:

Метал	Hg	Sn	Zn	Mg	Al	Cu	Ni	Fe
η , мПа·с	1,6	1,7	3,2	1,3	1,2	3,5	4,5	5,5

Тиск пари рідких металів зазвичай визначається за формулою:

$$\lg P = -A/T + B - C \cdot \lg t. \quad (1.6)$$

У таблиці 1.3 наведені значення сталих величин A , B і C для P , які виражені у Па, для деяких металів.

Таблиця 1.3. Значення сталих величин A , B та C

	A	B	C		A	B	C
Алюміній	16450	14,48	1,02	Кремній	20990	12,84	0,57
Залізо	19710	15,39	1,27	Магній	7550	14,91	1,41
Кадмій	5819	14,41	1,27	Марганець	13900	19,39	2,52
Кальцій	9600	14,67	1,21	Мідь	17650	15,51	1,27
Нікель	22400	18,07	2,01	Титан	23200	13,86	0,66
Олово	15500	10,35	—	Цинк	6670	14,12	1,13
Свинець	10130	13,28	0,99	Цирконій	30300	11,50	—
Срібло	14260	14,35	1,06				

Пара металів, як правило, складається з одноатомних часток. У парах таких елементів, як вуглець, кремній, сірка, є певна частка двоатомних і більш складних часток.

Електричний опір металів у рідкому стані перебуває в межах 20—150 мкОм·см. У таблиці 1.4 наведені величини електричного опору металів.

Для визначення маси одного молю сплаву, за складом сплаву у процентах за масою, використовують формулу, г / моль

$$M_{\text{спл}} = \frac{100}{\frac{X_A}{A} + \frac{X_B}{B} + \frac{X_C}{C}}, \quad (1.7)$$

де X_A , X_B , X_C ... - вміст компонентів (% по масі) ; A , B , C ... - мольні маси компонентів.

Мольна частка компоненту, наприклад A у сплаві $A + B + C$ визначається співвідношенням

Таблиця 1.4. Електричний опір металів, мкОм · см

Метал	твер.метал при 20 °С	твер.метал при $t_{пл.}$	Рідк.метал при $t_{пл.}$	Метал	твер.метал при 20 °С	твер.метал при $t_{пл.}$	Рідк.метал при $t_{пл.}$
Sn	11	23	50	Ag	1,6	8	17
Bi	110	500	150	Cu	1,7	10	21
Pb	19	50	100	Si	$10^3—10^6$	$10^2—10^3$	80
Zn	6	17	40	Ni	8	65	85
Sb	40	185	115	Fe	10	130	140
Mg	4	15	27	Ti	40	80	175
Al	2,6	11	24	Mo	5	85	—
Ge	10^8	10^3	70	W	5	100	130

$$N_A = \frac{XA/A}{\frac{XA}{A} + \frac{XB}{B} + \frac{XC}{C}} \quad (1.8)$$

Для переведення мольної частки у мольні відсотки необхідно помножити її на 100.

Для визначення вмісту компоненту A у сплаві $(A + C)$ (% по масі) використовують формулу

$$\% A_{\text{мас}} = \frac{A \cdot 100}{\Sigma(A + C)} \quad (1.9)$$

Для визначення вмісту компоненту A (% моль) у сплаві $(A + C)$ використовують вираз

$$\% A_{\text{моль}} = \frac{\%A_{\text{мас}}/A}{\%A/A + \%C/C}, \quad (1.10)$$

де A , C – атомні маси компонентів, $\% A$, $\% C$ – відсотковий вміст компонентів.

Атомні маси компонентів наведені у таблиці 1.1.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 1. Визначення вмісту компонентів у сплавах

Завдання 1.1. Визначити вміст (% по масі та % моль) кожного компоненту у сплаві, склад якого відповідає формулі A_mC_n .

Вихідні дані для вирішення завдання за варіантами наведені у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5. Вихідні дані для визначення вмісту компонентів у сплаві

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сплав	FeAl ₃	Ti ₃ Al	Al ₆ Mn	FeSi	Fe ₂ Ti	Mg ₂ Zn ₃	ZrZ n ₂	Mn Al	Mg ₂ Si
№ вар.	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Сплав	Mg ₄ Al 3	Mg ₂ Al ₃	Cu ₅ Zn ₈	CuZn	Cu ₃ P	Cu ₃₁ Sn ₈	Na Cl	Ni ₂ Si	Cr ₂ Ti

Завдання 1.2. Виготовлений сплав з 100 г сполуки A_mB_n та 100 г сполуки A_kC_d . Знайти склад сплаву у % по масі, % мол. та обчислити масу одного молю отриманого сплаву.

Вихідні дані для вирішення завдання наведені у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6. Вихідні дані для вирішення завдання

№ вар.	1	2	3	4	5	6
Формула сплаву	FeAl ₃ Ti ₃ Al	Ti ₃ Al TiAl	Al ₆ Mn MnAl	Fe Si Ni ₂ Si	Fe ₂ Ti FeSi	Mg ₄ Al ₃ Mg ₂ Al ₃

Завдання 1.3. Визначити тиск пари наступних металів:

- 3.1 ртуть; кремній; молібден
- 3.2 олово; кадмій; свинець
- 3.3 кремній; нікель; залізо.

Дані для вирішення завдання наведені у таблиці 1.7.

Таблиця 1.7. Дані для розрахунку тиску пари металів

Метал	$t_{пл},$ °C	$t_{кип},$ °C	Метал	$t_{пл},$ °C	$t_{кип},$ °C
Ртуть	-39	357	Марганець	1240	2100
Олово	232	2600	Кремній	1420	3200
Кадмій	321	770	Нікель	1455	2900
Свинець	327	1900	Залізо	1539	2900
Цинк	419	910	Титан	1670	3100
Магній	650	1100	Цирконій	1850	4300
Алюміній	660	2500	Хром	1875	2500
Кальцій	840	1500	Молібден	2620	4600
Мідь	1083	2500	Вольфрам	3400	5500

Запитання для самоконтролю

1. Які з перерахованих нижче металів відносять до групи легкоплавких : Al, Cu, Ti, W, Zr, Zn, Si, Pb ?

2. Які з вказаних нижче металів відносять до групи тугоплавких : Al, Cu, Ti, W, Zr, Zn, Si, Pb ?

3. Вкажіть метали, які мають високу електропровідність : Al, Au, Cu, Zr, Ti.

4. Наведіть назви металів, які мають :

- густину більшу за 10 г/см^3 ?
- густину меншу за $\leq 10 \text{ г/см}^3$?
- густину у межах від 6 до 9 г/см^3 ?
- густину до 2 г/см^3 ?
- температуру плавлення у межах $100\text{—}500 \text{ }^\circ\text{C}$?
- температуру плавлення у межах $500\text{—}1000 \text{ }^\circ\text{C}$?
- температуру плавлення у межах $1000\text{—}1500 \text{ }^\circ\text{C}$?
- температуру плавлення у межах $1500\text{—}2000 \text{ }^\circ\text{C}$?
- температуру плавлення у межах $2000\text{—}2500 \text{ }^\circ\text{C}$?
- температуру плавлення у межах $2500\text{—}3500 \text{ }^\circ\text{C}$?

5. Які з наведених металів будуть знаходитись у рідкому стані при 1000 °C : Fe, Mg, Mo, Ni, Pb, Ti, Sn, W, V, Zn, Zr ?

6. Які з наведених металів будуть знаходитись у рідкому стані при 500 °C : Ag, Al, Bi, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg ?

7. Які з наведених металів будуть знаходитись у рідкому стані при 700 °C : Cu, Fe, Mg, Mo, Ni, Pb, Ti ?

8. Які з наведених металів будуть знаходитись у рідкому стані при 1500 °C : Fe, Mg, Mo, Ni, Pb, Ti, Sn, W, V, Zn, Zr ?

9. Які з наведених металів будуть плавати на поверхні рідкого алюмінію : Cu, Mg, Si, Ti, Zn ?

10. У яких системах існує можливість отримання сплавів із густиною 7 г/см³ : Mg—Al; Pb—Cu; Cu—Ni; Al—Ti; Al—Cu ?

11. Які домішки мають властивість кипіти при введенні у рідку мідь : Al, Bi, Cd, Fe, Mn, Ni, P, Pb, Sn, Zn ?

12. Один і той же вилівок виготовляється з різних металів: Cu, Fe, Mg, Mo, Ni, Pb, Ti, Al, Bi, Cd, Os. З якого металу вилівок буде мати максимальну та мінімальну масу відповідно ?

13. Які з перерахованих металів можна розплавити у робочому просторі печі із температурою :

1) 900 °C; 2) 1500 °C; 3) 2600 °C.

Fe; V; Al; Bi; Mg; Pb; Sn; Ti; Zn ?

ТЕМА 2. ВЗАЄМОДІЯ РОЗПЛАВІВ ІЗ ГАЗАМИ

При контакті рідкого розплаву з газовим середовищем розвиваються процеси, які спрямовані на досягнення рівноваги у системі.

Взаємодія металевого розплаву з газовим середовищем може бути трьох типів:

- перший тип - розплав не вступає у взаємодію з газами та не розчиняє у собі газ (повна інертність). Така поведінка є характерною для усіх рідких металів у атмосфері інертних газів (аргон, гелій та інші). Практично повна інертність спостерігається між багатьма елементами та азотом (мідь - азот,

цинк - азот та інші), а також воднем (олово - водень, свинець - водень) та киснем (золото - кисень) ;

- другий тип – утворюється стала сполука метал – газ. Це можливо між киснем та рідким алюмінієм, магнієм, цинком, оловом. Розплав забруднюється частинками цих сполук ;

- третій тип - у розплаві утворюються розчини газу. Такий тип взаємодії спостерігається у багатьох системах метал - водень (Mg, Al, Cu, Ni, Fe), метал - кисень (Cu, Ni, Fe).

У цьому випадку можливі наступні три типи змін у складі та стані розплаву :

1. Газове середовище інертне стосовно рідкого металу, тому ані розчинення газу в розплаві, ані утворення будь-яких сполук не відбувається. Відсутність розчинення газу оцінюється з практичної точки зору. Сюди можна віднести випадки з досить малою розчинністю, яка не має значення для процесу плавлення металів. Відсутність взаємодії можна спостерігати між будь-яким металом і будь-яким інертним газом нульової групи періодичної системи Д. І. Менделєєва, а також у системах Cu—N, Ag—N, Sn—N.

2. При взаємодії рідкого металу з газом спостерігається значна розчинність газу в розплаві. Тут також мається на увазі значима на практиці розчинність, яка відчутно впливає на якість сплаву та визначає технологію плавки. У системах, де відбувається подібна взаємодія, в остаточному підсумку будуть існувати насичений газом рідкий розчин і газова фаза. Можливо також, що із досягненням граничної концентрації газу в рідкому розчині почнеться утворення хімічної сполуки між газом і металом. Для процесу плавлення визначальною обставиною є саме утворення розчину газу в рідкому металі. Даний тип взаємодії спостерігається в багатьох системах «метал—водень».

3. Взаємодія рідкого металу з газом виявляється в утворенні стійких хімічних сполук «метал—газ». Розчинність газу в рідкому металі в цих випадках така мала, що не має практичного значення. Подібного роду взаємодія спостерігається в багатьох системах «метал—кисень» (Al—O₂, Mg—O₂ та ін.).

Тип взаємодії рідкого металу з газом визначається природою металу та газу, температурою та тиском газу над розплавом. Для подвійної системи «метал—газ» характер взаємодії та фази, що утворюються, можна легко встановити із використанням відповідних діаграм стану.

Процес взаємодії рідкого металу з газами має декілька ступенів. Надходження молекул газу до поверхні рідкого металу забезпечується за допомогою молекулярної дифузії та конвективного масопереносу в ньому. Якщо тиск становить 10^4 Па і більше, масоперенос у газах здійснюється в основному конвекцією.

Наступна ступінь полягає в переході молекул газу на поверхню розплаву. Цей процес називається адсорбцією. За високих температур основна роль належить активованій адсорбції або хемосорбції, яка виражається не тільки в осіданні молекул газу на поверхні розплаву, але і у частковій їхній дисоціації на атоми. Про це свідчить велике значення теплоти хемосорбції, близьке до теплоти дисоціації двохатомних газів.

Атоми газу, які адсорбовані на поверхні розплаву, готові як до утворення молекул хімічної сполуки «метал—газ», так і для дифузії в глибину розплаву. Якщо взаємодія полягає у виникненні нерозчинній в розплаві сполуки, то на поверхні розплаву починає наростати шар цієї сполуки. Швидкість взаємодії визначається, крім інших обставин, суцільністю цього шару, яку можна оцінити, порівнюючи об'єми сполуки, що утворюється, і металу, що витрачається на її утворення, з урахуванням стехіометрії сполуки та густини металу і сполуки.

Взаємодія рідких металів з воднем, киснем і азотом.

Водень становить основну частку газів, які виявляються в розчиненому стані в металах. Головне джерело водню, що потрапляє в метали під час плавлення — волога, яка з'являється в результаті згоряння вуглеводнів природного газу й нафти. Вона адсорбована на поверхні металевих матеріалів, що підлягають плавленню, міститься у шлаках, флюсах, у свіжій футеровці

печей і ковшів. Волога також адсорбована на поверхні плавильно-ливарного інструменту.

При взаємодії металевого розплаву з вологою відбувається оксидація металу й, відповідно, відновлення водню. Іншим джерелом водню під час плавлення є вуглеводні, що містяться в газоподібному та рідкому паливі. Найпростіший з них — метан помітно дисоціює вище 500 °С з виділенням атомарного водню. Відносно водню розчинність

$$\lg \Gamma = \frac{1}{2} \lg P_{\text{H}_2} + A - B/T \quad (2.1)$$

(при цьому розчинність водню [H] виражена в см³/100 г, тиск у Па) коефіцієнти *A* і *B* мають наступні значення (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Значення коефіцієнтів A і B

Метал	Al	Cu	Ni	Fe	Ti
<i>A</i>	0,296	-0,101	-0,2	-0,183	-0,69
<i>B</i>	2760	2270	1176	1160	-2460

З наведених даних видно, що потенційне пересичення при кристалізації найбільше в алюмінію. Отже, для алюмінію найбільш ймовірне ураження газовою пористістю водневого походження, незважаючи на те, що він має найменшу абсолютну розчинність гідрогену в рідкому стані.

Розчинність водню (при $p_{\text{H}_2} = 10^5$ Па), см³ / 100 г наведена у таблиці 2.2.

Багато легкоплавких металів у рідкому стані поглинають таку малу кількість водню, що цей газ для них може вважатися практично нейтральним.

У наведеному нижче ряді взаємовідношення елементів з воднем позначене знаками «+» і «-».

Таблиця 2.2. Розчинність водню в металах, см³/100 г при 1000 °С

Метал	Mg	Al	Cu	Ni	Fe	Ti
Рідкий за $t_{\text{пл}} + 100$ °С	40	1	7	45	30	1200
Рідкий при $t_{\text{пл}}$	30	0,7	5	40	24	1000
Твердий при $t_{\text{пл}}$	20	0,05	3	20	12	5000 ^{*1}
Коефіцієнт пересичення	0,5	13	0,67	1	1	—

Знак «+» означає, що даний метал у рідкому стані розчиняє водень у практично значимих кількостях. Знак «-» свідчить про те, що розчинністю водню в даному металі можна зневажати:

Hg Sn Bi Cd Pb Zn Mg Al Ag Cu Mn Ni Fe Ji V Ti
 - - - - - - + + + + + + + + +

Легкоплавкі метали від ртуті до цинку практично не розчиняють водень. Отже, атмосфера цього газу для них під час плавлення нешкідлива з точки зору насичення ним.

Усі інші метали, починаючи з магнію, розчиняють водень, який під час їх плавлення може наситити розплав і викликати потім небажані наслідки.

Розчинність водню у мідному сплаві визначають за виразом:

$$\lg [H]_{\text{спл}} = \lg [H]_{\text{Cu}} - \sum e_n^{x_i} x_i, \quad (2.2)$$

де $[H]_{\text{спл}}$ – рівноважна розчинність водню у сплаві, см³/100 г за розрахунковою температурою та $P_{\text{H}_2} = 0,01$ МПа;

$[H]_{\text{Cu}}$ – розчинність водню у міді, см³/100 г;

e_n – коефіцієнт активності водню у мідному сплаві для i -го компонента (значення $\lg i$ -го компонента наведені у таблиці 2.3);

x_i – вміст i -го компонента у сплаві, %.

Приймаємо, що розчинність водню у міді знаходиться у межах від 6 до 8 см³ / 100 г металу.

У такому випадку,

$$\text{при } 6,5 \text{ см}^3 / 100 \text{ г } \lg [H]_{\text{Cu}} = \lg 6,5 = 0,8129$$

Таблиця 2.3. Значення коефіцієнту активності i -го компоненту ($e_n^{x_i}$)

| КОМПОНЕНТ | Sn | Zn | Pb | Ni | Al | Si | P |
|-------------|-------|-------|------|--------|-------|-------|-------|
| $e_n^{x_i}$ | 0,016 | 0,012 | 0,03 | -0,026 | 0,046 | 0,042 | 0,088 |

при $7,0 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$ $\lg 7,0 = 0,84509$

при $8,0 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$ $\lg 8,0 = 0,90309$.

Реакцію з киснем можна представити у вигляді :



Об'єм металу, який бере участь у реакції становитиме

$$V_{\text{Me}} = m\text{Me} / \rho_{\text{Me}m}, \quad (2.4)$$

а об'єм оксиду

$$V_{\text{Me}m\text{O}_n} = (m\text{Me} + n\text{O}) / \rho_{\text{Me}m\text{O}_n}, \quad (2.5)$$

де Me, O - мольні маси металу та кисню; $\rho_{\text{Me}m}$, $\rho_{\text{Me}m\text{O}_n}$ – густина металу та оксиду (див. таблицю 2.4).

Співвідношення об'ємів оксиду та металу становитиме :

$$f = (m\text{Me} + n\text{O}) \rho_{\text{Me}m} / m\text{Me} \rho_{\text{Me}m\text{O}_n}, \quad (2.6)$$

Якщо величина f більша за одиницю, то цей метал у рідкому стані, за наявності атмосфери яка містить кисень, покривається щільною плівкою, що припиняє процес взаємодії із газом.

Розкислення проводиться при плавленні тих металів і сплавів, які здатні, перебуваючи в рідкому стані, розчинити кисень і окислювати у розчиненому вигляді.

Таблиця 2.4. Густина оксидів деяких металів

| Формула | Густина,
г/см ³ | Формула | Густина,
г/см ³ | Формула | Густина,
г/см ³ | Формула | Густина,
г/см ³ |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Ag ₂ O | 7,25 | Ga ₂ O | 4,77 | Na ₂ O ₂ | 2,60 | Tl ₂ O | 9,52 |
| AgO | 7,44 | Ga ₂ O ₃ | 5,88 | NbO | 7,26 | UO ₂ | 10,95 |
| Al ₂ O ₃ | 3,96 | GeO | 4,82 | TiO ₂ | 4,25 | VO | 5,76 |
| Au ₂ O ₃ | 4,81 | GeO ₂ | 4,70 | NiO | 7,45 | V ₂ O ₃ | 4,87 |
| B ₂ O ₃ | 1,84 | HgO | 11,08 | OsO ₄ | 4,91 | VO ₂ | 4,34 |
| BaO | 5,72 | HfO ₂ | 9,68 | PbO | 9,51 | V ₂ O ₅ | 3,36 |
| BaO ₂ | 4,96 | In ₂ O | 6,99 | PbO ₂ | 9,33 | WO ₂ | 12,11 |
| BeO | 3,01 | In ₂ O ₃ | 7,18 | Pb ₃ O ₄ | 8,79 | WO ₃ | 7,19 |
| Bi ₂ O ₃ | 8,90 | IrO ₂ | 3,15 | PdO | 8,31 | Y ₂ O ₃ | 4,84 |
| Bi ₂ O ₅ | 5,10 | K ₂ O | 2,32 | PtO ₂ | 10,2 | ZnO | 5,56 |
| CaO | 3,40 | K ₂ O ₂ | 2,18 | PuO | 13,8 | ZrO ₂ | 5,68 |
| CaO ₂ | 3,24 | KO ₂ | 2,14 | ReO ₃ | 6,90 | SnO | 6,45 |
| CdO | 8,15 | Na ₂ O | 2,27 | RuO ₄ | 3,29 | SnO ₂ | 7,01 |
| CeO ₂ | 7,30 | La ₂ O ₃ | 6,51 | Sb ₂ O ₃ | 5,19 | Ta ₂ O ₅ | 8,53 |
| CoO | 6,23 | Li ₂ O | 2,01 | Sb ₂ O ₅ | 7,86 | Tc ₂ O ₇ | 4,23 |
| Co ₂ O ₃ | 6,07 | MgO | 3,58 | Sc ₂ O ₃ | 3,80 | TeO ₂ | 6,02 |
| Cr ₂ O ₃ | 5,21 | MnO | 5,18 | SiO ₂ | 2,65 | ThO ₂ | 9,70 |
| CrO ₃ | 2,80 | Mn ₂ O ₃ | 4,55 | FeO | 5,70 | Ti ₂ O ₃ | 4,60 |
| Cu ₂ O | 5,95 | MnO ₂ | 5,03 | Fe ₂ O ₃ | 5,25 | TiO ₂ | 4,25 |
| CuO | 6,45 | Mn ₃ O ₄ | 4,72 | Fe ₃ O ₄ | 5,20 | MoO ₃ | 4,69 |

Тому залізо з невеликим вмістом вуглецю та марганцю, сплавів систем «залізо–нікель», «нікель–мідь», «мідь–золото», «мідь–срібло», чиста мідь та срібло під час плавки обов'язково розкислюють. Сплави міді з такими активними металами, як Mg, Zn, Al, Cr, Zr, майже не здатні розчиняти кисень і для них розкислення не має сенсу. Сплави на основі алюмінію, магнію, цинку, олова, свинцю, ніколи не розкислюють. Кисень присутній в розплавах цих металів і в їх сплавах у зв'язаному стані у вигляді нерозчинних неметалевих включень.

Розкислення здійснюється кількома способами :

1. Осадкове або глибинне (вводиться елемент-розкислювач).
2. Контактне (використовують вуглець або карбід кальцію).

ПРАКТИЧНА РОБОТА 2. Визначення розчинності газів та розкислювачів у сплавах

Завдання 2.1. Визначити розчинність водню у мідному сплаві за даними, наведеними у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5. Дані для розрахунку розчинності водню у сплаві

| №з/п | Марка сплаву | [H] _{cu} | №з/п | Марка сплаву | [H] _{cu} |
|------|--------------|-------------------|------|--------------|-------------------|
| 1 | Бр010Ц2 | 6,0 | 11 | ЛЦ40С | 6,0 |
| 2 | Бр010Ф1 | 6,5 | 12 | ЛЦ40Мц1,5 | 6,5 |
| 3 | Бр010С10 | 7,0 | 13 | ЛЦ43Мц3Ж | 7,0 |
| 4 | Бр05Ц5С5 | 7,5 | 14 | ЛЦ44Мц3А | 7,5 |
| 5 | Бр03Ц7С5Н1 | 8,0 | 15 | ЛЦ38Мц2С2 | 8,0 |
| 6 | БрА9Мц2 | 6,0 | 16 | ЛЦ30А3 | 6,0 |
| 7 | БрА9Ж3 | 6,5 | 17 | ЛЦ23АЖМц | 6,5 |
| 8 | БрА10Ж3Мц2 | 7,0 | 18 | ЛЦ16К4 | 7,0 |
| 9 | БрА10Ж4Н4 | 7,5 | 19 | БрК3Мц | 7,5 |
| 10 | БрА10Ж4Н4 | 8,0 | 20 | БрА9Ж4 | 8,0 |

Завдання 2.2. Визначити розчинність водню в металі для різних температур за даними, наведеними у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6. Дані для розрахунку розчинності водню в металі

| Метал | Al | Cu | Ni | Fe | Ti |
|---------------------|-----|------|------|------|------|
| $t, ^\circ\text{C}$ | 700 | 1200 | 1500 | 1550 | 1670 |
| | 900 | 1300 | 1600 | 1650 | 1750 |

Завдання 2.3. Визначити співвідношення об'ємів оксиду та металу та зробити висновок щодо процесу оксидзації металу у рідкому стані в атмосфері, що містить кисень, за даними таблиці 2.7.

Таблиця 2.7. Дані для визначення співвідношення об'ємів - (f) оксиду та металу

| Варіант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| метал | Al | Cu | Ni | Fe | Ti | Mn | Pb | Sn | Au |

Завдання 2.4. Визначити кількість розкислювача на 100 кг мідного сплаву за даними таблиці 2.8.

Таблиця 2.8. Дані для розрахунку кількості розкислювача для мідного сплаву

| № варіанту | Вміст у сплаві Cu_2O , % | Розкислювач (лігатура) | Вміст розкислювача у лігатурі, % |
|------------|--|------------------------|----------------------------------|
| 1 | 0,1 | Cu-P | 5 |
| 2 | 0,15 | Cu-P | 10 |
| 3 | 0,2 | Cu-P | 8 |
| 4 | 0,3 | Cu-P | 9 |
| 5 | 0,35 | Cu-P | 12 |
| 6 | 0,4 | Cu-Al | 30 |
| 7 | 0,45 | Cu-Al | 25 |
| 8 | 0,45 | Cu-Al | 40 |
| 9 | 0,17 | Cu-Al | 38 |
| 10 | 0,5 | Cu-Al | 50 |
| 11 | 0,21 | Cu-Al | 45 |
| 12 | 0,22 | Cu-Si | 10 |
| 13 | 0,36 | Cu-Si | 25 |
| 14 | 0,48 | Cu-Si | 20 |
| 15 | 0,43 | Cu-Si | 12 |

Приклад розрахунку.

У розплаві вміст Cu_2O дорівнює 0,3 %.

1. Визначаємо кількість кисню у 100 кг розплаву з урахуванням того, що окислення міді здійснюється за реакцію



де Cu_2O – вміст оксиду міді у розплаві, %; 16 – ат. маса кисню; 144 – ат. маса Cu_2O .

$$[\text{O}] = \frac{0,3 \cdot 16}{144} = 0,0333 \% \text{ або } 0,0333 \text{ кг на } 100 \text{ кг сплаву.}$$

2. Для зв'язування усього кисню необхідно ввести розкислювач - фосфор (приймаємо лігатуру Cu-P, 10 % P) з урахуванням реакції



Масу розкислювача (фосфору) визначаємо за формулою

$$M_{\text{розк}} = \frac{[\text{O}] \cdot 62}{80} \quad (2.9)$$

де 62 – ат. маса 2P; 80 – ат. маса 5[O].

$$M_{\text{розк}} = 0,0333 \cdot 62 / 80 = 0,0258 \text{ кг на } 100 \text{ кг.}$$

3. Визначаємо кількість лігатури з урахуванням відсоткового вмісту фосфору у лігатурі (10 % P) та з урахуванням додаткових втрат (15 %) за формулою

$$Q_{\text{лігатури}} = \frac{M_{\text{розк}} \cdot 100}{\% \text{ розк.}} \cdot 1,15 = 0,297 \text{ кг.} \quad (2.10)$$

ТЕМА 3. ВЗАЄМОДІЯ СПЛАВУ З ФУТЕРОВКОЮ

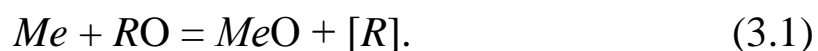
Матеріали, з якими стикаються рідкі метали, перебуваючи в плавильних печах і тиглях, можна розділити на чисто оксидні, оксидно-графітові, чисто графітові, карборундові, металічні.

Температура плавлення та густина деяких оксидів наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Температура плавлення та густина оксидів

| Оксид | SiO ₂ | MgO | Al ₂ O ₃ | CaO | Cr ₂ O ₃ | ZrO ₂ |
|------------------------------------|------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------------------|
| $t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$ | 1730 | 2800 | 2050 | 2600 | 2250 | 2650 |
| $t_{\text{розм.}}, ^\circ\text{C}$ | 1650 | 2000 | 2000 | 1900 | 1800 | 2000 |
| $\rho, \text{г/см}^3$ | 2,3 | 3,6 | 3,9 | 3,3 | 5,2 | 5,6 |

Найнебезпечнішою є взаємодія металевих розплавів з оксидними вогнетривкими матеріалами за реакцією :



Відновлений елемент розчиняється в металевому розплаві та забруднює його. Оксид металу, що утворюється, може розчинитися в розплаві, залишатися у вільному вигляді або ж утворювати сплав з вогнетривким оксидом. В результаті такої взаємодії руйнується футеровка і розплав забруднюється. У табл. 3.2 наведені вогнетривкі матеріали, що складаються із сумішей оксидів; вказано їх склад і вогнетривкість.

Таблиця 3.2. Склад вогнетривких оксидних матеріалів, %

| Матеріал | SiO ₂ | MgO | Al ₂ O ₃ | ZrO ₂ | Cr ₂ O ₃ | CaO | Вогнетривкість, С |
|----------------|------------------|-------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-----|-------------------|
| Динас | ≥ 95 | ≤ 1 | ≤ 1 | — | — | ≤ 1 | 1600 / 1700 |
| Шамот | 72—60 | — | 28—40 | — | — | — | 1300 / 1600 |
| Високоглинисті | 20—55 | — | 80—45 | — | — | — | 1500 / 1900 |
| Магнезит | — | 90 | — | — | — | 10 | 1550 / 1800 |
| Хромомагнезит | ≤ 10 | 45—50 | ≤ 5 | — | 30—35 | ≤ 5 | 1500 / 1900 |
| Корунд | ≤ 1 | ≤ 1 | ≥ 95 | — | — | ≤ 1 | 1700 / 1900 |
| Циркон | 32 | — | — | 65 | — | ≤ 5 | 1700 / 1900 |

Примітка. У чисельнику — початок деформації, у знаменнику — втрата міцності

Хімічна взаємодія розплаву з футеровкою і змочування її розплавом викликають так звану металізацію футеровки. Зовні це виражається в тому, що шар футеровки, суміжний із розплавом, змінює свій колір, суттєво зростає його фізична густина. Явище, що відбувається, можна представити в такий спосіб. Якщо розплав хімічно не реагує з футеровкою, то металізація відбувається тільки за рахунок того, що розплав просочує

пористу футеровку. За умови поганого змочування футеровки розплавом крайовий кут $\theta > 90^\circ$. Це значить, що розплав буде затікати в пору радіусом r тільки під надлишковим тиском :

$$p = 2\sigma \cdot \cos (180 - \theta) / r, \quad (3.2)$$

де σ — поверхневий натяг розплаву. Цей надлишковий тиск визначається стовпом розплаву висотою h :

$$p = \rho g h, \quad (3.3)$$

де ρ — густина розплаву; g — прискорення вільного падіння.

$$h = 2\sigma \cdot \cos (180 - \theta) / r \cdot \rho g \quad (3.4)$$

Під час роботи подібних матеріалів на повітрі графіт у поверхневому шарі досить швидко вигоряє, внаслідок чого поверхня залишається майже чисто оксидною. Але все ж змочування вогнетривких матеріалів, що містять вуглець, металевими розплавами є значно меншим, ніж чисто оксидних. Основна особливість матеріалів, що містять вуглець, полягає в можливості розчинення вуглецю в металевому розплаві. Шамотно-графітові тиглі зазвичай здатні працювати лише до 1400°C , тому їх використовують для плавлення цинку, алюмінію, міді та їх сплавів, а також сплавів на основі золота та срібла.

При змочуванні футеровки розплавом

$$h = 2\sigma \cdot \cos \theta / r \cdot \rho g, \quad (3.5)$$

де σ — міжфазна енергія на межі расплав – газова фаза; θ - кут змочування; r - радіус капилляру; ρ - густина сплаву.

У зв'язку з тим, що під час змочування кут θ наближається до нуля, то

$$h = 2\sigma \cdot / r \cdot \rho g. \quad (3.6)$$

ПРАКТИЧНА РОБОТА 3. Визначення умов затікання сплаву у пори вогнетриву

Завдання 3.1. Визначити висоту при якій незмочуваний сплав розпочне затікати у пору радіусом r . Дані для розрахунку наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Дані для розрахунку висоти підйому металу

| | | | | | |
|----------|------|-------|-------|--------|-------|
| сплав | АК7 | БрС10 | Мл3 | Бр А10 | ЛЦ40С |
| r , мм | 0,01 | 0,02 | 0,015 | 0,025 | 0,002 |

Завдання 3.2. Визначити висоту при якій незмочуваний сплав розпочне затікати у пору радіусом r . Дані для розрахунку наведені в таблицях 3.4, 3.5.

Таблиця 3.4. Дані для розрахунку висоти затікання сплаву

| | | | | | |
|----------|-------|--------|-------|----------|---------|
| сплав | АК5М2 | БрО4Ц3 | Мл5 | Бр А10Ж4 | ЛЦ40Мц3 |
| r , мм | 0,015 | 0,025 | 0,025 | 0,035 | 0,0015 |

Таблиця 3.5. Поверхневий натяг металів при температурі плавлення*)

| | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|
| метал | Al | Cu | Mg | Pb | Si | Ti | Zn | Sn | Cr |
| σ , мДж/м ² | 914 | 1351 | 569 | 480 | 860 | 1390 | 811 | 526 | 1608 |

*) Еременко В.Н. Украинский химический журнал. т. XXVIII. Вып.4. 1969. С.341.

ТЕМА 4. РАФІНУВАННЯ СПЛАВІВ

У металевих розплавах завжди присутні домішки. Це домішки газів, металів і елементів, що перебувають у розчиненому стані. Значну частку становлять домішки, що також перебувають у розчині. Нарешті, певна кількість домішок перебуває в розплаві у вигляді нерозчинних сторонніх часток. Зустрічаються також карбіди, нітриди, оксікарбіди, карбонітриди. З цієї причини частки нерозчинних домішок називають

неметалевими включеннями. Прийнято називати екзогенними ті неметалеві включення, які потрапили в розплав внаслідок механічного захвату. Екзогенними включеннями є частки футеровки, частки матеріалу ливарної форми, захоплені струменем розплаву під час заливання, частки шлаків, флюсу та інших сторонніх матеріалів, що потрапили в розплав при перемішуванні й розливанні або занесені разом із шихтою. Іншу частину неметалевих включень називають ендегенними, підкреслюючи, що вони з'явилися в результаті фізико-хімічних процесів за участю самого розплаву. Більшу частку ендегенних неметалевих включень становлять продукти розкислення розплавів. Нарешті, ендегенні включення можуть самостійно виникнути в розплаві, який містить розчинні домішки, під час його охолодження та кристалізації.

Для видалення неметалевих включень застосовують різні методи рафінування.

У загальному випадку, методи рафінування діляться на адсорбційні й неадсорбційні. Перші порушують рівновагу в системі тільки в тих зонах розплаву, через які проходить абсорбент, а другі - в усьому обсязі.

До адсорбційних методів належить обробка розплаву газами (аргоном, азотом, хлором та ін.), хлористими солями, флюсове рафінування, фільтрація через активні (переплавлені евтектичні суміші хлористих солей магнію, натрію, кальцію і ін.) і інертні (склоткань, металеві сітки та ін.) фільтри.

До неадсорбційних методів рафінування відносяться відстоювання, обробка розплавів ультразвуком, вакуумування, дегазація постійним електричним струмом, обертовим магнітним полем, віброімпульсна дегазація розплаву та ін.

Рафінування окисленням застосовується у тих випадках, коли сплав здатний розчиняти кисень. Цим методом можна очистити розплав від домішок, які мають більшу спорідненість до кисню, ніж основний компонент сплаву, який піддається рафінуванню, за умови що оксиди домішок не розчиняються в розплаві. Даний метод застосовують для очищення міді від свинцю, миш'яку, вісмуту, сурми, а нікелю — від кремнію, магнію й марганцю.

Рафінування флюсуванням застосовують у тому випадку, коли домішка розчиняється у флюсі або взаємодіє з ним, утворюючи леткі сполуки або такі, що легко шлакуються чи розчиняються в основному металі. Прикладом такого способу рафінування є очищення алюмінієвих сплавів від магнію кріолітом під час виробництва вторинного алюмінію.

Вакуумну дистиляцію використовують для видалення тих домішок, які мають більший тиск пари, ніж метал, який піддається рафінуванню. Цей спосіб широко застосовують під час рафінування алюмінієвих сплавів від магнію й цинку.

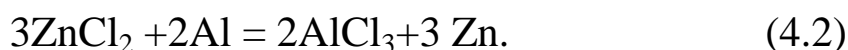
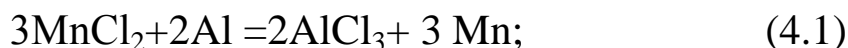
Нерозчинні домішки можна видаляти відстоюванням, продувкою газами, вакуумуванням, обробкою флюсами й шлаками, фільтруванням. Усі ці способи називають єдиним терміном — рафінуванням розплавів.

Відстоювання розплаву, як спосіб рафінування, засноване на різниці густини розплаву та матеріалу, що становить нерозчинні частки. Дуже важливо забезпечити можливість укрупнення часток нерозчинних домішок. Цього можна досягти за помірних (10—50 см/с) швидкостях перемішування.

Рафінування розплавів шляхом продування газами засноване на флотаційній дії бульбашок газу стосовно часток нерозчинних домішок, що перебувають у розплаві. Бульбашки нерозчинного в розплаві газу, що вводиться, прилипають до сторонніх включень, що рухаються назустріч, і виносять їх на поверхню розплаву. Бажано, щоб розплав безупинно перемішувався з невеликою інтенсивністю, що полегшує винесення бульбашок до його поверхні. Продувка газами дозволяє видаляти як великі, так і дрібні включення радіусом близько 1—5 мкм. Для продувки зазвичай використовують аргон і азот. Застосовують також хлор, який додають до аргону або азоту при рафінуванні алюмінієвих сплавів. Хлор руйнує оксидну плівку, що виникає на внутрішній поверхні газової бульбашки, за рахунок чого поліпшується прилипання бульбашок до частинок домішок.

Замість газів використовують також легкі тверді сполуки — хлориди алюмінію й марганцю, гексахлоретан (для рафінування алюмінієвих сплавів), хлористий цинк (для алюмінієвих сплавів, що містять цинк), хлористий амоній (для цинкових і свинцево-олов'яних сплавів).

Гексахлоретан C_2Cl_6 , хлористий алюміній $AlCl_3$, хлористий амоній NH_4Cl сублімуються під час обробки розплавів без розкладання, тому що мають низьку температуру сублімації. Хлориди марганцю та цинку вступають у взаємодію з розплавом:



Тому фактично відбувається продування розплаву парами хлориду алюмінію.

Рафінування розплавів обробкою флюсами та шлаками засноване на переході часток нерозчинних домішок у шлак або флюс в результаті розчинення або змочування. Для підвищення хімічної активності до складу рафінувальних шлаків і флюсів уводять підвищену кількість фтористих солей і оксиду натрію (у вигляді соди Na_2CO_3).

У таблиці 4.1 наведені властивості деяких солей найбільш часто вживаних для захисних флюсів та інших цілей при плавці металів.

Флюси можуть містити такі фтористі солі : криоліт (Na_3AlF_6); фторид кальцію (CaF_2); силікофторид натрію (Na_2SiF_6). Їх вміст у флюсах може досягати 20 %. Додавання у флюси компонентів, що містять кисень, таких як KNO_3 , забезпечує виділення тепла. Кисень, який звільнився при розкладанні нітратів, реагує із утворенням оксиду Al_2O_3 і виділенням значної кількості тепла. Це локально підвищує плинність, сприяючи відділенню металевого алюмінію від оксидів.

Деякі тверді флюси розкладаються на хлор, вуглекислий газ CO_2 або газоподібний AlF_3 . Якщо ці флюси розміщують під поверхнею алюмінієвого розплаву, вони утворюють бульбашки, які видаляють водень.

Найбільш відомим флюсом, що виділяє газ, є гексахлоретан C_2Cl_6 . Він утворює гази Cl_2 та $AlCl_3$.

Таблиця 4.1. Властивості хлоридів і фторидів, які застосовуються під час плавки та обробки металевих розплавів ($G = A + BT$, кДж / моль сполуки)

| Сполука | Властивості | | | Коефіцієнти | |
|----------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-------------|--------|
| | $t_{пл}, ^\circ C$ | $t_{кип}, ^\circ C$ | $\rho^{*}), г/см^3$ | A | B |
| AlCl ₃ | 180 (возг.) | — | 2,4 | -699 | +0,168 |
| BaCl ₂ | 960 | 1830 | 4,0 | -861 | +0,126 |
| C ₂ Cl ₆ | 187 (возг.) | — | 2,1 | — | — |
| CaCl ₂ | 780 | 1650 | 2,5 | -797 | +0,114 |
| KCl | 770 | 1400 | 2,0 | -436 | +0,083 |
| KCl · MgCl ₂ | 480 | — | 1,7 | -1095 | — |
| LiCl | 610 | 1350 | 2,1 | -409 | +0,058 |
| MgCl ₂ | 710 | 1420 | 2,3 | -641 | +0,090 |
| MnCl ₂ | 650 | 1200 | 3,5 | -467 | +0,117 |
| NaCl | 800 | 1450 | 2,2 | -407 | +0,072 |
| NH ₄ Cl | 338 (возг.) | — | 1,5 | — | — |
| ZnCl ₂ | 300 | 730 | 2,9 | -416 | +0,108 |
| AlF ₃ | 1040 | 1250 | 3,1 | -1350 | +0,105 |
| BaF ₂ | 1350 | 2250 | 4,7 | -1200 | +0,100 |
| CaF ₂ | 1420 | 2500 | 3,2 | -1215 | +0,070 |
| KF | 860 | 1500 | 1,6 | -563 | +0,067 |
| K ₃ AlF ₆ | 985 | — | 2 | — | — |
| LiF | 850 | 1670 | 2,3 | -1765 | +0,113 |
| MgF ₂ | 1250 | 2250 | 3 | -1105 | +0,060 |
| NaF | 1000 | 1700 | 2,6 | -551 | +0,055 |
| Na ₃ AlF ₆ | 1000 | — | 2,9 | -1650 | — |

* При 20⁰C

Флюси для рафінування сплавів повинні володіти рядом властивостей, які визначають їх ефективність:

- температура плавлення флюсу повинна бути нижча за температуру сплаву в період розливання, тобто флюс повинен бути рідкий;

- густина рідких флюсів і шлаків на їх основі повинна бути менша за густину рідкого металу для спливання їх на поверхню металу в ковші або печі;

- в'язкість флюсових систем повинна бути невелика, і мало відрізнятися від в'язкості розплаву;
- флюси повинні добре змочувати неметалеві включення або розчиняти їх;
- гігроскопічність флюсів повинна бути якомога меншою для запобігання можливому забрудненню сплаву воднем;
- флюси повинні легко видалятися з поверхні розплаву.

Рафінування шляхом фільтрування є одним з найбільш діючих способів видалення з розплаву часток нерозчинних домішок.

Для очищення розплавів від неметалевих включень застосовують фільтрування через сітчасті, зернисті, пористі, керамічні фільтри.

Відносно простий спосіб фільтрації можна отримати за допомогою плоских фільтрувальних сит, металічних або тканевих (рис. 4.1). Такий тип фільтрів володіє основними фільтрувальними властивостями, коли під час проціджування на поверхні сита затримуються включення, розмір яких більший за розмір вічка сита. На ці затримані включення прив'язуються менші включення та утворюють так званий фільтрувальний коржик. Після утворення фільтрувального коржика сито засмічується. Коло застосування таких сит обмежується скоріше фільтруванням легких сплавів, коли у цей спосіб легко видаляються, перш за все, оксидні плівки з металевого розплаву.

Набагато кращого фільтрувального ефекту можна домогтися з об'ємними фільтрами (рис. 4.2). Це фільтри з прямими круглими (пресовані фільтри) та квадратними (екструзовані фільтри) отворами, але найдієвішою буває фільтрація за допомоги піноподібних фільтрів.

Пінокерамічні фільтри мають більшу перевагу – це ефективна глибинна фільтрація, тому їх треба встановлювати ближче до виливка (рис. 4.3).

Пресовані фільтри (рис. 4.4) пропонується застосовувати якщо фільтр розташовується прямо під стояком, де існує великий ризик ерозії форми.



Рис. 4.1. Сито пласке фільтрувальне, металічне та тканеве



Рис. 4.2. Об'ємні фільтри



Рис. 4.3. Пінокерамічні фільтри

За такого встановлення фільтр стає перепорою для потоку металу та редує ерозійні сили, що діють на стіни форми. Крім того, ці фільтри також здатні утворювати фільтрувального коржика та мають обмежену здатність до глибинної фільтрації. Глибинна фільтрація напряду залежить від величини внутрішньої поверхні отворів фільтру.



Рис. 4.4. Пресовані фільтри

Найбільшою перевагою цих фільтрів є їхня ціна.

Екструзовані фільтри діють за аналогічним принципом. Їхня перевага – менша теплоємність, тобто є можливість більш швидкого прогрівання під час розливу. У фільтрів велика поверхня каналів для глибинної фільтрації.

Використання сітчастих фільтрів є дешевшим і не викликає помітного падіння температури розплаву, проте ефективність рафінування в цьому випадку залежить від розміру осередку сітки, яку можна зменшувати лише до певної межі.

Схеми розташування зернистих фільтрів наведені на рис. 4.5, а сітчастих – рис. 4.6.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 4. Визначення тривалості фільтрації сплавів

Завдання 4.1. Визначити тривалість фільтрації сплаву визначеної маси під час очистки сплаву від неметалевих включень фільтрацією через зернистий фільтр за умов: товщина фільтру – L ; натиск розплаву – H (табл. 4.2).

Фільтр розташований у трубі із внутрішнім діаметром – d . Процес фільтрації може відбуватися у турбулентному або ламінарному режимах. Витрата сплаву, що приходиться на 1 см^2 площі поперечного перетину фільтру, дорівнює: при турбулентному режимі $W_{\text{турб}} = k_1 \sqrt{j}$, при ламінарному режимі $W_{\text{лам}} = k_2 j$, відповідно. Тут k_1, k_2 - коефіцієнти фільтрації; j - гідравлічний нахил. Величина k_1 знаходиться у межах від 3 до 10 см/с, а k_2 – у межах від 0,1 до 1,0 см/с відповідно.

Можливі різні схеми фільтрації : згори з відкритою течією (рис. 4.7, а); згори під вільну поверхню розплаву (рис. 4.7, б); знизу під вільну поверхню розплаву (рис. 4.7, с).

Тривалість фільтрації розраховується за формулою

$$\tau = \frac{V}{W \cdot F} = m / (k \cdot J \cdot F \cdot \rho) = (1000 \cdot m \cdot L^{0,5}) / (\rho \cdot k \cdot 3,14 \cdot \frac{d^2}{4} \cdot H^{0,5}) \quad (4.3)$$

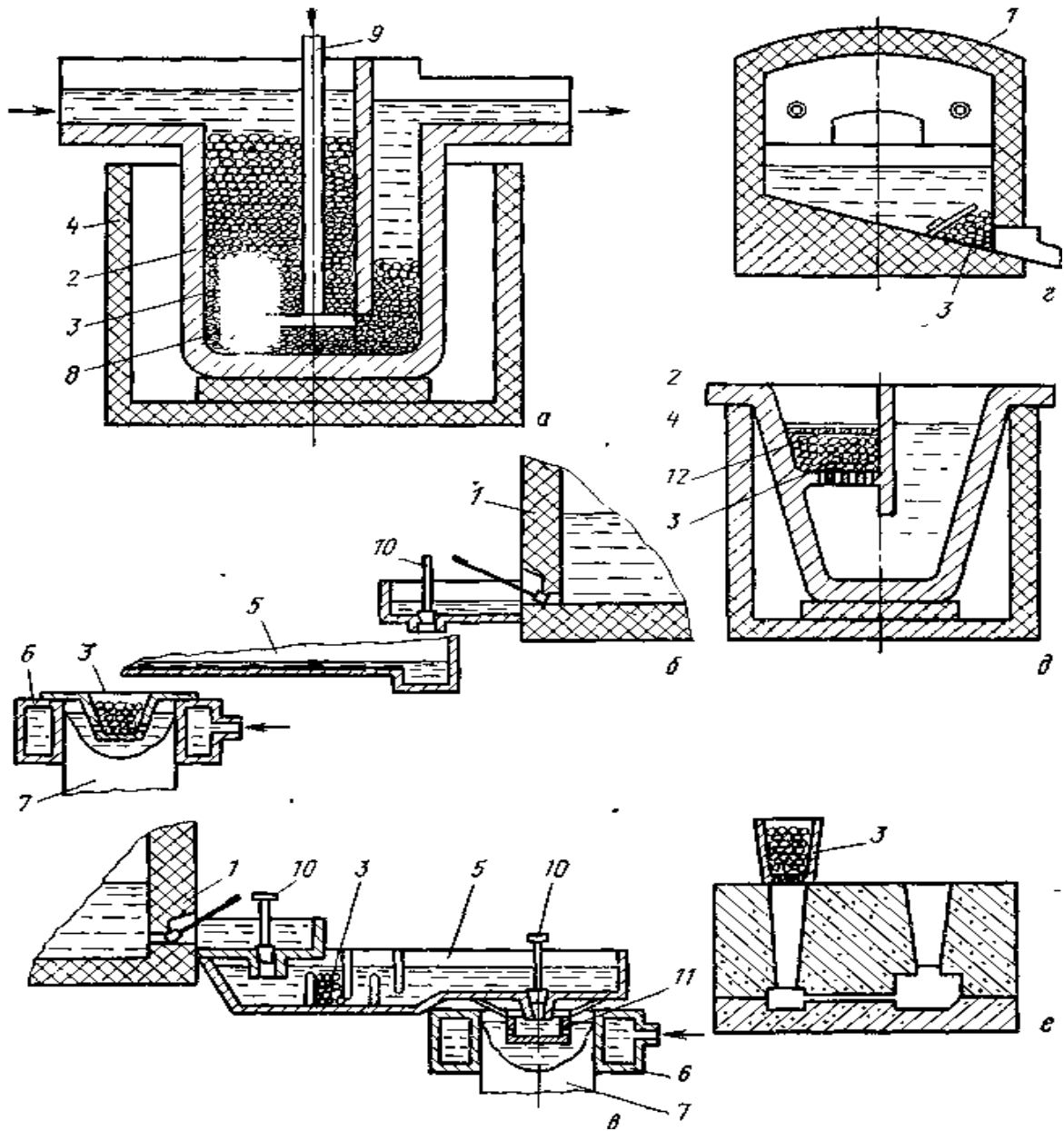


Рис. 4.5. Схеми розташування зернистих фільтрів: а) на ділянці переливу металу; б) у кристалізаторі; в) у розподільчій коробці; г) у роздавальній печі; д) у роздавальному тиглі; е) у ливниковій чаші.

1 - міксер; 2 - тигель; 3 - фільтр; 4 - піч; 5 - розподільна коробка; 6 - кристалізатор; 7 - зливков; 8 - графітова плита; 9 - труба; 10 - стопор; 11 - розподільча воронка; 12 - перфорована плита

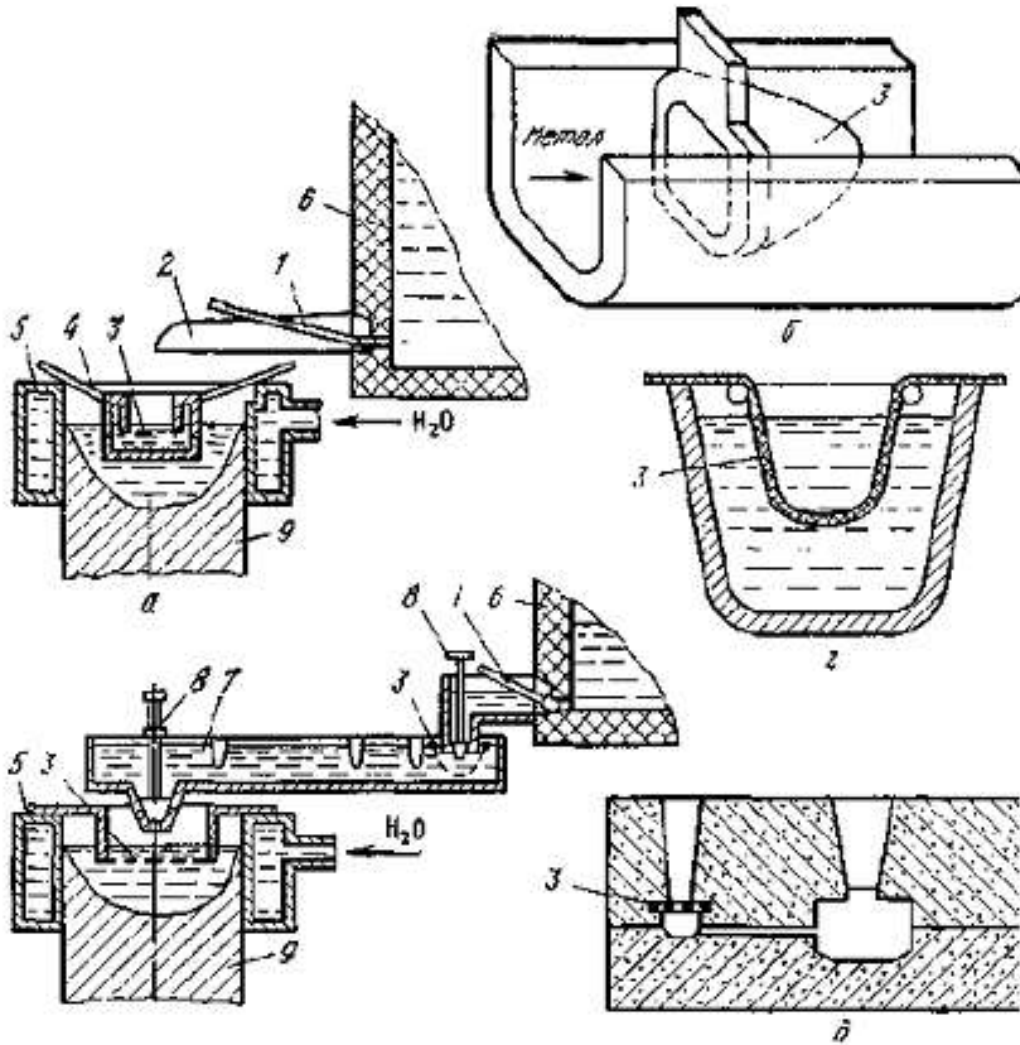


Рис. 4.6. Схеми розташування сітчастих фільтрів: а) у розподільній лійці в кристалізаторі; б) у розподільному жолобі; в) у кристалізаторі та підльотковій коробці; г) у роздавальному тиглі; д) у ливарній формі під стояком.

1 – ломик; 2 – жолоб; 3 – фільтр; 4 – розподільна лійка; 5 – кристалізатор; 6 – міксер; 7 – розподільна коробка; 8 – стопор; 9 – зливоч

де V – об'єм сплаву, см^3 ; F – площа перетину фільтра, см^2 ; m – маса сплаву, кг; d – внутрішній діаметр фільтра, см; k – коефіцієнт фільтрації, см/с; $j = H / L$ – гідравлічний нахил (H – натиск сплаву, см; L – товщина фільтра, см); W – витрата сплаву на 1 см^2 площі фільтра, $\text{см}^3/\text{с}$.

Таблиця 4.2. Дані для розрахунку часу фільтрації

| № вар. | H , мм | L , мм | k , см/с | m , кг | Основа сплаву | d , мм |
|--------|----------|----------|------------|----------|---------------|----------|
| 1 | 100 | 50 | 3 | 500 | Al | 100 |
| 2 | 150 | 70 | 5 | 600 | Cu | 110 |
| 3 | 175 | 80 | 6 | 700 | Fe | 120 |
| 4 | 180 | 90 | 7 | 800 | Mg | 130 |
| 5 | 190 | 120 | 8 | 900 | Ni | 140 |
| 6 | 200 | 130 | 9 | 1000 | Pb | 150 |
| 7 | 210 | 140 | 10 | 1200 | Sn | 160 |
| 8 | 220 | 200 | 0,5 | 350 | Al | 50 |
| 9 | 230 | 200 | 0,6 | 470 | Cu | 60 |
| 10 | 240 | 150 | 0,7 | 560 | Fe | 70 |
| 11 | 250 | 160 | 0,8 | 690 | Mg | 110 |
| 12 | 260 | 180 | 0,9 | 730 | Ni | 125 |
| 13 | 270 | 190 | 1 | 830 | Pb | 130 |
| 14 | 280 | 170 | 2 | 910 | Sn | 145 |
| 15 | 300 | 200 | 3 | 1200 | Al | 150 |
| 16 | 310 | 230 | 4 | 1300 | Cu | 160 |
| 17 | 320 | 300 | 5 | 1250 | Fe | 145 |
| 18 | 330 | 250 | 7 | 1400 | Mg | 170 |
| 19 | 340 | 240 | 8 | 1260 | Ni | 180 |
| 20 | 350 | 320 | 9 | 1450 | Pb | 200 |
| 21 | 360 | 250 | 10 | 1250 | Sn | 190 |

Запитання для самоконтролю

1. Надайте характеристику процесу рафінування розплавів?

2. Що з наведеного переліку відноситься до розчинених домішок: метали; неметали; газу; інтерметали, неметалеві включення?

3. Розкрийте поняття «дегазація розплавів».

4. Назвіть найпростіший спосіб дегазації розплавів з наведеного переліку: виморожування; продувка газами; обробка:

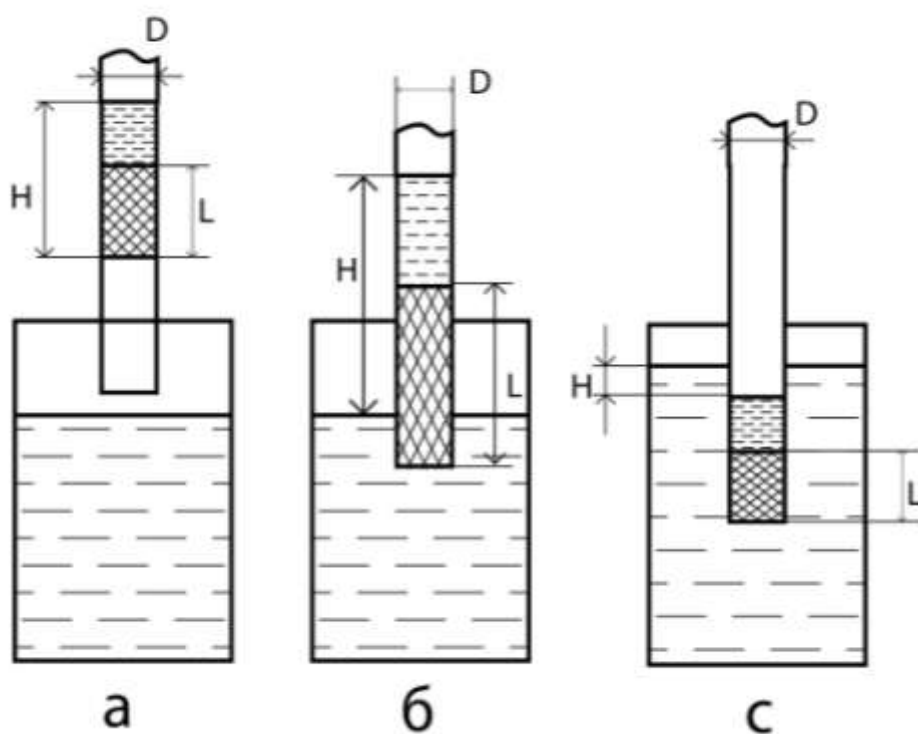


Рис. 4.7. Схеми фільтрації (пояснення у тексті)

флюсами, постійним електричним струмом, електромагнітним або магнітним полем, ультразвуком?

5. Визначте швидкість спливання неметалевого включення із використанням формули Стокса для наступних умов: густина включення — 3 г/см^3 ; густина сплаву — 8 г/см^3 ; розмір включення — 100 мкм ; в'язкість сплаву — $5 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

6. Оберіть розплави на основі міді або алюмінію, у розплаві яких включення у вигляді Al_2O_3 густиною $3,97 \text{ г/см}^3$, будуть спливати на поверхню, а у якому — осідати?

ТЕМА 5. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЇ ПЛАВЛЕННЯ

Маючи відомості про властивості металів та їх взаємодію з газами та вогнетривкими матеріалами, можна розробляти науково-обґрунтовану технологію плавлення. Розробка технології плавлення для конкретної ситуації передбачає вибір

плавильного агрегату, виду енергії, матеріалу футеровки печі, визначення необхідного складу атмосфери в печі під час плавки. Створюючи технологію, вирішують питання про способи запобігання можливого забруднення розплаву та способи його рафінування. Розглядають також необхідність розкислення й модифікування сплаву.

Вихідними під час створення технології плавлення металу або сплаву є його склад, що містить основу, легуючі компоненти та домішки, а також заданий рівень механічних та інших властивостей сплаву у виливку. Враховується кількісна потреба в розплаві на одиницю часу. Тип плавильної печі обирають, виходячи з температури плавлення основного компонента сплаву, хімічної активності його та усіх легуючих компонентів і найбільш шкідливих домішок, а також – продуктивність печі. Одночасно вирішується питання про матеріал футеровки печі.

У більшості випадків плавлення ведуть на повітрі. Захист розплаву від взаємодії з газами вкрай необхідний, якщо газ розчиняється в рідкому металі. Головним чином прагнуть запобігти взаємодії розплаву з киснем. Це має відношення до виготовлення сплавів на основі нікелю та мідних сплавів, здатних розчиняти кисень, коли розплави обов'язково треба захищати від взаємодії з атмосферою печі. Захист розплаву досягається, насамперед, застосуванням шлаків, флюсів та інших захисних покривів. Якщо подібні заходи виявилися недостатні або неможливі, треба удатися до плавлення в атмосфері захисних або інертних газів. Незважаючи на захист, металічні розплави все ж забруднюються різними домішками вище припустимої межі. Нерідко в шихтових матеріалах є занадто багато домішок. Тому часто під час плавлення проводять рафінування розплавів — очищення від розчинних і нерозчинних домішок, а також розкислення — видалення розчиненого кисню.

Багато сплавів знаходять використання в модифікованому стані, коли вони здобувають дрібнокристалічну будову й більш високі механічні або технологічні властивості. Операція

модифікування проводиться як один з останніх ступенів процесу плавлення безпосередньо перед розливанням. Втрати металів під час плавлення на вигар визначаються їхнім випаровуванням і взаємодією з футеровкою, що виражається в її металізації.

Важливою стороною технології є температурний режим плавки, порядок завантаження шихтових матеріалів і уведення окремих компонентів сплаву, послідовність технологічних операцій металургійної обробки розплаву.

Плавку завжди проводять у попередньо розігрітій печі, температура в якій має бути на 100—200 °С вище за температуру плавлення основного компонента сплаву. Бажано, щоб усі матеріали, що завантажуються в піч, були нагріті до 150—200 °С для того, щоб у них не залишалася волога. Першим у плавильну піч завантажують той шихтовий матеріал, який становить найбільшу частку наважки. У випадку приготування сплаву з чистих металів першим завжди завантажують основний компонент сплаву. Якщо плавку ведуть із застосуванням шлаків і флюсів, то їх зазвичай засипають поверх металеві шихти, що завантажуються.

Якщо умови виробництва дозволяють, плавку починають, залишивши в печі деяку кількість розплаву від попередньої плавки. Завантаження шихти в рідку ванну суттєво прискорює процес плавлення й знижує втрати металу. Спочатку в рідку ванну завантажують більш тугоплавку шихту. Періодично додають свіжий шлак або флюс і, якщо необхідно, видаляють старий. Якщо за технологією необхідне розкислення розплаву (видалення розчиненого кисню), то його проводять таким чином, щоб уникнути утворення в розплаві шкідливих і таких, що важко видаляються, неметалевих включень і забезпечити надійне видалення продуктів розкислення. В останню чергу до розплаву вводять леткі й хімічно активні компоненти сплаву, щоб зменшити їх втрати. Потім проводять рафінування розплаву. Безпосередньо перед розливанням розплав модифікують.

У переважній більшості випадків усі легуючі компоненти й домішки розчиняються в рідкій основі сплаву, так що розплав можна вважати розчином.

Більші труднощі виникають за необхідності уведення до розплаву легкої добавки, яка не розчиняється як в твердій, так і в рідкій основі сплаву.

Лігатури доцільно застосовувати й під час уведення летких компонентів, які в чистому вигляді за температури розплаву перебувають у газоподібному стані. Лігатури використовують також із уведенням хімічно активної домішки, яка на повітрі у вільному вигляді може взаємодіяти з киснем і азотом. Лігатури широко застосовують і у випадках, коли чистий елемент - додаток занадто дорогий або його взагалі не одержують, вироблення ж сплавів - лігатур вже засвоєне, вони доступні й відносно дешеві.

Нарешті, лігатури доцільно застосовувати за необхідності уведення до сплаву малих добавок. Наважка чистої добавки може становити всього декілька сотень грамів на кілька сотень кілограмів розплаву. Надійно увести таку малу кількість легуючого компоненту практично неможливо через різноманітні втрати та нерівномірності розподілу. Використання лігатури, яку уводять у значно більшій кількості, усуває ці труднощі.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 5. Розробка технології отримання сплаву

Завдання 5.1. Розробити технологію отримання сплаву

1. Плавлення сплаву : розрахунок шихти, технологія плавлення сплаву.
 2. Обробка сплаву : розкислення, дегазація, модифікування, фільтрація.
 3. Заливання у форму.
 4. Тверднення сплаву у формі.
- Під час розробки технології отримання сплаву необхідно :

- обрати тип та марку плавильного агрегату для виплавки сплаву заданого складу;
- розрахувати шихту для виплавлення сплаву;
- розробити технологію плавлення сплаву.

Порядок виконання завдання :

1. Обрати, згідно завданню (таблиця 5.1), піч необхідної продуктивності (таблиці 5.2 – 5.4).
2. Прийняти величину вигару (таблиця 5.5).
3. Розрахувати шихту для заданого сплаву (див. приклад розрахунку у таблиці 5.6), під час розрахунку шихти використовувати лігатуру (таблиця 5.7).
4. Під час розробки технології плавки необхідно обрати покривний флюс (таблиці 5.8 - 5.11), матеріал для модифікування та спосіб рафінування (таблиці 5.12 - 5.14).
5. Скласти технологічну карту виплавки заданого сплаву (таблиці 5.15 - 5.17).

Таблиця 5.1. Дані для розробки технології отримання сплаву

| № варіанту | Марка сплаву | % звороту у шихті | Потреба у рідкому сплаві, кг/год. |
|------------|--------------|-------------------|-----------------------------------|
| 1 | Бр010Ц2 | 15 | 650 |
| 2 | БрА9Мц2 | 20 | 200 |
| 3 | БрОЮФІ | 30 | 500 |
| 4 | Ал4 | 10 | 400 |
| 5 | БрА9Мц2 | 40 | 2000 |
| 6 | Ал2 | 25 | 150 |
| 7 | Мл3 | 20 | 1000 |
| 8 | Мл11 | 15 | 400 |
| 9 | Ал9 | 30 | 500 |
| 10 | Ал7 | 45 | 550 |
| 11 | Мл5 | 25 | 200 |
| 12 | Ал8 | 10 | 400 |
| 13 | Мл8 | 20 | 1000 |
| 14 | Бр04Ц3 | 10 | 3500 |
| 15 | ЛЦ40С | 30 | 2000 |

Таблиця 5.2. Печі для плавки алюмінієвих сплавів

| Типи печей | Марка печі | Місткість печі,
т | Продуктивність
печі, кг/год. |
|--|------------|----------------------|---------------------------------|
| 1. Нафтові та газові тигельні | ПТП-0,18 | 0,18 | 120 |
| 1.1 Плавильні одностигельні зворотні | ПТ-0,25 | 0,25 | 150 |
| 1.2 Роздавальні одностигельні стаціонарні | РТС-0,15 | 0,15 | - |
| 1.3 Роздавальні двостигельні стаціонарні | РТС-0,30 | 0,30 | - |
| 2 Нафтові (мазутні) відбивні полум'яні | НОП-1 | 1 | 400 |
| | НОП-2 | 2 | 800 |
| | НОП-7 | 7 | 800 |
| | НОП-12 | 12 | 900 |
| 3. Електричні | | | |
| 3.1 Опору | САТ-0,15А | 0,15 | 55 |
| 3.1.1 Тигельні зворотні (А) | САТ-0,25А | 0,25 | 85 |
| | САТ-0,5А | 0,50 | 125 |
| 3.1.2 Тигельні стаціонарні (Б) | САТ-0,15Б | 0,15 | 55 |
| | САТ-0,25Б | 0,25 | 85 |
| | САТ-0,5Б | 0,50 | 125 |
| 3.1.3 Тигельні стаціонарні роздавальні (В) | САТ-0,15В | 0,15 | - |
| | САТ-0,25В | 0,25 | - |
| 3.1.4 Подові зворотні (печі, що нахиляються) | САН-1 | 1,0 | 225 |
| | САН-1,25 | 1,25 | 350 |
| | САН-2 | 2,0 | 500 |
| | САН-3 | 3,0 | 650 |
| 3.1.5 Камерні печі опору | САК-0,15 | 0,15 | 50 |
| | САК-0,25 | 0,25 | 75 |
| | А-300 | 7,0 | 1000 |
| | САС-9 | 9,0 | 900 |
| 3.2 Індукційні печі | ІАТ-0,4 | 0,4 | 240 |
| | ІАТ-1 | 1,0 | 560 |
| 3.2.1 Тигельні індукційні печі | ІАТ-2,5 | 2,5 | 1320 |
| | ІАТ-6 | 6,0 | 1950 |

| | | | |
|-----------------------------------|---------|------|-----------|
| 3.2.2 Канальні
індукційні печі | ІАК-0,4 | 0,4 | 500-600 |
| | ІАК-1 | 1,0 | 1000-1350 |
| | ІАК-6 | 6,0 | 1750-2500 |
| | ІАК-16 | 16,0 | 2800-4000 |

Таблиця 5.3. Печі для плавки мідних сплавів

| Типи печей | Марка печі | Місткість печі, т | Продуктивність печі, кг/год. |
|---|---|---|---|
| 1
Електричні | | | |
| 1.1 Дугові
печі
непрямого
нагрівання | ДМК-0,1
ДМК-0,25
ДМК-0,5
ДМК-1 | 0,1
0,25
0,5
1,0 | 200
375
750
1000 |
| 1.2
Індукційні | | | |
| 1.2.1
Тигельні
індукційні
печі | ІЛТ-0,4
ІЛТ-1
ІЛТ-2,5
ІЛТ-10 | 0,4
1
2,5
10 | 300
650-1000
2000-2600
2900-3500 |
| 1.2.2
Канальні
індукційні
печі | ІЛО-0,75
ІЛК-1,5
ІЛК-3
ІЛК-5
ІЛК-15
ІЦ-20
ІЦ-40 | 0,75
1,5
3,0
5,0
15,0
20,0
40,0 | 1250
3750
3500
5000
10000
12000
15500 |

Таблиця 5.4. Печі для плавки магнієвих сплавів

| Типи печей | Марка печі | Ємність печі | Продуктивність печі, кг/год. |
|---|--|-----------------------------|------------------------------|
| 1 Паливні | | | |
| 1.1 Тигельні стаціонарні
(на нафті, газі, мазуті, -
тигель стальний) печі | СПТ-0,35 | 0,35 | 120 |
| 1.2 Відбивні полум'яні
(печі, що нахилиються) | НОП-1,5 | 1,5 | 400 |
| 2 Електричні | | | |
| 2.1 Індукційні тигельні
печі | ІПА-250
ІПА-500
ІПМ-350
ІГТ-1,6 | 0,25
0,50
0,35
1,6 | 136
273
210
1000 |

Таблиця 5.5. Величина вигару елементів під час плавлення кольорових сплавів

| Метал | Вигар металу для сплавів на основі (%) | | | | | | |
|-------|--|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| | Алюмінію | | Магнію | | Міді | | Нікелю |
| | Тип печі | | | | | | |
| | тигель на | відбивання | тигель на | відбивання | тигельна | відбивання | тигельна |
| Al | $\frac{0,8-1,0}{2-3}$ | $\frac{2-3}{3-5}$ | $\frac{0,5-1}{1-1,5}$ | $\frac{1-1,5}{1,5-2}$ | $\frac{1-1,5}{2-5}$ | $\frac{2-3}{\partial 05}$ | $\frac{1-2}{2-5}$ |
| Mg | $\frac{2-3}{3-5}$ | $\frac{3-5}{5-10}$ | $\frac{1-1,5}{2-3}$ | $\frac{1,5-2}{2-5}$ | $\frac{\partial 05}{\partial 010}$ | $\frac{5-10}{10-20}$ | |
| Cu | $\frac{0,5-1}{1-1,2}$ | $\frac{1-1,2}{1-1,5}$ | - | - | $\frac{0,5-1}{1-2}$ | $\frac{1-1,5}{2-3}$ | $\frac{1-1,5}{1,5-2}$ |
| Ni | $\frac{0,5-1}{1-1,2}$ | $\frac{1-1,2}{1-1,5}$ | - | - | $\frac{0,5-1}{1-1,5}$ | $\frac{1-1,5}{1,5-2}$ | $\frac{0,5-1}{1-1,5}$ |
| Zn | $\frac{\partial 02}{2-5}$ | $\frac{2-3}{\partial 010}$ | $\frac{1,5}{2-3}$ | $\frac{1-3}{3-5}$ | $\frac{2-3}{3-5}$ | $\frac{5-10}{\partial 020}$ | - |
| Pb | - | - | - | - | $\frac{0,5-1}{1-2}$ | $\frac{1-2}{\partial 05}$ | $\frac{1-2}{2-5}$ |
| Mn | $\frac{1-1,5}{2-3}$ | $\frac{2-5}{2-10}$ | $\frac{\partial 01}{1-3}$ | $\frac{1-3}{3-10}$ | $\frac{1-1,5}{\partial 05}$ | $\frac{2-3}{\partial 010}$ | - |
| Ti | $\frac{1-1,5}{2-5}$ | $\frac{2-5}{5-10}$ | - | - | $\frac{\geq 10}{-}$ | $\frac{\geq 10}{\geq 30}$ | $\frac{\geq 10}{\geq 20}$ |
| P | - | - | - | - | $\frac{\geq 50}{-}$ | $\frac{30-40}{\partial 070}$ | - |
| Cd | $\frac{\partial 02}{\geq 5}$ | $\frac{\geq 5}{\geq 10}$ | $\frac{1-1,5}{\partial 03}$ | $\frac{3-5}{5-10}$ | До 20 | $\frac{15-40}{40-50}$ | - |
| Si | $\frac{1-1,5}{2-3}$ | $\frac{2-5}{5-10}$ | $\frac{\partial 01}{1-3}$ | $\frac{2-3}{3-5}$ | ≥ 5 | $\frac{1-5}{5-10}$ | $\frac{1-3}{2-5}$ |
| Sn | $\frac{0,5-1}{1-1,5}$ | $\frac{1,5-2}{2-2,5}$ | - | - | 1-1,5 | $\frac{1-1,5}{\partial 03}$ | $\frac{1-1,5}{1,5-3}$ |
| Zr | $\frac{1-2}{2-5}$ | $\frac{3-5}{5-10}$ | $\frac{\partial 01}{1-3}$ | $\frac{2-5}{3-10}$ | - | - | - |
| Be | $\frac{2-3}{5-10}$ | $\frac{5-7}{10-20}$ | $\frac{\partial 03}{1-5}$ | $\frac{5-10}{10-20}$ | 3 - 5 | $\frac{3-5}{\partial 010}$ | - |
| Li | $\frac{\partial 010}{\geq 15}$ | $\frac{\geq 15}{\geq 20}$ | $\frac{\geq 3}{\geq 5}$ | $\frac{\geq 5}{\geq 20}$ | - | - | - |

Примітка: в чисельнику – вигар елемента при щільній шихті, у знаменнику – при некомпактній.

Таблиця 5.6. Лігатури для плавлення сплавів на основі кольорових металів (% вміст легуючого; рештка – вміст основного елементу)

| Лігатура | Легуючий елемент | Вміст легуючого, % | Лігатура | Легуючий елемент | Вміст легуючого, % |
|------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| Al-Si | Si | 20-25 | Cu-Be | Be | 4-11 |
| Al-Be | Be | 4-6 | Cu-Mn | Mn | 27 |
| Al-Fe | Fe | 5-10 | Cu-Si | Si | 16 |
| Al-Mg | Mg | 10-12 | Cu-Sn | Sn | 50 |
| Al-Mn | Mn | 5-10 | Cu-Fe | Fe | 5-10 |
| Al-Cu | Cu | 35-50 | Cu-Cd | Cd | 30 |
| Al-Ni | Ni | 10-20 | Cu-Al | Al | 33 |
| Al-Ti | Ti | 3-5 | Cu-Sb | Sb | 50 |
| Al-Cr | Cr | 3-5 | Cu-Cr | Cr | 4-6 |
| Al-Ce | Ce | 20-30 | Cu-Mg | Mg | 10-15 |
| Al-Zr | Zr | 3-5 | Cu-B | B | 3-4 |
| Mg-Mn | Mn | 2-4 | Cu-Zr | Zr | 8-12 |
| Cu-Co | Co | 10 | Cu-Ti | Ti | 20 |
| Ni-Mg | Mg | 50 | Cu-Ni | Ni | 15-33 |
| Al-Cu-P | Cu/P | 8-10/1-1,5 | Cu-Al-Ni | Al/Ni | 50/10 |
| Al-Mg-Mn | Mg/Mn | 20/10 | Sn-Ni-Sb | Ni/Sb | 10/30 |
| Al-Ti-B | Ti/B | 3-5/0,1-0,5 | Al-Mn-Ti | Mn/Ti | 50/8 |
| Al-Cu-Mn | Cu/Mn | 10-13/1-15 | Al-Mg-Be | Mg/Be | 35/3 |
| Al-Cu-Mn-Ti | Cu/Mn/Ti | 30/5/2 | АХМК
(рештка - Al) | Mn/Cr/Fe
/Si | 35/25/4,5/3,5 |
| АХМКФ
(рештка - Al) | Mn/Cr/
Fe/Si/W | 34/23/
5/3/4 | АЦМК
(рештка - Al) | Mn/Zr/Si | 40/20/3 |

Розрахунок складу шихти для заданого сплаву можна робити будь-яким з відомих методів.

Нижче наведений приклад розрахунку шихти для виплавки сплаву марки АК9МЗМц2 в індукційній тигельній печі ІАТ-1,0 з використанням у шихті 20 % звороту власного виробництва. Розрахунок виконано на 100 кг розплаву (таблиця 5.7).

Таблиця 5.7. Приклад розрахунку шихти для виплавки сплаву АК9М3Мц2

| № | Компонент | Si | Cu | Mn | Al | Всього |
|----|---|------|------|------|-------|--------|
| 1 | Вміст у сплаві, % | 9,00 | 3,00 | 2,00 | 86,00 | 100 |
| 2 | Вигар, % (з табл. 5.5) | 1 | 1 | 1,5 | 1 | - |
| 3 | Вигар, кг (форм. 5.1) | 0,09 | 0,03 | 0,03 | 0,87 | 1,02 |
| 4 | У шихті, кг (строка 1+3) | 9,09 | 3,03 | 2,03 | 86,87 | 101,02 |
| 5 | Вносить зворот (форм. 5.2) | 1,80 | 0,60 | 0,40 | 17,20 | 20,00 |
| 6 | Залишилось внести (строки 4-5) | 7,29 | 2,43 | 1,63 | 69,67 | 81,02 |
| 7 | Лігатура АМ (40/60)* (табл. 5.6; форм. 5.3) | - | 2,43 | - | 1,62 | 4,05 |
| 8 | Лігатура АК (85/15)* | 7,29 | - | - | 41,31 | 48,60 |
| 9 | Лігатура АМц (80/20)* | - | - | 1,63 | 6,52 | 8,15 |
| 10 | Чистий алюміній АЗ | - | - | - | 20,21 | 20,22 |
| | Усього | 9,09 | 3,03 | 2,03 | 86,86 | 101,02 |

*Примітка: В чисельнику – вміст алюмінію, в знаменнику – вміст легуючого елементу, %.

Кількість вигару визначають за формулою, кг

$$m_{\text{вигар}} = \frac{Q_i Y_i}{100}, \quad (5.1)$$

де Q_i - вміст i -го елементу у сплаві, %; Y_i - вигар i -го елементу, %.

Кількість елементу в шихті визначають як суму $Q_i + m_{\text{вигар}}$. Кількість елементу, внесеного зворотом, визначають за формулою

$$m_{\text{звороту}} = \frac{Q_{\text{вi}} m_{\text{звороту}}}{100}, \quad (5.2)$$

де $m_{\text{вор}}$ - відсоток звороту, внесеного в шихту; $Q_{\text{вi}}$ - вміст i -го елементу у звороті.

Кількість лігатури в шихті для внесення необхідної кількості i -го елемента визначають за формулою

$$Q_{ліг} = \frac{G_i}{\%i} 100, \quad (5.3)$$

де G_i - кількість i -го елемента, яку необхідно внести в шихту, кг;
 $\%i$ – вміст i -го елемента в лігатурі, %.

Якщо необхідну кількість елемента неможливо внести лігатурою, використовують чистий метал.

У разі, якщо плавлення ведуть в атмосферних умовах, то необхідно захистити розплав від взаємодії з газами. З цією метою плавлення проводять під флюсом. Склад флюсу залежить від типу сплаву (таблиці 5.8 – 5.11).

Таблиця 5.8. Склад та призначення покривних та рафінуючи флюсів для алюмінієвих сплавів

| № флюсу | Склад флюсу, % (мас. частка) | Призначення флюсу |
|---------|--|--|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | KCl- 11,5; NaCl- 56,5;
Na ₃ AlF ₆ -7; NaF- 25 | Універсальні (рафінуючі та модифікуючі) для сплавів, які містять кремній |
| 2 | KCl-10; NaCl-50;
Na ₃ AlF ₆ -10; NaF- 30 | |
| 3 | NaCl-45; Na ₃ AlF ₆ -15; NaF- 40 | |
| 4 | KCl-45; NaCl-55 | Покривні для більшості сплавів, крім алюміній-магнієвих |
| 5 | KCl-37; NaCl-50;
Na ₃ AlF ₆ –6,6; KClMgCl ₂ -6,4 | |
| 6 | KCl-46-42; NaCl-47-43;
Na ₃ AlF ₆ –7-15 | |
| 7 | KCl-47; NaCl-30;
Na ₃ AlF ₆ –23 | Рафінуючі для усіх алюмінієвих сплавів, що не містять магнію |
| 8 | KCl · MgCl ₂ -60; CaF ₂ -40 | Рафінуючі для алюмінієвих сплавів, що містять магній |
| 9 | MgCl ₂ · KCl -80; CaCl ₂ -10;
BaCl ₂ - 5-8 | |
| 10 | MgCl ₂ · KCl -80; CaF ₂ -20 | Покривні для алюміній-магнієвих сплавів |
| 11 | MgCl ₂ · KCl -85; MgF ₂ -15 | |

| | | |
|----|--|--|
| 12 | KCl · MgCl ₂ -100 | |
| 13 | KCl · MgCl ₂ -85;CaF ₂ -15 | |
| 14 | KCl · MgCl ₂ -85;MgF ₂ -15 | |
| 15 | KCl-50-55; LiCl-45-50 | |

Таблиця 5.9. Склад та призначення покривних та рафінуючих флюсів для мідних сплавів

| № флюсу | Склад флюсу, %
(мас. частка) | Призначення флюсу |
|---------|--|--|
| 1 | SiO ₂ -41-47; MnO ₂ -25-32;
Na ₂ O-10-15;Al ₂ O ₃ -11-14 | Покривні для олов'яних бронз при плавленні в печах з шамотною футеровкою |
| 2 | SiO ₂ -50; Na ₂ B ₄ O ₇ -30; CuO-20 | |
| 3 | Si O ₂ -10-30; Na ₂ B ₄ O ₇ -90-70 | Те ж, з магнезитовою футеровкою |
| 4 | Na ₂ B ₄ O ₇ -7; Na ₂ CO ₃ -60; CaF ₂ -40 | Рафінуючі для олов'яних бронз |
| 5 | SiO ₂ -30; Na ₂ CO ₃ -30; CaF ₂ -40 | Покривні для кремністих та простих латуней |
| 6 | Na ₂ CO ₃ -50; CaF ₂ -50 | |
| 7 | Na ₂ CO ₃ -50; бите скло -50 | Покривні для алюмінієвих бронз |
| 8 | Ca F ₂ -50; Mg F ₂ -50 | Покривні і рафінуювальні для бронз і латуней |
| 9 | CaF ₂ -20; NaF-60; Na ₃ AlF ₆ –20 | Рафінуювальні для алюмінієвих бронз |
| 10 | NaCl-60; Na ₃ AlF ₆ -40 | |
| 11 | Na ₃ AlF ₆ -25; Na ₂ B ₄ O ₇ -28; NaCl-10;
KCl-35; деревне вугілля – 2. | |
| 12 | Na ₃ AlF ₆ -20;Na ₂ CO ₃ -10;
CaF ₂ -20; NaF-30 | |
| 13 | Na ₃ AlF ₆ –12; Na ₂ B ₄ O ₇ -6;
Na ₂ CO ₃ -70; K ₂ CO ₃ -12 | |
| 14 | Na ₂ CO ₃ -10; CaF ₂ -70; Na ₂ SO ₄ -20 | |
| | | |

Таблиця 5.10. Склад флюсів для нікелевих сплавів

| № флюсу | Склад флюсу, %
(мас. частка) |
|---------|---------------------------------|
| 1 | CaO –100 |
| 2 | CaO -50; CaF ₂ - 50 |
| 3 | CaO-70; CaF ₂ - 30 |

| | |
|---|---|
| 4 | CaF ₂ – 50; MgF ₂ -50 |
| 5 | Скло (з пляшок) - 100 |
| 6 | MnO ₂ -30; NiO ₂ -30; Fe ₂ O ₃ -20; SiO ₂ - 20 |

Примітка: Флюси 5 та 6 – покривні для плавлення в індукційних печах

Таблиця 5.11. Склад та призначення флюсів для плавлення магнієвих сплавів

| № флюсу | Марка | Склад флюсу, %
(мас. частка) | Призначення |
|---------|-------|--|--|
| 1 | ВІ-2 | MgCl ₂ -38-46; KCl-32-40;
NaCl-10; BaCl ₂ –5-8;
CaF ₂ -3-5; MgO –1,5 | Для плавлення в
стаціонарних печах
та тиглях |
| 2 | ВІ-3 | MgCl ₂ -30-40; KCl-25-36;
NaCl –7; CaF ₂ -15-20;
MgO –7-10 | Для плавлення в тиглях,
що виймаються |
| 3 | 1 | LiCl-80; LiF-20 | Для сплавів магнію з літієм |
| 4 | 2 | NaCl-14-21; CaCl ₂ –47-51;
BaCl ₂ –26-29;
CaF ₂ -2-5 | Для сплавів з
рідкісноземельними
металами |
| 5 | 3 | KCl –22-26; NaCl-17-20;
CaCl ₂ –35-39;
BaCl ₂ –19-23; CaF ₂ -2-5 | |
| 6 | 4 | KCl-55; CaCl ₂ -28;
BaCl ₂ –15;
CaF ₂ -2 | Для сплавів магнію з торієм
та цирконієм |
| 7 | ФЛ1 | MgF ₂ -32; AlF ₃ -40;
B ₂ O ₃ -15; CaF ₂ -13 | Безхлоридні флюси |
| 8 | ВІАМ1 | AlF ₃ -23,5; BrO ₃ -40;
Na ₂ AlF ₆ -33; CaF ₂ -3,5 | |
| 9 | ВІАМ5 | MgF ₂ -17,5; AlF ₃ -15;
BrO ₃ -50; CaF ₂ -17,5 | |

Примітка: Флюси 4-6- покривні; ВІ-2, ВІ-3 та 3 – покривно-рафінуючі; ФЛ1, ВІАМ1 та ВІАМ5- універсальні

Багато сплавів використовують у модифікованому вигляді. Процес модифікації проводять під час виготовлення сплаву у кінці плавлення.

Мета модифікування – отримання структури сплаву, яка б мала інший вигляд та відрізнялася від звичайної, без зміни його складу. Це призводить до підвищення технологічних та

механічних властивостей. Сутність модифікування полягає в уведенні малих (0,01-0,1 %) елементів у вигляді добавок.

Добавки можуть бути тугоплавкими та легкоплавкими.

Для модифікування сталі використовують кальцій, бор, лантан, церій.

Для чавуну – магній, церій.

Для алюмінієвих сплавів - ванадій, титан, бор, натрій, цирконій.

Модифікатор уводять у вигляді лігатури або солей (фторцирконат, фторборат, фтортитанат калію, фторид алюмінію). Модифікування проводять наприкінці плавлення, під час розливання та навіть у ливарній формі. Модифікатори для сплавів кольорових металів наведено у таблицях 5.12-5.14.

Таблиця 5.12. Модифікатори для алюмінієвих ливарних сплавів

| № | Склад модифікатора | Необхідно увести модифікатора | Розрахункова кількість модифікатора | Температура уведення модифікатора, °С | Призначення модифікатора |
|---|--|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Лігатура Al-Ti (Ti=2-5) | 1 - 3 | Ti = 0,05-0,15 | 720-750 | Для подрібнення макрозерна |
| 2 | Лігатура Al-Ti (Ti=5; B=1) | 1 - 2 | Ti = 0,05-0,1
B = 0,01-0,02 | | |
| 3 | «Зернолит» (K ₂ TiF ₆ =55; K ₂ SiF ₆ =3; KBF ₄ =27; C ₂ Cl ₆ =15) | 0,2 - 0,5 | B = 0,01-0,02
Ti = 0,05-0,1 | | |
| 4 | Металічний натрій | 0,05 - 0,1 | Na = 0,05-0,1 | 750-780 | Для модифікування евтектичних та |
| 5 | Флюс (NaF=67; NaCl=33) | 1-2 | Na = 0,05-0,1 | 780-810 | |

| | | | | | |
|----|--|---------|----------------------------|---------|--|
| 6 | Флюс
NaCl=62,5;
NaF=25;
KCl=12,5) | 1 - 2 | Na = 0,05-0,1 | 730-750 | доевтектич
них
алюмінієв
о-
кремнієви
х сплавів |
| 7 | Флюс
(NaCl=50;
NaF=30;
KCl=10;
Na ₃ AlF ₆ =10) | 0,5 - 1 | Na = 0,05-0,1 | 720-750 | |
| 8 | Лігатура Al-
Sr (Sr=10) | 0,6-0,8 | Sr = 0,06-
0,085 | 750-780 | |
| 9 | Лігатура
Cu-P
(P=9-11) | 0,2-0,4 | P = 0,05-0,1 | 750-780 | Для
модифікув
ання
заевтектич
них
силумінів |
| 10 | Флюс
(NaCl=35;
K ₂ TiF ₆ =20;
KBF ₄ =10) | 0,5-1,0 | B=0,01-0,02
Ti=0,05-0,1 | 720-750 | Для
подрібнен
ня
макрозерн
а |

Таблиця 5.13. Модифікатори для магнієвих сплавів

| № | Модифікатор та його
склад, % (мас. частка) | Призначен
ня | Підготовка
модифікатора |
|---|--|--|---|
| 1 | Магнезит: 42-48 Mg O;
49-51 CO ₂ та леткі домішки;
0,8-0,9 SiO ₂ ; 0,15-0,30 Fe O;
0,5-2,6 CaO; інших домішок
– до 2 | Модифік
ування
сплавів
МЛЗ,
МЛ4,
МЛ4п,
МЛ5,
МЛ6 | Висушують при 150-200
°C до вологості не
більше 1%,
завантажують кусками
розміром 10-25мм |
| 2 | Крейда марки А:
Ca CO ₃ -100 | | Висушують при 150-200
°C до вологості не більше
1%, розмелюють і
просіюють через сито з
вічками 0,2-0,5мм |
| 3 | Вуглекислий газ:
CO ₂ -100 | | Висушують до вологості
не більше 1%. |
| 4 | Гексахлоретан: Ca ₂ Cl ₆ -100 | | - |
| 5 | Аміак:
NH ₃ -100 | Модифік
ування | Висушують до вологості
не більше 1%. |

| | | | |
|--|--|--------------------------------------|--|
| | | сплавів
магній –
цинк -
РЗМ | |
|--|--|--------------------------------------|--|

Таблиця 5.14. Модифікатори для мідних сплавів

| № | Модифікатор | Кількість, % (мас. частка) | Сплав | № | Модифікатор | Кількість, % (мас. частка) | Сплав | | |
|---|-------------|-------------------------------------|--|---|--------------|----------------------------|--------------------|-----------|--------------------|
| 1 | Титан | 0,1-0,2 | БрО10;
БрО10Ц2
БрО10Ф1
БрО5Ц5С5
БрО3Ц12С5
БрО3Ц7С5Н1
БрА9Ж3Л
БрА10Ж4А5
БрА9Мц2
БрА10Ж3Мц2 | 4 | Титан + Бор; | 0,05-0,2 | Бронзи, латуні | | |
| | | 0,04-0,2 | | | | Цирконій + Бор; | | 0,01-0,02 | Олов'яні бронзи |
| | | 0,01-0,03 | | | | Ванадій + Бор | | 0,05-0,2 | Безолов'яні бронзи |
| 2 | Цирконій | 0,01-0,04 | ЛЦ16К4
ЛЦ40Мц3Ж
Олов'яні та безолов'яні бронзи, латуні | 5 | Ванадій | 0,1-0,2 | Безолов'яні бронзи | | |
| | | 0,01-0,1 | | | | 0,01-0,2 | | Латуні | |
| 3 | Бор | 0,02-0,06
0,05-0,1
0,005-0,01 | Олов'яні бронзи,
Безолов'яні бронзи
Латуні | | | | | | |

У таблицях 5.15 – 5.17 наведені технологічні карти виплавки сплавів на основі алюмінію, міді та магнію.

Таблиця 5.15. Технологічна карта плавлення сплавів на основі алюмінію

| | | | | | | |
|--------------------|---|--|--|--|---|--|
| На основі алюмінію | Індукційні тигельні, каналні і печі опору : | Індукційні : | 1. Завантажують матеріал з найбільш ою часткою в шихті | Для сплавів Al-Mg :
1.100% MgCl ₂ KCl
2,85% MgCl ₂ KCl +15% CaF ₂ . | У печі - синт. шлаками, рафінуюч. флюсами, продувка газом, фільтрація, обробка хлоридами : гексахлоретаном, чотирехлористим титаном, таблетки «Дегазер». Витрата 0,05-2,0%, температура =700-730 ⁰ C | 1. Доевтектичні та евтектичні сплави - натрієм або стронцієм, ітрієм (1-2%).
Стронцій та ітрій вводять лігатурою |
| | ІАТ-0,4
ІАТ-1,0
ІАТ-2,5
ІАТ-6,0

ІАК-0,4
ІАК-1,0
ІАК-2,5
ІАК-6,0

САТ-,15А
САТ-0,25А
САТ-0, 5А

САТ-0,15Б
САТ-0,25Б
САТ-0, 5Б | 2. Жаростійкий бетон на рідкому склі з дрібним магнезитом і кислотним заповнювачем | 2. Для чистих металів завантажують основний | 2. Для чистих металів завантажують основний | Для інших сплавів :
1,45% NaCl + 55% KCl;
2,35% NaCl + 50% KCl+ 15% Na ₃ AlF ₆ | титаном, таблетки «Дегазер». Витрата 0,05-2,0%, температура =700-730 ⁰ C
Вакуумування, обробка ультразвуком. |

Таблиця 5.16. Технологічна карта виплавки сплаву на основі міді

| Сплав | Тип печі | Матеріал тигля, футеровка | Шихта | Порядок завантаження | Покривний флюс | Розкислення | Рафінування |
|--------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|---|---|---|---|
| Латунь | ІЛК
ІЛТ
ІЧТ
ІСТ | Кварцитова;
високо-глиноз. | Чисті метали, лігатури, повернення | Мідь, що розплавляється під шаром вуглецю, завантаження відходів, розкислення Р, введення Zп | 1. Скло +бура +кріоліт;
2. Деревний вуглець;
3. Бій графітний | Фосфором у вигляді фосфористої міді МФ 1; (10 %Р) і МФ3 (8 % Р) | |
| Олов'яні бронзи | ІЛК;
ДМБ;
полум'яні | Графіто-шамотна, графіто-карборундова | Чушки, зворот | Мідь під шаром дерев. вугілля + Ні; розкислюють Р і уводять цинк, потім олово, зворот, свинець. | Деревне вугілля | Фосфором (0,005-0,02%Р) у вигляді МФ1 або МФ3 | 1.Хлористим цинком.
2.Азотом при 1100 – 1200°С |
| Безолов'яні бронзи | ІЛТ, ІЛК, полум'яні | Графіто-шамотна, графіто-карборундова | Чисті метали (МО, М5,М7; А5,А7; Н, Н2; лігатури) | 1.Мідь, Мн, Fe
2.Разкислюють Cu-Р;
3. Алюміній. | Деревне вугілля + кріоліт +бура в співвідношенні 2: 1:1 | Фосфором (0,005-0,02%Р) у вигляді МФ1 або МФ3 | Рідкий флюс (NaCl-20%, CaF ₂ ,40% Na ₃ AlF ₆ -40%; |

| | | | | | | | |
|-----------------|-----|------------|----------------------|---|-----------------|---|--|
| | | | , зворот | | | | 2.Хлористі солі (MnCl ₂ ; C ₂ Cl ₆ та інші) |
| Берилеві бронзи | ІЛТ | Графітовий | Чисті метали, зворот | Мідь розпл. під шаром дерев. вугілля, нагрів до 1200°С і знімають вугілля. Розкислюють Р і уводять Ве та Ті у вигляді лігатур | Деревне вугілля | Фосфором (0,005-0,02%Р) у вигляді МФ1 або МФ3 | |

Примітка: 0,1 – 0,3% уводять у графітовому дзвоні. Продувка N, Ar -0,05л/хв. на кг сплаву. Модифікування V, W, B, Zr, Ti у вигляді лігатур: алюміній –бор або мідь –бор(0,05 –0,15%).

Таблиця 5.17. Технологічна карта виплавки сплавів на основі магнію

| Тип сплаву | Тип печі | Футеровка | Склад шихти | Порядок завантаження | Покр. флюс | Рафінування | Модифікування |
|----------------------------|--|---|---|--|-----------------|--|--|
| 1. Mg,
Mg-Zn,
Mg-PЗМ | 1. Паливні тигельні (на нафті, мазуті)

СПТ-0.35 | Сталевий тигель | Магній Mg1,
Алюміній А0,
Цинк Ц2,
Лігатура,
Зворот ,
Відходи | Тигель нагрівають до 500 °С і завантажують флюс, розплавляють і завантажують шихтові матеріали (підігріті до 100-150 °С) у послідовності : | ВІ 2

ВІ3 | Рафінують при температурі 700-720°С флюсом ВІ2,ВІ3-засипають на поверхню (1%), замішують 5-6 хв. і видаляють з поверхні.
Нагрівають до 750-780 °С, засипають свіжий флюс, витримують 10-15 хв.. Знижують до необхідної температури , видаляють водень продувкою азотом при температурі 660-685 °С або аргоном при 740-760°С. | 1. Сплави Mg, Mg-Zn, Mg-PЗМ : модифікують цирконієм (0,3-1%)у вигляді лігатури Mg-Zr (20%Zr) при 850-900 °С.

Сплави Mg-Mn, Mg-Al-Zn: модифікують матеріалами, що містять вуглець, хлорним залізом, кальцієм або перегрівом. |
| 2.Mg- Mn,
Mg-Al-Zn | 2.Відбивні полум'яні

НОП-1,5

3. Індукційні тигельні

ІПА-250,
ІПА-500,
ІПМ-350,
ІГТ-1,6 | Магnezитовий

Сталевий тигель | | магній, відходи, зворот, лігатура, алюміній, цинк, кадмій, кальцій. Церій и берилій додають перед розливанням | | | |

ТЕМА 6. ТВЕРДНЕННЯ ВИЛИВКА

Характер тверднення виливків

По мірі протікання процесу тверднення збільшується кількість твердої й зменшуються кількість рідкої фаз. Поверхня контакту твердої фази з рідкою може бути рівною. Це характерна ознака послідовного, пошарового або поступового тверднення. Площина контакту твердої та рідкої фаз називається площиною кристалізації або площиною твердіння. Якщо поверхня контакту розплаву й твердої фази має достатньо складну конфігурацію, обидві фази стикаються одна з одною на визначеній ширині. Цей інтервал називається двофазною зоною.

Якщо ширина двофазної зони така велика, що вона існує деякий час по всій ширині виливка, поки почнеться тверднення від поверхні, то це явище називають об'ємним твердненням.

Таким чином, у виливку, що твердне, розрізняють три фази:

- 1) сплав, що став твердим;
- 2) сплав, що твердне;
- 3) рідкий розплав.

Під час тверднення всередині виливка відбувається ряд небажаних процесів, котрі можуть викликати:

- 1) утворення усадкових порожнин, так званих раковин (цей процес називають усадкою);
- 2) виділення газів з виливка, який твердне, що обумовлює виникнення газових раковин;
- 3) утворення ликватів у двофазній зоні.

Процес тверднення виливка характеризується законом переміщення у часі та просторі шару розплаву, що затверднув, або законом тверднення:

$$\xi = k \sqrt{\tau}, \quad (6.1)$$

де ξ — товщина твердої оболонки виливка; $\xi = d\xi / dt$ — швидкість тверднення.

Процес тверднення залежить від багатьох факторів: матеріалу виливка, матеріалу форми, швидкості заливання, потужності падаючого струменю, через те, що можливе

розбризування струменю на самому початку процесу заливання, коли струмінь падає на дно форми. Розбризування буде визначатися енергією, що вноситься, яку можна оцінити потужністю падаючого струменю

$$N = \frac{mv^2}{2}, \quad (6.2)$$

де m - масова витрата; v - лінійна швидкість.

$$w = \mu f_0 \sqrt{2gH}, \quad (6.3)$$

$$m = \rho \mu f_0 \sqrt{2gH}, \quad (6.4)$$

де w - об'ємна витрата сплаву.

Лінійна швидкість струменю на відстані h

$$v = \sqrt{2g} (\psi \sqrt{H} + \sqrt{h}) \quad (6.5)$$

тоді

$$N = \pi \rho \mu d^2 g \sqrt{2gH} (\psi \sqrt{H} + \sqrt{h})^2 \quad (6.6)$$

Масова витрата

$$m = \frac{M}{\tau},$$

де M - маса сплаву, що заливають; τ - час заливання; d - діаметр отвору у чаші.

За наявності декількох отворів у кількості n

$$m = n (\pi \rho d^2 \mu \sqrt{2gH}). \quad (6.7)$$

Таким чином, для забезпечення загальної витрати можна використати декілька струменів меншого діаметра, при цьому імовірність розбризування розплаву буде знижуватися.

Практична робота 6. Розрахунок умов тверднення виливка

Завдання 6.1. Визначити масову витрату розплаву при течії по ливниковій системі, яка складається з чаші, стояка, шлаковловлювача та одного живильника.

Розплав по ливниковій системі протікає вільним струменем. Площа поперечного перетину живильника $F_{\text{пит}}$, загальна висота натиску від рівня розплаву у чаші до живильника H . Коефіцієнт втрат натиску з чаші у стояк ζ_1 ; зі стояка у шлаковловлювач ζ_2 ; при переході з колектора у живильник ζ_3 ; коефіцієнт втрат натиску на тертя по всій системі ζ_4 . Дані для розрахунку наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Дані для розрахунку масової витрати сплаву

| № вар. | Сплав | Густина, г / см^3 | $F_{\text{пит}}, \text{см}^2$ | $H, \text{см}$ | Коефіцієнти втрат натиску | | | |
|--------|--------|----------------------------|-------------------------------|----------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | ζ_1 | ζ_2 | ζ_3 | ζ_4 |
| 1 | Mg | 1,74 | 4 | 20 | 0,5 | 0,2 | 1,2 | 0,6 |
| 2 | Бр.А5 | 8,5 | 5 | 25 | 0,6 | 0,3 | 1,1 | 0,7 |
| 3 | ЛЦ25 | 8,95 | 6 | 30 | 0,65 | 0,4 | 1,3 | 0,56 |
| 4 | Sn | 7,3 | 5,5 | 45 | 0,48 | 0,6 | 1,1 | 0,52 |
| 5 | Бр.С10 | 9,1 | 7 | 40 | 0,6 | 0,7 | 1,4 | 0,7 |
| 6 | Al | 2,7 | 4 | 25 | 0,5 | 0,25 | 1,2 | 0,9 |
| 7 | Cu | 8,93 | 4,5 | 45 | 0,5 | 0,2 | 1,2 | 0,6 |
| 8 | Ni | 8,9 | 6,2 | 55 | 0,6 | 0,3 | 1,1 | 0,7 |
| 9 | Zn | 7,15 | 7,4 | 57 | 0,65 | 0,4 | 1,3 | 0,56 |
| 10 | Бр.А5 | 2,7 | 8,2 | 48 | 0,48 | 0,6 | 1,1 | 0,52 |
| 11 | ЛЦ25 | 8,6 | 4,8 | 59 | 0,6 | 0,7 | 1,4 | 0,7 |
| 12 | Sn | 7,3 | 5,6 | 35 | 0,5 | 0,25 | 1,2 | 0,9 |
| 13 | Бр.С10 | 8,95 | 6,8 | 45 | 0,5 | 0,2 | 1,2 | 0,6 |
| 14 | Fe | 7 | 4,8 | 12 | 0,6 | 0,3 | 1,1 | 0,7 |
| 15 | Ni | 8,9 | 5,9 | 15 | 0,65 | 0,4 | 1,3 | 0,56 |

Витрата розплаву визначається за формулою, г/с:

$$Q = V \cdot F_{\text{пит}} \cdot \rho, \quad (6.8)$$

де V - швидкість потоку, см/с;

$$V = \varphi \sqrt{2gH} \quad (6.9)$$

$F_{\text{пит}}$ – площа перетину живильника, см²; ρ - густина сплаву, г/см³;
 H - натиск, см; φ - коефіцієнт витрати

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum \zeta_i}}; \quad (6.10)$$

$$\sum \zeta_i = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4 \quad (6.11)$$

де $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \zeta_4$ - коефіцієнти втрат натиску при переході з чаші у стояк, зі стояка у шлаковловлювач, у живильник та на тертя по своїй системі, відповідно; g - прискорення земного тяжіння, см/с².

Завдання 6.2. Визначити тривалість витікання розплаву з ковша. Діаметр ковша - D , м; висота розплаву у ковші H , м; діаметр отвору у днищі ковша d , м; коефіцієнт витрати μ .

Швидкість потоку розплаву

$$V = \psi \sqrt{2gH}, \quad (6.12)$$

де ψ – коефіцієнт швидкості.

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi}} \quad (6.13)$$

ξ - коефіцієнт втрат напору.

Об'ємна витрата сплаву

$$W = \mu \cdot f_o \sqrt{2gH}, \quad (6.14)$$

де f_o – площа отвору; μ – коефіцієнт витрати; $\mu = e \cdot \psi$, де e – коефіцієнт стиснення (0,62 – 0,64).

Зміна об'єму dV за час $d\tau$ за рахунок того, що з отвору витікає об'єм

$$dW = W \cdot d\tau = \mu \cdot f_o \sqrt{2gH} d\tau. \quad (6.15)$$

З іншого боку

$$dW = F \cdot dH, \quad (6.16)$$

де F – площа перетину ковша.

Таким чином, після відповідних перетворень, отримуємо

$$\tau = [2 F (\sqrt{H_0} - \sqrt{H})] / (\mu f_o \sqrt{2g}). \quad (6.17)$$

Це тривалість зменшення рівня розплаву від H_0 до H . Об'єм розплаву, що витікає дорівнює Q .

При $H = 0$ тривалість зниження рівня, с:

$$\tau = (2 F \sqrt{H_0}) / (\mu f_o \sqrt{2g}) \quad (6.18)$$

або

$$\tau = \frac{2D^2 \sqrt{H_0}}{\mu d_o^2 \sqrt{2g}}. \quad (6.19)$$

Таблиця 6.2. Дані для розрахунку часу витікання розплаву з ковша

| № з/п | Діаметр ковша, D , м | Висота розплаву у ковші, H_0 , м | Діаметр отвору, d_o , м | Коефіцієнт витрати, μ |
|-------|------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 1,0 | 0,8 | 0,025 | 0,55 |
| 2 | 1,5 | 1,25 | 0,03 | 0,6 |
| 3 | 2,0 | 1,8 | 0,035 | 0,65 |
| 4 | 2,3 | 2,0 | 0,04 | 0,7 |
| 5 | 2,5 | 2,3 | 0,042 | 0,68 |
| 6 | 1,75 | 1,5 | 0,035 | 0,75 |
| 7 | 3,0 | 2,8 | 0,05 | 0,58 |

| | | | | |
|----|------|------|-------|------|
| 8 | 2,35 | 2,0 | 0,04 | 0,62 |
| 9 | 1,29 | 1,0 | 0,03 | 0,68 |
| 10 | 2,46 | 2,34 | 0,045 | 0,65 |
| 11 | 1,85 | 1,65 | 0,035 | 0,55 |
| 12 | 2,25 | 2,1 | 0,03 | 0,6 |
| 13 | 3,05 | 2,85 | 0,05 | 0,65 |
| 14 | 1,48 | 1,35 | 0,035 | 0,7 |
| 15 | 2,32 | 2,25 | 0,04 | 0,68 |
| 16 | 1,8 | 1,75 | 0,03 | 0,75 |
| 17 | 1,54 | 1,35 | 0,025 | 0,58 |
| 18 | 2,05 | 1,9 | 0,035 | 0,62 |
| 19 | 2,79 | 2,55 | 0,045 | 0,68 |
| 20 | 1,9 | 1,58 | 0,032 | 0,65 |

Завдання 6.3. Визначити за який проміжок часу та на якій відстані від зовнішньої поверхні завершиться тверднення виливка.

Виливок у вигляді порожнистого циліндра із товщиною стінки 20 мм. Залежність товщини X затверділого шару із зовнішньої сторони має вигляд $X_1 = \kappa_1 \sqrt{\tau}$ ($\kappa_1 = 0,2 \text{ см/с}^{1/2}$), з внутрішньої сторони $X_2 = \kappa_2 \sqrt[3]{\tau}$ ($\kappa_2 = 0,15 \text{ см/с}^{0,33}$).

Вирішення:

Товщина затверділого шару іззовні складе $\xi = \kappa_1 \sqrt{\tau}$, см, а усередині циліндру $\xi = \kappa_2 \sqrt[3]{\tau}$ відповідно, де κ_1, κ_2 – коефіцієнт тверднення; τ - тривалість тверднення, с.

Величину κ_i можна визначити за наступними формулами:

$$k = \frac{1,13 \epsilon_{\phi} (t_{\text{нов}} - t_{\text{поч}})}{(\epsilon_{\text{кр}} + \epsilon_{\text{пер}}) \rho_2 + \left(\frac{t_{\text{кр}} - t_{\text{пов}}}{2} \right) c_1 \rho_1}, \quad (6.20)$$

$$k = \sqrt{\frac{2\lambda(t_{\text{кр}} - t_{\text{пов}})}{\rho_m [L + c_m (t_{\text{кр}} - t_{\text{пов}}) / 2]}}}, \quad (6.21)$$

$$k = 2 \cdot \epsilon_{\phi} \cdot (t_{\text{кр}} - t_{\text{поч}}) / [L \cdot \rho_m \cdot \sqrt{\pi}], \quad (6.22)$$

$$k = \sqrt{\frac{2\lambda_1 \cdot (t_{кр} - t_{пов})}{\rho_2 \cdot L}} \quad (6.23)$$

$$k = \sqrt{\frac{2\lambda_1 \cdot (t_{кр} - t_{пов})}{\rho_2 L}} / \sqrt{1 + \rho_1 c_1 (t_{кр} - t_{пов}) / (2\rho_2 L)}. \quad (6.24)$$

де $\epsilon_\phi = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$ - коефіцієнт теплоакумуючої здатності, Вт с^{1/2}/(м² К); λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу форми, Вт/(м К); ρ - густина матеріалу форми, кг/м³; c - теплоємність матеріалу форми, Дж/кг К; $q_{кр}$, $q_{пер}$ - теплота кристалізації та перегріву сплаву, Дж/кг; $t_{поч}$, $t_{кр}$, $t_{пов}$ - початкова температура форми, кристалізації сплаву та поверхні розділу форми та виливка, К; c_1 - питома теплоємність сплаву, Дж/кг К; λ_1 - коефіцієнт теплопровідності твердого сплаву, Вт/(м К); ρ_1, ρ_2 - густина твердого та рідкого сплаву, кг/м³; L - теплота кристалізації сплаву, Дж/кг.

Початкова температура поверхні розділу форми та виливка визначається за виразом

$$t_{пов} = \frac{t_{зал} \epsilon_{отл}}{\epsilon_{отл} + \epsilon_\phi} \quad (6.25)$$

або

$$t_{пов} = \frac{\epsilon_{отл}}{\epsilon_{отл} + \epsilon_\phi} (t_{зал} - t_o) + t_o. \quad (6.26)$$

де t_o – температура навколишнього середовища, К.

Відповідь: тверднення виливку завершиться за 50 секунд на відстані у 14 мм від зовнішньої поверхні.

Завдання 6.4. Отримати залежність у вигляді формули

$x = a\sqrt{\tau}$ - в для наступних даних:

| | | | | |
|--------------------------------------|---|---|-----|-----|
| товщина затверділого шару - x , см | 0 | 0 | 0,3 | 0,6 |
| тривалість тверднення - τ , с | 0 | 4 | 9 | 16 |

Вирішення:

За двома точками складаємо рівняння залежності $x = f(t)$ у заданому вигляді для 2-х точок (наприклад – т. 3 та т. 4)

$$\text{для т. 3} \quad 0,3 = a\sqrt{9} - v$$

$$\text{для т. 4} \quad 0,6 = a\sqrt{16} - v$$

Вирішуючи систему рівнянь, отримаємо $a = 0,3$; $v = 0,6$.

Відповідь: $x = 0,3\sqrt{\tau} - 0,6$.

Завдання 6.5. Визначити час тверднення виливка.

Виливок у вигляді плоскої плити завтовшки b , мм отримують у формі з наступними характеристиками ($\lambda_{\phi} = \text{Вт}/(\text{м К})$, $c_{\phi} = \text{Дж}/(\text{кг К})$, $\rho_{\phi} = \text{кг}/\text{м}^3$).

Матеріал виливку – сплав (L , Дж/кг; ρ , кг/м³). Розплав залитий у форму без перегріву $t = t_{\text{кр}}$, К. Початкова температура форми $t_{\text{нач}}$, К.

Приклад:

Виливок у вигляді плоскої плити товщиною 24 мм отримують у піщаній формі ($\lambda_{\phi} = 1,2 \text{ Вт}/(\text{м К})$, $c_{\phi} = 1300 \text{ Дж}/(\text{кг К})$, $\rho = 1650 \text{ кг}/\text{м}^3$). Матеріал виливка – сірий чавун ($L = 250000 \text{ Дж}/\text{кг}$, $\rho = 7200 \text{ кг}/\text{м}^3$). Розплав залитий без перегріву $t = t_{\text{кр}} = 1100 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Початкова температура форми $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вирішення: Визначаємо час тверднення за формулою $\tau = \frac{\xi^2}{\kappa^2}$; де ξ - половина товщини виливка, см.

Визначаємо κ за формулою $\kappa = 2 b_{\phi} (t_{\text{кр}} - t_{\text{нач}}) / [L \cdot \rho_m \cdot \sqrt{\pi}]$, де $b_{\phi} = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$.

Таким чином, $b_{\phi} = 1604 \text{ Вт с}^{1/2}/(\text{м}^2 \text{ К})$, а $\kappa = 0,108 \text{ см}/\text{с}^{1/2}$ відповідно. Тривалість тверднення виливка складе:

$$\tau = \frac{\xi^2}{\kappa^2} = 1,2^2 / 0,108^2 = 123 \text{ с.}$$

Дані для варіантів завдання наведені у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3. Дані для розрахунку тривалості тверднення, с

| № вар | Сплав | $\delta_{отл}$
мм | Форма | $t_{зал.}$
°С | $t_{ф.}$
°С | $\rho_{ф}$
кг/м ³ | $\lambda_{ф}$,
Вт/м К | $c_{ф}$,
Дж/кг К | $L_{спл.}$
КДж/кг | $\rho_{спл}$,
г/см ³ | $\tau_{затв.}$
с |
|-------|---------|----------------------|-----------|------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------|
| 1 | Ст 20Л | 20 | суха | 1600 | 20 | 1600 | 0,4 | 1000 | 270 | 7,6 | 206,8856 |
| 2 | Ст 45 | 30 | волога | 1580 | 25 | 1700 | 0,5 | 1500 | 245 | 7,5 | 193,4354 |
| 3 | СЧ | 12 | - « - | 1100 | 30 | 1750 | 0,6 | 1200 | 250 | 7,2 | 63,47154 |
| 4 | КЧ | 24 | - « - | 1400 | 35 | 1650 | 0,7 | 1300 | 265 | 7,4 | 155,3806 |
| 5 | Ст20 | 18 | - « - | 1500 | 25 | 1730 | 1,0 | 1400 | 260 | 7,6 | 47,11621 |
| 6 | Ал2 | 10 | суха | 700 | 30 | 1560 | 0,8 | 1000 | 400 | 2,7 | 40,85949 |
| 7 | Ал4 | 8 | - « - | 740 | 15 | 1650 | 1,3 | 1050 | 380 | 2,65 | 10,75861 |
| 8 | Ал 7 | 14 | - « - | 800 | 20 | 1680 | 1,4 | 1200 | 390 | 2,8 | 26,71181 |
| 9 | Ал5 | 6 | - « - | 760 | 25 | 1590 | 1,2 | 1300 | 375 | 2,7 | 5,405126 |
| 10 | Бр.О5С5 | 10 | магнезит | 1200 | 35 | 2400 | 4 | 1200 | 200 | 8,8 | 3,88804 |
| 11 | Бр.А7 | 12 | - « - | 1100 | 40 | 2700 | 4,1 | 1250 | 205 | 8,5 | 5,518847 |
| 12 | Бр.Б2,5 | 25 | - « - | 1050 | 20 | 2650 | 4,3 | 1200 | 210 | 8,7 | 28,22258 |
| 13 | Бр.Х4 | 20 | - « - | 1100 | 15 | 2800 | 3,9 | 1300 | 220 | 8,9 | 18,00817 |
| 14 | Ni -Cu | 14 | ел.корунд | 1450 | 25 | 2500 | 2 | 1600 | 250 | 8,95 | 11,8542 |
| 15 | Ni -Cu | 18 | - « - | 1360 | 30 | 2700 | 2,5 | 1550 | 260 | 8,9 | 18,39681 |
| 16 | Ni-Cu | 10 | - « - | 1270 | 20 | 2750 | 2,2 | 1650 | 240 | 8,55 | 5,297916 |
| 17 | Мл 3 | 6 | суха ф.с | 700 | 25 | 1655 | 0,5 | 1350 | 370 | 1,8 | 6,156747 |
| 18 | Мл 5 | 10 | - « - | 710 | 35 | 1680 | 0,8 | 1370 | 360 | 1,75 | 9,284604 |
| 19 | Ti -Ni | 12 | графіт | 1700 | 40 | 1200 | 30 | 1500 | 345 | 6,0 | 0,813772 |
| 20 | Ti - Ni | 20 | - « - | 1650 | 35 | 1350 | 35 | 1600 | 350 | 5,7 | 1,584487 |

*) Зведена товщина - це відношення площі перетину вилівка до периметра охолодження у цьому перетині.

РОЗДІЛ 2. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

7. Лабораторна робота 1. Дослідження впливу типу ливникових систем і температури заливання сплаву на якість виливків з алюмінієвих сплавів

Мета роботи – визначення впливу типу ливникової системи, температури заливання сплаву на якість виливків, отриманих з алюмінієвих сплавів.

7.1.1 Загальні відомості

Ливникова система являє собою систему каналів і елементів ливарної форми для підведення розплаву в порожнину форми, забезпечення її заповнення і живлення виливка при твердінні.

До ливникових систем пред'являють ряд вимог, основними з яких є:

- забезпечення направленої твердіння металу;
- спокійного заповнення форм при одночасній максимально можливій об'ємній швидкості.

Ливникові системи повинні бути економічні, легко виконуватися при формуванні і відокремлюватися від виливка. При виробництві виливка з кольорових сплавів застосовується кілька типів ливникових систем. Вибір типу ливникової системи залежить від багатьох факторів, головними з яких є:

- положення виливка у формі;
- габаритні розміри виливка і конфігурація;
- властивості сплаву;
- можливість живлення виливка надливками;
- пропоновані до виливка вимоги (відповідальна або невідповідальна);
- зручність відокремлення живильників від виливка.

Найбільше застосування знайшли наступні типи ливникових систем: верхня, нижня, вертикально-щілинна, ярусна, бічна, комбінована (рис. 7.1).

Кожен тип ливникової системи має свої переваги і недоліки.

При використанні верхньої ливникової системи забезпечується заповнення форми металом по найкоротшому

шляху. Створюються найбільш сприятливі умови для направленої кристалізації вилівка знизу до надлиwkів; у найменшому ступені одержують розвиток місцеві перегриви форми і пов'язані із цим дефекти. Вона найбільш проста по виконанню, легко відокремлюється при обрубці лиття і при цьому найменші, у порівнянні з іншими типами ливникових систем, витрати металу за рахунок зменшення розмірів надлиwkів.

Недоліки верхньої ливникової системи: - каскадне скидання розплаву у форму; - немає умов для затримання шлаків у колекторі; - створюється небезпека розмиву форми і стрижнів потоком металу, що падає з висоти.

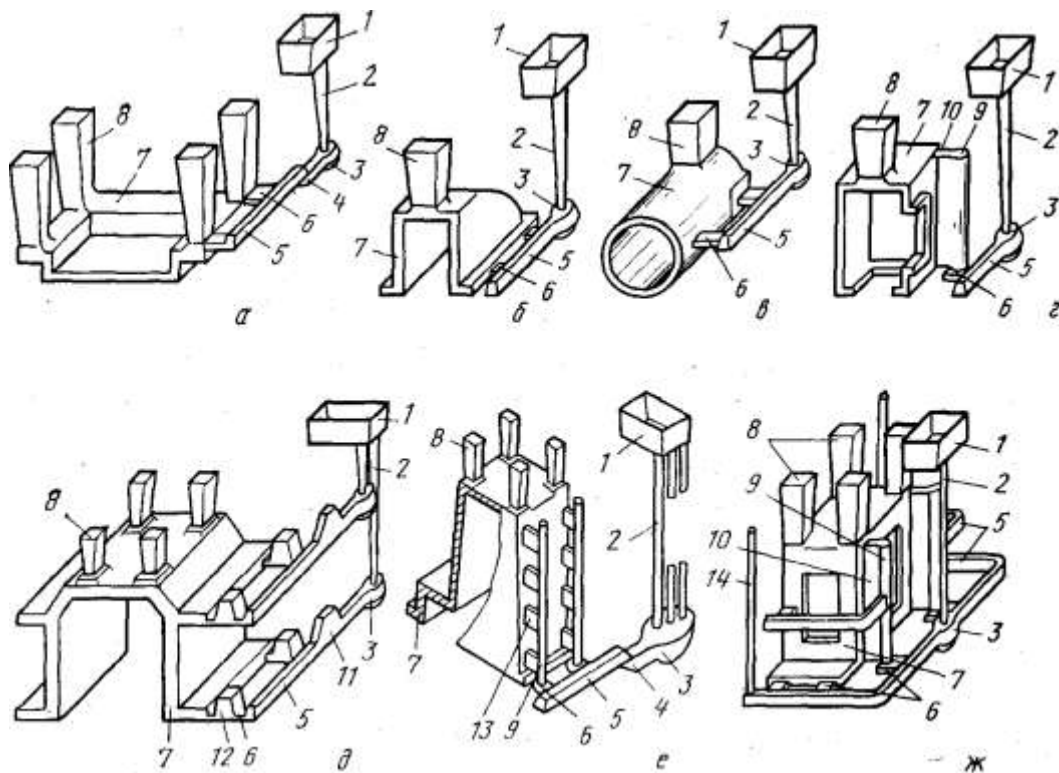


Рис. 7.1. Основні типи ливникових систем для лиття алюмінієвих сплавів у піщані форми (по Н. М. Галдіну): а - верхня; б - нижня; в - бічна; г - вертикально-щілинна; д - ярусна з горизонтально розташованими живильниками; е - ярусна з вертикально розташованими живильниками; ж - комбінована;

1 - чаша; 2 - стояк; 3 - зумпф; 4 - металозбірник; 5 - колектор; 6 - горизонтальний живильник; 7 - вилівок; 8 - прибуток; 9 - колодязь; 10 - вертикальна щілина; 11 - шлаковик; 12 - живильна бобишка; 13 - вертикальний живильник; 14 - випір

Верхня ливникова система застосовується при одержанні виливка, що має висоту до 100 мм, а також при литті дрібних деталей.

При використанні *нижньої ливникової системи* відбувається спокійне заповнення форми, виключається спінювання і окислювання розплаву, зменшується кількість неметалевих включень, що перебувають у розплаві до його надходження у форму; забезпечується заповнюваність і послідовне витиснення повітря й газів з порожнини форми; легко видаляється під час обрубкування. Однак при використанні цієї системи порушується тепловий режим виливка, через перегрів нижніх шарів форми, що може привести до утворення усадочних раковин і рихлот, важко забезпечується заповнення тонкостінних виливків.

При застосуванні *вертикально-щілинної ливникової системи* забезпечується спокійне введення розплаву у форму, заповнення форм тонкостінних виливків, затримка неметалевих включень в колекторі; створюються сприятливі умови для послідовної кристалізації виливка, забезпечується подача гарячого металу у верхні шари виливка і надливка. Недолік цієї системи - можливість спінювання сплаву в початковий момент заповнення форми, що приводить до утворення дефектів усадочного характеру, складність її виконання і видалення під час обрубки.

При *ярусній ливниковій системі* створюються сприятливі умови для заповнення форми і кристалізації виливка, тому що найбільш гарячі порції розплаву надходять у верхню її частину, а послідовне заливання знизу сприяє спокійному заповненню і витисненню повітря. Недоліком цієї системи є складність її виготовлення, тому що потрібна наявність декількох горизонтальних поверхонь рознімань форми.

Бічна ливникова система забезпечує заповнення нижньої частини виливка зверху і верхньої частини виливка знизу.

Комбінована ливникова система, що включає кілька типів систем (наприклад, нижню з вертикально-щілинним), має переваги цих систем. Створюються умови для спокійного заповнення форми, раціонального розподілу температури, забезпечення послідовної кристалізації. Недолік комбінованої системи - складність виконання і видалення її під час обрубки, підвищена витрата металу.

За співвідношенням площ перетину елементів ливникової системи поділяються на такі, що розширюються (незаповнені), і такі, що звужуються (заповнені). У кольоровому литті частіше застосовуються ливникові системи, що розширюються.

Співвідношення площ перетину основних елементів для:

- нижнього $F_{ст} : F_{шл} : F_{пит} = 1:2:3$;

- щілинного $F_{ст} : F_{шл} : F_{пит} = 1:2:4$;

- ярусного $F_{ст} : F_{шл} : F_{пит} = 1:3:6$.

Швидкість підйому металу в порожнині форми не повинна перевищувати $4,5/\delta$ (δ - переважна товщина стінок виливка, см).

Мінімальна швидкість підйому металу у форму, см/с:

$$V_{\min} = 0,22\sqrt{H_{вил}} / \delta \ln \frac{t_{зал}}{380}, \quad (7.1)$$

де $H_{вил}$ – висота виливка, см; $T_{зал}$ – температура заливання, °С.

Площа мінімального перетину ливникової системи, см²:

$$F = 1000 \frac{G}{\mu \cdot \tau \cdot \rho \sqrt{2gH_p}}, \quad (7.2)$$

де G – маса виливка, кг; μ – коефіцієнт витрати (< 1), для Al – 0,65 - 0,75, для Mg – 0,7 - 0,8; τ – тривалість заливання, с; ρ – густина сплаву, г/см³; H_p – розрахунковий натиск металу, см.

7.1.2. Порядок виконання роботи

7.1.2.1. Підготувати три форми з різними типами ливникових систем (рисунок 7.2).

7.1.2.2. Підготувати сплав і довести його температуру до 670 – 680 °С.

7.1.2.3. Залити сплав до однієї з форм.

7.1.2.4. Нагріти сплав до 700 - 710 °С і залити до другої форми.

7.1.2.5. Нагріти сплав до 740 - 750 °С і залити до третьої форми.

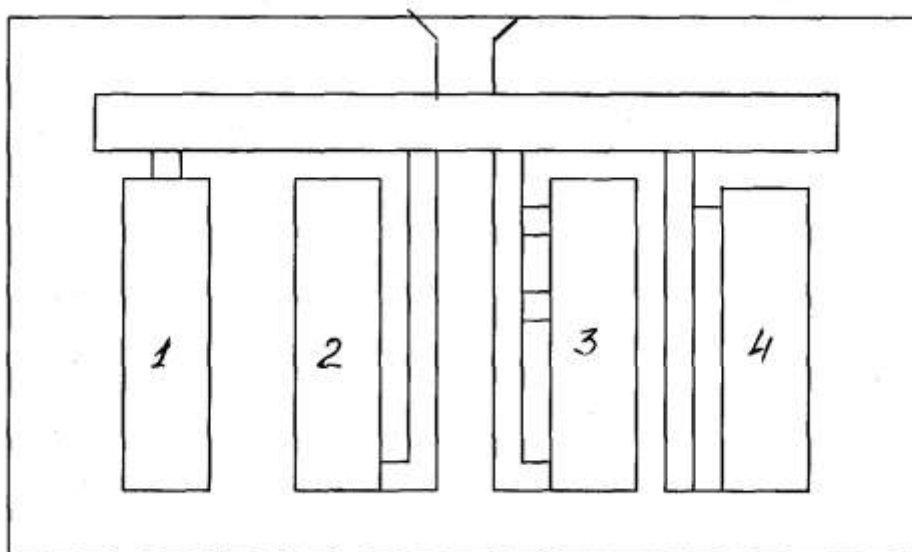


Рис. 7.2. Схема розташування моделей виливків з ливниковою системою на модельній плиті

7.1.2.6. Після тверднення металу вибити форми і на пластини нанести маркування. На пластинках першої форми 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, де перша цифра – порядковий номер заливання форми; друга – порядковий номер розташування моделей на модельній плиті, що відповідає наступним типам ливникових систем: 1 - верхня, 2- сифонна, 3- комбінована, 4 - вертикально-щілинна.

7.1.2.7. Відрізати живильники та підготувати темплети, а саме:

- темплети зважити на повітрі та у воді й визначити густину для кожної ливникової системи. Побудувати графік залежності густини сплаву від типу ливникової системи;

- темплети відшліфувати наждаковим папірцем і протравити 15% розчином NaOH протягом 10-12 хв., промити водою та нейтралізувати 40%-м розчином HNO_3 .

7.1.2.8. Зобразити шліфи та описати характер розташування і кількість усадкових пор у залежності від типу ливникової системи і температури розплаву. Визначити число пор на 1 см^2 та їх діаметр. Бал пористості визначити відповідно до таблиці 7.1.

Густину та вміст газів визначити за таблицею 7.2.

Таблиця 7.1. Число і діаметр пор в еталонах пористості для алюмінієвих сплавів

| Бал пористості | Кількість пор на 1 см ² , не більше | Діаметр пор, мм, не більше (кількість пор даного діаметра, %) |
|----------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| I | 5 | 0,1 (90); 0,2 (10) |
| II | 10 | 0,1 (80); 0,2 (20) |
| III | 15 | 0,3 (80); 0,5 (20) |
| IV | 20 | 0,5 (70); 1,0 (30) |
| V | 25 | 0,5 (60); 1,0 (30); 1,2 (10) |

Таблиця 7.2. Взаємозв'язок між еталонами пористості (бали) і вмістом газу та густиною алюмінієвих сплавів

| Бал пористості | I | II | III | IV | V |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ρ , г/см ³ | 2,652-2,669 | 2,656-2,658 | 2,642-2,645 | 2,632-2,640 | 2,556-2,589 |
| H ₂ , см ³ / 100 г | 0,35-0,40 | 0,40-0,65 | 0,65- 1,00 | 1,00- 1,30 | 1,30- 2,60 |

Макрошліфи готують із зразків, вирізаних з виливка, або спеціальних приливів до виливків, після травлення порівнюють пористість з еталонами по шкалі пористості.

7.1.3. Контрольні питання

1. Вимоги до ливникових систем для кольорового лиття.
2. Типи ливникових систем, їх переваги та недоліки.
3. Співвідношення площ перетину елементів ливникової системи для кольорового лиття (Al; Mg).
4. Основні правила техніки безпеки під час плавки сплавів та їх розливання.

Лабораторна робота 2. Дослідження впливу температури заливання і хімічного складу на ливарні властивості алюмінієвих сплавів

Мета роботи – дослідження величини і характеру розподілу усадкових дефектів у залежності від температури заливання і хімічного складу сплавів.

7.2.1. Загальні відомості

Під об'ємною усадкою сплавів розуміють різницю між об'ємами порожнини форми та виливка після охолодження.

Причинами появи об'ємної усадки у виливках є те, що коефіцієнти термічного стиснення сплавів у рідкому стані й у період кристалізації значно вище коефіцієнтів термічного стиснення їх у твердому стані. Тому при охолодженні до нормальних температур зміна об'єму затверділої зовнішньої оболонки буде менша ніж зміна об'єму, що знаходиться усередині металу, і проявляється у виливках у вигляді внутрішніх і зовнішніх концентрованих усадкових раковин, або у вигляді розосередженої пористості.

Схильність різних сплавів до утворення концентрованих усадкових раковин або розосередженої пористості різна. Так, чисті метали і сплави евтектичного вмісту, які кристалізуються за постійної температури, більше схильні до утворення концентрованої усадкової раковини, а сплави із широким інтервалом кристалізації – до утворення розосередженої пористості. Пояснюється це тим, що при переході від сплавів з вузьким інтервалом кристалізації до сплавів із широким інтервалом кристалізації при твердінні збільшується зона твердорідкого стану і погіршуються умови підживлення або компенсація порожнин рідким металом.

На товщину твердорідкої зони сплаву, що кристалізується, істотно впливає швидкість охолодження: чим вона більша, тим менша товщина двофазної зони. Тому більш інтенсивне охолодження сприяє виникненню концентрованих усадочних раковин, повільне - розосередженої пористості. Суттєвий вплив на об'ємну усадку має і температура сплаву, з підвищенням якої

відносний об'єм концентрованої усадкової раковини збільшується.

Схильність сплавів до утворення усадкових раковин і пор визначають за допомогою технологічних проб. Однією з таких проб може бути виліток на зразок зрізаного конусу. По відлитих пробах визначають об'єм відкритих раковин V_p шляхом заповнення їх гасом. Загальний об'єм усадкових раковин і пор V_0 визначають як різницю між повним об'ємом виливка V_n і об'ємом сплаву у технологічній пробі V_c :

$$V_0 = V_n - V_c . \quad (7.3)$$

Об'єм сплаву в технологічній пробі знаходять за формулами:

$$V_c = \frac{P_B}{\gamma_M} ; \quad (7.4)$$

$$\gamma_M = \frac{P_B}{P_B - P_{Ж}} \gamma_B , \quad (7.5)$$

де P_B – маса проби на повітрі, м; $P_{Ж}$ – маса проби у воді, м; γ_B – густина води, г/см³.

Обсяг усадкових пор знаходять як різницю між V_0 та V_p :

$$V_{у.п.} = V_0 - V_p . \quad (7.6)$$

7.2.2. Порядок виконання роботи

7.2.2.1. Приготувати сплав АЛ2 (12% Si) і довести його температуру до 680-690 °С.

7.2.2.2. Підготувати кокілі та нагріти їх за допомогою газового пальника до температури 200-210 °С.

7.2.2.3. Залити сплав у три кокілі, витримавши до повної кристалізації сплаву, витягти виливки з кокілів і маркувати їх 1-1, 1-2, 1-3.

7.2.2.4. Нагріти сплав до температури 720-730 °С і відлити три зразки, витримавши до повної кристалізації сплаву, витягти виливки з кокілів і маркувати їх 1-4, 1-5, 1-6.

7.2.2.5. Нагріти сплав до температури 750–760 °С та відлити три зразки, витримавши до повної кристалізації сплаву, витягти виливки з кокілів і маркувати їх 1-7, 1-8, 1-9.

7.2.2.6. Приготувати сплав, близький за хімічним складом до АЛ4 (9% Si), підшихтовкою до сплаву, що залишився в печі АЛ2, первинним алюмінієм і за тих же температур, що й для сплаву АЛ2, відлити дев'ять зразків і маркувати їх відповідно від 2-1 до 2-9.

7.2.2.7. Приготувати сплав, близький за хімічним складом до АЛ9 (6% Si), підшихтовкою до сплаву, що залишився в печі, АЛ4 первинним алюмінієм і за тих же температур, що і для сплаву АЛ2, відлити дев'ять зразків і маркувати їх відповідно від 3-1 до 3-9.

7.2.2.8. Приготувати сплав, близький за хімічним складом до АЛ10 (5% Si, 6% Cu), підшихтовкою до сплаву, що залишився в печі, АЛ9 катодною міддю і за тих же температур, що і для сплаву АЛ 2, відлити дев'ять зразків і маркувати їх відповідно від 4-1 до 4-9.

Примітка. Перехід від однієї марки до іншої робити наступним чином. Зважити всі зразки, відлиті з даної марки сплаву, за різницею з вихідною масою розплаву визначити залишок сплаву у печі.

Розрахувати необхідну кількість первинного алюмінію (або міді) для зниження вмісту кремнію (або уведення міді) у сплаві, що залишився, до заданої кількості. Маса залишку сплаву попередньої марки з масою добавки алюмінію (міді) становитиме вихідну масу наступної марки сплаву.

7.2.2.9. Відлиті зразки охолодити на повітрі до кімнатної температури і визначити об'єм відкритих усадкових раковин V_p шляхом заповнення їх гасом з мірної бюретки.

7.2.2.10. Встановити габаритні розміри зразків штангенциркулем і визначити повний об'єм виливка V_0 .

7.2.2.11. Зважити зразки на повітрі й у воді, попередньо підвісивши їх на капроновій нитці, визначити за формулами (7.4) і (7.5) об'єм сплаву V_c у технологічній пробі.

7.2.2.12. За формулою (7.3) визначити загальний об'єм усадкових раковин і пор V_0 .

7.2.2.13. За формулю (7.6) розрахувати об'єм усадкових пор $V_{у.п.}$

7.2.2.14. По діаграмі стану визначити інтервал кристалізації сплавів.

Отримані дані занести до таблиці 7.3.

Таблиця 7.3. Форма для систематизації результати дослідів

| Температура сплаву, °C | Вид і об'єм усадкових дефектів сплавів, см ³ | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------|----------------|----------------|----------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| | АЛ2 | | | | | АЛ4 | | | | | номер зразка | V _p | V _п | V _c | V _o | V _{уп} |
| | номер зразка | V _p | V _п | V _c | V _o | V _{уп} | номер зразка | V _p | V _п | V _c | | | | | | |
| 680 - 690 | 1-1 | | | | | | 2-1 | | | | | | | | | |
| | 1-2 | | | | | | 2-2 | | | | | | | | | |
| | 1-3 | | | | | | 2-3 | | | | | | | | | |
| | с.а.* | | | | | | | | | | | | | | | |
| 720 - 730 | 1-4 | | | | | | 2-4 | | | | | | | | | |
| | 1-5 | | | | | | 2-5 | | | | | | | | | |
| | 1-6 | | | | | | 2-6 | | | | | | | | | |
| | с.а. | | | | | | | | | | | | | | | |
| 750 - 760 | 1-7 | | | | | | 2-7 | | | | | | | | | |
| | 1-8 | | | | | | 2-8 | | | | | | | | | |
| | 1-9 | | | | | | 2-9 | | | | | | | | | |
| | с.а. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Інтервал кристал. | | | | | | | | | | | | | | | | |

*с. а. - середнє арифметичне

7.2.2.15. Побудувати графіки залежності об'єму відкритої усадкової раковини V_p і пор $V_{у.п.}$ від інтервалу кристалізації і температури сплавів під час заливання.

7.2.2.16. Для зазначеної викладачем марки сплаву і температури розрахувати:

- середнє квадратичне відхилення середньоарифметичного V_p і V_0 від дійсного значення за формулою:

$$S_{\bar{V}_p} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (V_{p_i} - \bar{V}_p)^2}; \quad (7.7)$$

$$S_{\bar{V}_0} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_{0i} - \bar{V}_0)^2}; \quad (7.8)$$

- довірчу границю δ_p середньоарифметичного при необхідній довірчій імовірності P та значенні t (таблиця 7.4):

Таблиця 7.4. Значення t при різних довірчих ймовірностях P і числі вимірів n

| Число ступенів свободи | Значення t при різних значеннях P | | | | | | |
|------------------------|---------------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,95 | 0,98 | 0,99 |
| 1 | 1,376 | 1,963 | 3,080 | 6,31 | 12,71 | 31,80 | 63,70 |
| 2 | 1,061 | 1,336 | 1,886 | 2,92 | 4,30 | 6,96 | 9,92 |
| 3 | 0,978 | 1,250 | 1,638 | 2,35 | 3,18 | 4,54 | 5,84 |
| 4 | 0,941 | 1,190 | 1,533 | 2,13 | 2,77 | 3,78 | 4,60 |

при $P = 0,95$ і $t_p = 4,3$

$$\delta_{P_1} = \frac{4,3 \cdot S_{\bar{V}_P}}{\sqrt{n}}; \quad (7.9)$$

$$\delta_{P_2} = \frac{4,3 \cdot S_{\bar{V}_0}}{\sqrt{n}}. \quad (7.10)$$

Привести остаточний результат визначення V_p і V_0 :

$$V_P = \bar{V}_P \pm \delta_{P_1}; \quad (7.11)$$

$$V_0 = \bar{V}_0 \pm \delta_{P_2}. \quad (7.12)$$

7.2.2.17. На токарському або фрезерному верстаті розрізати по одному зразку від кожної серії дослідів по центру уздовж

довгої осі. Під час розрізання зразки встановити так, щоб їх маркування перебувало з боку затискуючого патрона. Отримані половини проб відшліфувати наждаковим папером і протерти 15%-м розчином NaOH протягом 12 хв. Проби промити водою і нейтралізувати 40%-м розчином HNO_3 , зобразити шліфи.

7.2.2.18. Описати характер розташування і кількість усадкових раковин і пор, узагальнити експериментальні дані й зробити висновок про вплив температури заливання і хімічного складу сплаву на об'єм відкритої усадкової раковини і усадкової пористості.

7.2.3. Контрольні питання

1. *Що розуміють під об'ємною усадкою сплавів ?*
2. *Причини появи об'ємної усадки у виливках.*
3. *Із чого складається об'ємна усадка виливків ?*
4. *Вплив хімічного складу сплавів на величину і характер розташування усадкових раковин і пор.*
5. *Сутність непрямого методу визначення об'єму відкритих усадкових раковин і усадкових пор.*
6. *Вплив температури сплаву на об'ємну усадку виливків.*

Лабораторна робота 3. Дослідження впливу матеріалу форми на швидкість тверднення виливків

Мета роботи – дослідження впливу матеріалу форми на динаміку кристалізації виливків.

7.3.1. Загальні відомості

Тверднення розплаву у формі, тобто перехід сплаву з рідкого стану у твердий в умовах форми, є специфічним етапом технології лиття. Під час тверднення формується більшість найважливіших властивостей виливка. Тверднення обумовлене відводом теплоти від розплаву у форму, відбувається воно в результаті зародження і росту кристалів в розплаві, що охолоджується. Супроводжується перерозподілом розчинних компонентів даного сплаву між твердою фазою і розплавом,

фільтрацією цього розплаву між зростаючими кристалами і деформацією затверділого сплаву (внаслідок розвитку його лінійної усадки і опору з боку форми). Від кількості, форми кристалів і їхнього орієнтування в тілі вилівка залежать службові й технологічні властивості литого виробу. Перерозподіл розчинених компонентів між твердою і рідкою фазами призводить до хімічної неоднорідності вилівка. Неповнота процесу фільтрації розплаву між зростаючими кристалами викликає утворення усадочної пористості. Найважливіший фактор, що спричиняється протіканням процесу твердіння і розвитком супутніх явищ, - теплообмін між твердіючим розплавом і ливарною формою.

Головне завдання теорії тверднення вилівка – розрахунок швидкості тверднення розплаву у формі і виявлення зв'язку між цим комплексним параметром лиття і властивостями вилівка. Швидкість тверднення залежить від складу формувальної суміші.

7.3.2. Порядок виконання роботи

7.3.2.1. Підготувати форму, в котрій чотири сторони виготовлені з таких матеріалів: 1. Азбест. 2. Шамот. 3. Метал. 4. Формувальна суміш. Згідно до схеми, яка наведена на рисунку 7.3.

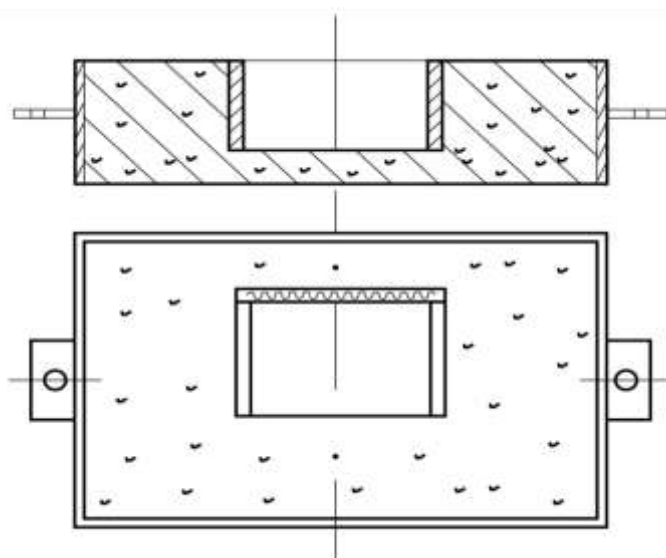


Рис. 7.3. Схема розташування вилівка та матеріалів у формі

7.3.2.3. Підготувати сплав і довести його температуру до 680-700 °С.

7.3.2.4. Залити сплав у форму.

7.3.2.5. Температуру визначити за допомогою хромель-алюмінієвої термопари.

7.3.2.6. Побудувати криві охолодження виливків у координатах температура - час.

7.3.2.7. Розрахувати кінетику утворення твердої кірки при заливанні у форми з різних матеріалів за формулою:

$$\xi = \kappa \sqrt{\tau}, \quad (7.13)$$

де κ – коефіцієнт тверднення, м/с^{1/2}.

Коефіцієнт тверднення визначається з рівняння теплового балансу на границі розподілу твердої і рідкої фаз:

$$\kappa = \frac{1,13 \cdot \epsilon_{\phi} \cdot (t_{нов} - t_{нач})}{q_{кр} + q_{пер} \cdot \gamma_2 + \left(\frac{t_{кр} - t_{нов}}{2} \right) \cdot C_1 \cdot \gamma_1}, \quad (7.14)$$

де ϵ_{ϕ} – коефіцієнт акумуляції матеріалу форми, Вт·с^{1/2}/(м²·К); $t_{нов}$ – температура зовнішньої поверхні вилівка, °С; $t_{нач}$ – початкова температура форми, °С; $q_{кр}$ – теплота кристалізації, Дж/кг; c_2 – теплоємність незатверділого шару, Дж/(кг·К); $t_{ж}$ – початкова температура розплаву, °С; t_0 – температура навколишнього середовища, °С; $t_{кр}$ – температура кристалізації розплаву, °С; γ_2 – густина незатверділого шару, кг/м³; c_1 – теплоємність твердого металу, Дж/(кг·К); γ_1 – густина твердого металу, кг/м³.

$$t_{нов} = \frac{b_M}{b_M + b_{\phi}} \cdot t_{зал} + t_0 + t_0, \quad (7.15)$$

де b_M – коефіцієнт акумуляції матеріалу вилівка, $\text{Вт}\cdot\text{с}^{1/2}/(\text{м}^2 \text{ К})$; b_ϕ – коефіцієнт акумуляції матеріалу форми, $\text{Вт}\cdot\text{с}^{1/2}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; $t_{\text{зал}}$ – температура заливання, К .

7.3.2.8. Побудувати графік зміни величини твердої кірки (ξ , м) у залежності від часу (τ , год.).

7.3.2.9. Розрахувати температурне поле форми за формулою:

$$t(x, \tau) = t_n - (t_n - t_0) \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha\tau}}\right), \quad (7.16)$$

де t_n – температура контакту поверхні виливок – форма, $^{\circ}\text{C}$; t_0 – початкова температура форми, $^{\circ}\text{C}$; x – координата, у якій визначається температура, м; α – коефіцієнт температуропровідності матеріалу форми, $\text{м}^2/\text{с}$; τ – час, для якого визначається температура форми, с.

7.3.2.10. Побудувати криві розподілу температури для форм з різних матеріалів.

7.3.3. Контрольні питання

1. Фактори, що визначають процес тверднення.
2. Вихідні формувальні матеріали, їхня характеристика.
3. Основні властивості формувальних і стрижневих сумішей.
4. Особливості сумішей, що застосовуються при литті сплавів на основі кольорових металів.
5. Застосовувані заходи для запобігання загоряння магнієвих сплавів.
6. Склад формувальних сумішей для алюмінієвих сплавів.
7. Техніка безпеки під час плавлення і заливання сплавів.

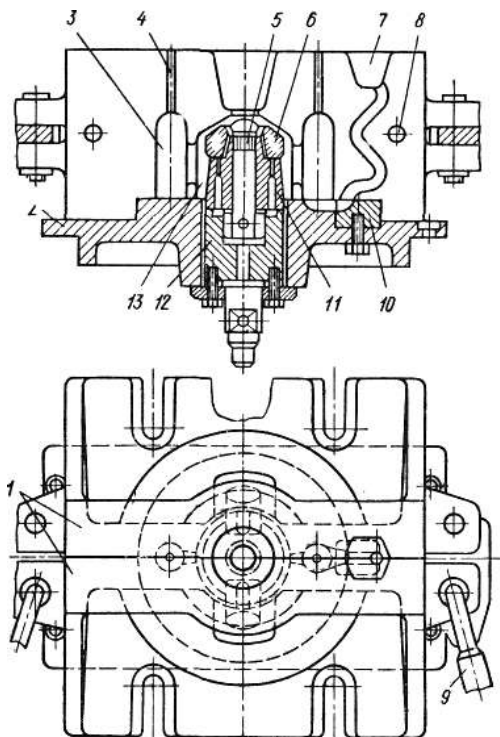
Лабораторна робота 4. Дослідження впливу температури кокіля і сплаву на якість виливків

Мета роботи – дослідження впливу температури кокілю і сплаву на якість виливків.

7.4.1. Загальні відомості

Кокіль - металева форма, що заповнюється розплавом під дією гравітаційних сил. На відміну від разової піщаної форми кокіль може бути використаний багаторазово. Таким чином, сутність лиття в кокілі полягає у застосуванні металевих матеріалів для виготовлення ливарних форм багаторазового використання металеві частини яких, становлять їх основу і формують конфігурацію і властивості виливка.

Кокіль (рис. 7.4) складається з двох напівформ 1, плити 2, вставок 10. Напівформи взаємно центруються штирями 8, і перед заливанням їх з'єднують замками 9. Розміри робочої порожнини 13 кокілю більше розмірів виливка на величину усадки сплаву. Порожнини і отвори у виливка можуть бути виконані металевими 11 або піщаними 6 стрижнями, що витягаються з виливка після його тверднення і охолодження до заданої температури.



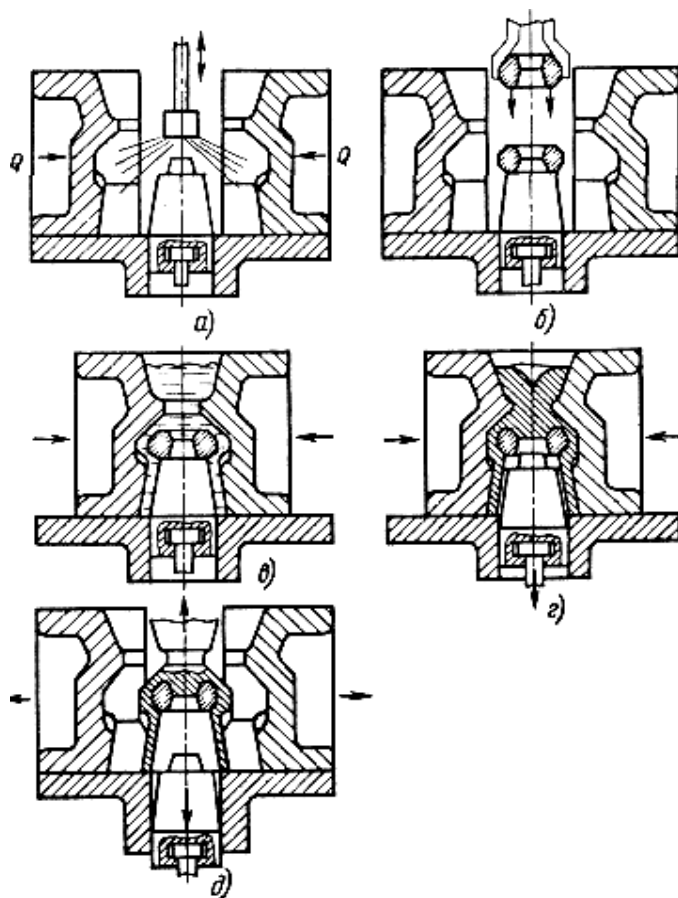
- 1- напівформи;
- 2 - плити;
- 3 - надливок;
- 4 - випори;
- 5 - пробки;
- 6 - піщані стрижні;
- 7 - ливникова система;
- 8 - штирі;
- 9 - замки;
- 10 - вставка;
- 11 - металевий стрижень;
- 12 - вставка;
- 13 - робоча порожнина кокілю

Рис. 7.4. Кокіль

Розплав заливають у кокіль через ливникову систему 7, виконану в його стінках, а живлення масивних вузлів виливка здійснюється з надливків 3. При заповненні кокілю розплавом повітря і газу видаляються з його робочої порожнини через вентиляційні випори 4, пробки 5, канали 12, що утворюють вентиляційну систему кокілю. Основні елементи кокілю, це напівформи, плити, вставки, стрижні - зазвичай виготовляють з чавуна або сталі. Вище розглянутий кокіль простої конструкції, але на практиці використовують кокілі різних, досить складних конструкцій.

7.4.1.1. Основні операції технологічного процесу

Перед заливанням розплаву новий кокіль готують до роботи (рис. 7.5): поверхню робочої порожнини і розйому ретельно очищають від слідів забруднень, іржі, олії; перевіряють легкість переміщення рухливих частин, точність їх центрування, надійність кріплення.



*а - нанесення фарби;
 б - установка стрижнів
 (піщані або металеві);
 в - з'єднання половин
 кокілю;
 г - «підрив» виливка;
 д - видалення виливка з
 кокілю*

Рис. 7.5. Послідовність виготовлення виливків в кокілі

Потім на поверхню робочої порожнини і металевих стрижнів наносять шар вогнетривкого покриття, облицювання й фарби. Склад облицювань і фарб залежить в основному від сплаву, що заливається, а їх товщина - від необхідної швидкості охолодження виливка: чим більший шар вогнетривкого покриття, тим повільніше охолоджується вилівок. Разом з тим шар вогнетривкого покриття зберігає робочу поверхню форми від різкого підвищення її температури при заливанні металу. Таким чином, облицювання і фарби виконують дві функції: захищають поверхню кокілю від різкого нагріву й схоплення з виливком і дозволяють регулювати швидкість охолодження виливка, а значить, і процеси його твердіння, що впливають на властивості металу виливка.

Перед нанесенням вогнетривкого покриття кокіль нагрівають газовими пальниками або електричними нагрівачами до температури 423-453 К. Фарби наносять на кокіль зазвичай у вигляді водної суспензії через пульверизатор. Краплі водної суспензії, потрапляючи на поверхню нагрітого кокілю, випаровуються, а вогнетривка складова рівним шаром покриває поверхню.

Після нанесення вогнетривкого покриття кокіль нагрівають до робочої температури, яка залежить в основному від складу сплаву, що заливається, товщини стінки виливка, його розмірів, необхідних властивостей. Температура нагрівання кокілю перед заливанням 473-623 К. Потім у кокіль встановлюють піщані або керамічні стрижні, якщо такі необхідні, для отримання виливка; половини кокілю з'єднують і скріплюють спеціальними затискачами, а при установці кокілю на кокільній машині за допомогою механізму запирання, після чого заливають розплав у кокіль. Часто в процесі тверднення і охолодження виливка, після того як вилівок матиме достатню міцність, металеві стрижні «підривають», тобто частково витягають з виливка до витягання з кокілю. Це роблять для того, щоб зменшити обтиснення металевого стрижня виливком, який дає усадку, і забезпечити його витягання з виливка. Після охолодження виливка до заданої температури кокіль розкривають, остаточно витягають металевий стрижень і видаляють вилівок з кокілю. З виливка вибивають

піщаний стрижень, обрізають ливники, надливки, випори, контролюють якість виливка. Потім цикл повторюється.

Перед повторенням циклу оглядають робочу поверхню кокілю, площину розніму. Вогнетривку фарбу наносять на робочу поверхню кокілю 1-2 рази на зміну, зрідка відновлюючи її в місцях, де вона відшарувалася від робочої поверхні. Після цього за необхідності, що частіше буває при литті тонкостінних виливків або сплавів з низькою рідкоплинністю, кокіль підігрівають до робочої температури, тому що за час витягання виливка і фарбування робочої поверхні він охолоджується. Якщо ж вилівок досить масивний, то, навпаки, кокіль може нагріватися його теплою до температури більшої, ніж необхідна робоча, і перед наступним заливанням його охолоджують. Для цього в кокілі передбачають спеціальні системи охолодження.

Як видно, процес лиття в кокіль – малоопераційний. Маніпуляторні операції досить прості й короткочасні, а лімітуючою за тривалістю операцією є охолодження виливка у формі до заданої температури. Практично всі операції можуть бути виконані механізмами машини або автоматичної установки, що є істотною перевагою способу, і, звичайно, найголовніше - виключається трудомісткий і матеріалоємний процес виготовлення форми: кокіль використовується багаторазово.

7.4.1.2. Особливості формування і якість виливків

Кокіль - металева форма, яка має, в порівнянні з піщаною, значно більшу теплопровідність, теплоємність, міцність, практично нульову газопроникненість і газотворність. Ці властивості матеріалу кокілю обумовлюють особливості його взаємодії з металом виливка.

1. Висока ефективність теплової взаємодії між вилітком і формою: розплав і тверднучий вилівок охолоджуються в кокілі швидше, ніж у піщаній формі, тобто при однакових гідростатичному напорі й температурі розплаву, що заливається, заповнення кокілю зазвичай гірше, ніж піщаної форми. Це ускладнює одержання в кокілях виливків із сплавів зі зниженою рідкоплинністю і обмежує мінімальну товщину стінок і розміри виливків. Разом з тим підвищена швидкість охолодження сприяє

одержанню щільних виливків із дрібнозернистою структурою, що підвищує міцність і пластичність металу виливків. Однак у виливках з чавуну, отриманих у кокілях, внаслідок особливостей кристалізації часто утворюються карбіди, феритографітна евтектика, які негативно впливають на властивості чавуну: знижується ударна в'язкість, зносостійкість, різко зростає твердість у відбіленому поверхневому шарі, що утрудняє обробку різанням таких виливків і призводить до необхідності піддавати їх термічній обробці (віджигу) для усунення відбілу.

2. Кокіль практично невіддатливий і більш інтенсивно перешкоджає усадці виливка, що утруднює витягання його з форми, може викликати появу внутрішніх напружень, короблень і тріщин у виливку.

Однак розміри робочої порожнини кокілю можуть бути виконані значно точніше, ніж у піщаній формі. При литті в кокіль відсутні похибки, які виникають при розштовхуванні моделі, пружними і залишковими деформаціями піщаної форми, що знижують точність її робочої порожнини і відповідно виливка. Тому виливки в кокілях виходять точнішими. Точність виливків у кокілях зазвичай відповідає 12-15-ам квалітетам по СТ СЭВ 145- 75. При цьому точність по 12-му квалітеті можлива для розмірів, розташованих в одній частині форми. Точність розмірів, розташованих у двох і більше частинах форми, а також оформлюваних рухливими частинами форми, нижче. Коефіцієнт точності виливків по масі досягає 0,71, що забезпечує можливість зменшення припусків на обробку різанням.

3. Фізико-хімічна взаємодія металу виливка і кокілю мінімальна, що сприяє підвищенню якості поверхні виливка. Виливки в кокілі не мають пригару. Шорсткість поверхні виливків визначається вмістом облицювань і фарб, що наносяться на поверхню робочої порожнини форми, і відповідає $Rz = 80-18$ мкм, але може бути й менше.

4. Кокіль практично газонепроникний, але і газотворність його мінімальна і визначається в основному складами вогнетривких покриттів, що наноситься на поверхню робочої порожнини. Однак газові раковини в кокільних виливках - явище не рідке. Причини їх появи різні, але в будь-якому випадку розташування виливка у формі, спосіб підведення розплаву і

вентиляційна система повинні забезпечувати видалення повітря і газів з кокілю при заливанні.

7.4.1.3. Ефективність виробництва і галузь застосування

Ефективність виробництва виливків у кокілі, як, утім, і інших способів лиття, залежить від того, наскільки повно і правильно інженер-ливарник використовує переваги цього процесу, враховує його особливості й недоліки в умовах конкретного виробництва. Нижче наведені переваги лиття в кокіль на основі виробничого досвіду.

1. Підвищення продуктивності праці в результаті виключення трудомістких операцій сумішеприготування, формування, очищення виливків від пригару. Тому використання лиття в кокілі, за даними різних підприємств, дозволяє в 2-3 рази підвищити продуктивність праці в ливарному цеху, знизити капітальні витрати пид час будівництва нових цехів і реконструкції існуючих за рахунок скорочення необхідних виробничих площ, витрат на устаткування, очисні спорудження, збільшити знімання виливків з 1 м² площі цеху.

2. Підвищення якості виливка, обумовлене використанням металевої форми, підвищення стабільності показників якості: механічних властивостей, структури, густини, точності розмірів виливків.

3. Усунення або зменшення обсягу шкідливих для здоров'я операцій вибивки форм, очищення виливків від пригару, їх обрубки, загальне оздоровлення і поліпшення умов праці, зменшення забруднення навколишнього середовища.

4. Механізація і автоматизація процесу виготовлення виливка, обумовлене багаторазовістю використання кокілю. Для одержання виливків заданої якості легше здійснити автоматичне регулювання технологічних параметрів процесу. Автоматизація процесу дозволяє поліпшити якість виливків, підвищити ефективність виробництва, змінити характер праці ливарника - оператора, що керує роботою таких комплексів.

Недоліки лиття в кокіль:

- висока вартість кокілю, складність і трудомісткість його виготовлення;

- обмежена стійкість кокілю, вимірювана числом придатних виливків, які можна одержати в даному кокілі. Від стійкості кокілю залежить економічна ефективність процесу;
- складність одержання виливків з піднутреннями, для виконання яких необхідно ускладнювати конструкцію форми - робити додаткові розйоми, використовувати вставки, різні металеві або піщані стрижні;
- невіддатливий кокіль призводить до появи у виливках напруг, а іноді до тріщин.

Цей спосіб лиття застосовують як правило в серійних і масових виробництвах.

Ефективність лиття в кокіль зазвичай визначають у порівнянні з литтям у піщані форми. Економічний ефект досягається завдяки усуненню формувальної суміші, підвищенню якості виливків, їх точності, зменшенню припусків на обробку, зниженню трудомісткості очищення і обдування виливків, механізації і автоматизації основних операцій і, як наслідок, підвищенню продуктивності і поліпшенню умов праці.

Лиття в кокіль варто віднести до праце- і матеріалозберігаючих, малоопераційних і маловідходних технологічних процесів, що поліпшують умови праці в ливарних цехах і зменшують шкідливий вплив на навколишнє середовище.

7.4.1.4. Класифікація конструкцій кокілів

Залежно від розташування поверхні розйому розрізняють кокілі: нероз'ємні, з вертикальною площиною розйому, з горизонтальною площиною розйому, зі складною поверхнею розйому.

Нероз'ємні, або витрухні, кокілі застосовують коли конструкція вилівка дозволяє видалити його з площини кокілю без рознімання.

Кокілі з вертикальною площиною розйому складаються з двох і більше напівформ. Виливок може розташовуватися цілком в одній з половин кокілю, у двох половинах кокілю, одночасно в двох половинах кокілю і у нижній плиті.

Кокілі з горизонтальним розніманням застосовують переважно для простих по конфігурації, а також великогабаритних виливків.

Кокілі зі складною (комбінованою) поверхнею рознімання використовують для виготовлення виливків складної конфігурації.

Залежно від способу охолодження розрізняють кокілі з повітряним, рідинним і з комбінованим охолодженням. Повітряне охолодження використовують для малотеплонавантажених кокілів. Водяне охолодження використовують зазвичай для високотеплонавантажених кокілів, а також для підвищення швидкості охолодження виливка або його окремих частин.

До основних конструктивних елементів кокілів відносять:

Формотворні елементи - половини кокілів, нижні плити, вставки, стрижні, конструктивні елементи - виштовхувачі, плити виштовхувачів, що замикають механізми, системи нагрівання і охолодження кокілю та окремих його частин, вентиляційну систему, що центрують штирі і втулки.

Корпус кокілю або його половини виконують коробчастими, з ребрами жорсткості. Товщина стінки кокілю залежить від складу сплаву, що заливається, його температури, розмірів і товщини стінки виливка, матеріалу, з якого виготовляється кокіль, конструкції кокілю. Товщина стінки кокілю повинна бути достатньою, щоб забезпечити заданий режим охолодження виливка, достатню твердість кокілю і мінімальне його короблення при нагріванні теплотою залитого розплаву, стійкість проти розтікання.

Стрижні в кокілях можуть бути піщаними і металевими. Піщані стрижні для кокільних виливків повинні володіти зниженою газотворністю і підвищеною поверхневою міцністю. Перша вимога обумовлена труднощами видалення газів із кокілю; друге - взаємодією знакових частин стрижнів з кокілем, у результаті чого окремі піщинки можуть потрапити в порожнину кокілю і утворити засори у виливку. Стрижневі суміші і технологічні процеси виготовлення піщаних стрижнів можуть бути різними.

Металеві стрижні застосовують, коли це дозволяє конструкція виливка і технологічні властивості сплаву.

Використання металевих стрижнів дає можливість підвищити швидкість твердіння вилівка, скоротити тривалість циклу його виготовлення. Однак при використанні металевих стрижнів зростають напруги у вилівках, можлива поява тріщин.

Вентиляційна система забезпечує спрямоване витискання повітря з кокілю розплавом. Для виходу повітря використовують відкриті випори, надливки, зазори по площині рознімання і між рухливими частинами кокілю і спеціальні вентиляційні канали. У місцевих поглибленнях форми при заповненні їх розплавом можуть утворюватися повітряні мішки. У цих місцях у стінці кокілю встановлюють вентиляційні пробки. При виборі місця встановлення вентиляційних пробок необхідно враховувати послідовність заповнення форми розплавом.

Елементи, що центрують - контрольні штирі і втулки - призначені для точної фіксації половин кокілю під час його зборки. Зазвичай їх кількість не перевищує двох. Їх розташовують у діагонально протилежних кутах кокілю.

Замикаючі механізми призначені для запобігання розкриття кокілю і виключення прориву розплаву по його розйому при заповненні, а також для забезпечення точності вилівоків.

Системи нагрівання і охолодження призначені для підтримки заданого температурного режиму кокілю. Застосовують електричний і газовий обігрів. Перший використовується для загального нагрівання кокілю, другий більш зручний для загального і місцевого нагрівання.

7.4.1.5. Вплив кокілю на властивості вилівоків

Інтенсивне охолодження розплаву вилівоків у кокілі збільшує швидкість їх твердіння, що сприятливо впливає на структуру - подрібнюється зерно твердого розчину, евтектики і вторинних фаз. Структура силумінів, відлитої у кокіль, близька до структури модифікованих сплавів; знижується небезпека появи газової і газоусадочної раковини, зменшується шкідливий вплив заліза та інших домішок. Це дозволяє допускати великий вміст заліза в алюмінієвих вилівках, що отримуються у кокілях, у порівнянні з вилівками в піщані форми. Усе це сприяє підвищенню механічних властивостей вилівоків, їх герметичності.

Кокілі для лиття алюмінієвих сплавів застосовують масивні, товстостінні. Такі кокілі мають високу стійкість і велику теплову інерцію, після нагрівання до робочої температури вони охолоджуються повільно.

Положення вилівка у формі повинно сприяти його спрямованому твердінню. Тонкі частини вилівка розташовують унизу, а масивні вгорі, встановлюючи на них надливки і живильні випори.

Ливникова система забезпечує спокійне, плавне надходження розплаву в порожнину форми, надійне уловлювання оксидних плівок, шлакових включень і запобігає їх утворенню в каналах ливникової системи і порожнинах кокілю, сприяє спрямованому твердінню і живленню масивних вузлів вилівка.

Використовують ливникові системи з підводом розплаву *зверху, знизу, збоку, комбіновані і ярусні*.

Для одержання якісних виливків швидкість руху розплаву повинна уповільнюватись від перетину стояка до живильника. Тому для виливків з алюмінієвих сплавів застосовують ливникові системи, що розширюються, зі співвідношенням: $f_c : f_k : f_j = 1 : 2 : 3$ або $1 : 2 : 4$, де $f_c : f_k : f_j$ - площі поперечного переріза стояка, колектора, живильника відповідно.

Для великих (50-70 кг) і високих (750 мм) виливків $f_c : f_k : f_j = 1 : 3 : 4$ або $1 : 3 : 5$.

Технологічні режими лиття призначають залежно від властивостей сплаву, конфігурації вилівка і пропонованих до неї вимог. Для регулювання швидкості відводу теплоти від різних частин вилівка товщину і властивості вогнетривких покриттів у різних частинах кокілю часто роблять різними. Для фарбування в цих випадках використовують трафарети. Поверхні каналів ливникової системи покривають товстішим шаром фарб зі зниженою теплопровідністю, а поверхні надливникових частин іноді оклеюють тонколистовим азбестом. Тривалість витримки вилівка в кокілі призначають з урахуванням його розмірів і маси. Зазвичай виливок охолоджують у формі до температури 650 К. Тривалість охолодження вилівка до температури вибивки визначають розрахунком за спеціальними формулами і остаточно коректують при доведенні технологічного процесу.

Лиття в кокіль є одним з найбільш широко застосовуваних на сьогодні видів лиття. Завдяки автоматизації технологічного процесу, лиття в кокіль стає найбільше економічно вигідним при виготовленні великих партій виливків або початку серійного виробництва конкретної деталі.

7.4.2. Порядок виконання роботи

- 7.4.2.1. Підготувати розплав з температурою 700 °С.
- 7.4.2.2. Підготувати до заливання кокіль.
- 7.4.2.3. Провести заливку кокілю (при його температурі ~ 50 °С).
- 7.4.2.4. Нагріти кокіль до температури 250–300 °С.
- 7.4.2.5. При температурі кокілю 250–300 °С залити його розплавом.
- 7.4.2.6. Визначити густину виливка, зважуючи його на повітря і у воді.
- 7.4.2.7. Вивчити макроструктуру виливка.
- 7.4.2.8. Зробити висновки по роботі.

7.4.3. Контрольні питання

1. *Розкрити сутність лиття в кокілі.*
2. *Назвати основні елементи кокілю.*
3. *Назвати основні операції технологічного процесу.*
4. *Назвати переваги й недоліки лиття в кокіль.*
5. *Класифікація конструкцій кокілів.*

Лабораторна робота 5. Дослідження впливу температури сплаву на тріщиностійкість

Мета роботи – дослідження впливу температури на тріщиностійкість алюмінієвих сплавів.

7.5.1. Загальні відомості

На якість виливків великий вплив мають фізичні, фізико-механічні властивості сплавів, а також їх технологічні

властивості, які називають *ливарними властивостями*. До числа ливарних властивостей сплавів відносять рідкоплинність, лінійну і об'ємну усадку, тріщиностійкість. Як ливарна властивість розглядається також макро- і мікроструктура, схильність сплаву до газонасичення і до забруднення оксидними плівками під час плавлення, прояв ліквіаційної неоднорідності сплаву.

Рідкоплинність. Ця властивість виражається в здатності сплаву заповнювати ливарну форму. Рідкоплинність вимірюють за допомогою пруткових пробниць по довжині заповненого каналу невеликого перетину (рис. 7.6—7.8).

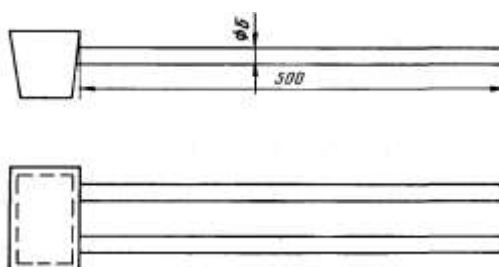


Рис. 7.6. Пруткова пробниця з прямими каналами для визначення рідкоплинності (проба Руффа)

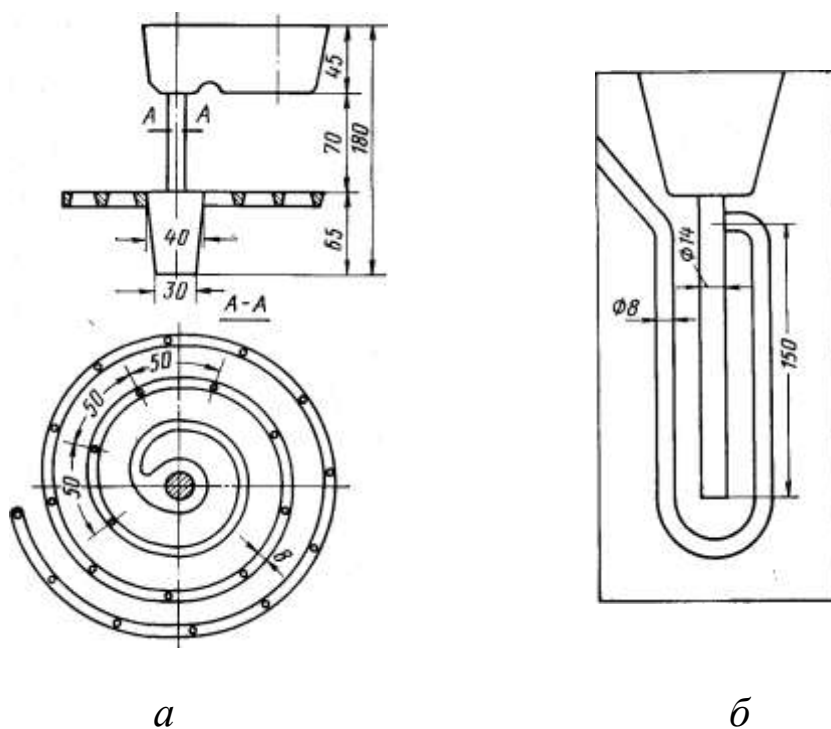


Рис. 7.7. Пруткова спіральна пробниця на рідкоплинність (проба Керрі) (а) та U-подібна пруткова пробниця на рідкоплинність (видозмінена проба Нехендзи - Самаріна)

Чисті метали, евтектики, а також усі сплави, що не мають інтервалу кристалізації, мають значно більшу рідкоплинність у порівнянні зі сплавами тієї ж системи, що кристалізуються в інтервалі температур.

Таким чином, рідкоплинність, як здатність рідкого сплаву заповнювати форму, визначається інтервалом кристалізації, формою первинних кристалів, величиною теплоти кристалізації первинно випадаючої фази. Для оцінки здатності сплаву заповнювати дуже тонкий рельєф використовують клинову або кулькову проби. У цих пробницях розплав має проникнути в гостру вершину клинчастої порожнини або затекти під кульку, що прилягає до плоскої стінки. Мірою рідкоплинності служить довжина незаповненої гострої вершини в клиновій та діаметр не залитого отвору в кульковій пробниці.

Лінійна усадка. Ця властивість сплавів визначається температурним коефіцієнтом лінійного розширення і температурою початку лінійної усадки сплаву. Сплави, що кристалізуються в інтервалі температур, набувають здатності зберігати форму вище точки солідуса, коли випало близько 50 % кристалів. Ця температура і називається температурою початку лінійної усадки. Її прояв видно на діаграмах залежності лінійної усадки сплавів від складу в подвійних системах із простою евтектикою (рис. 7.8).

Лінійна усадка сплавів визначає лінійну усадку виливків, але ці два показники не збігаються за величиною. Лінійна усадка сплавів – величина постійна при заданих умовах одержання зразків. Лінійна усадка вилівка може бути як менше, так і більше лінійної усадки сплаву.

Об'ємна усадка. Ця властивість визначається розходженням густини сплаву в рідкому і твердому станах, величиною інтервалу кристалізації і характером кристалізації всередині інтервалу. Вивчають і визначають об'ємну усадку, відливаючи невеликі зразки у вигляді кулі, куба або конуса і заміряючи обсяг усадкових порожнин.

Залежності прояву об'ємної усадки подвійних сплавів від складу (рис. 7.9).

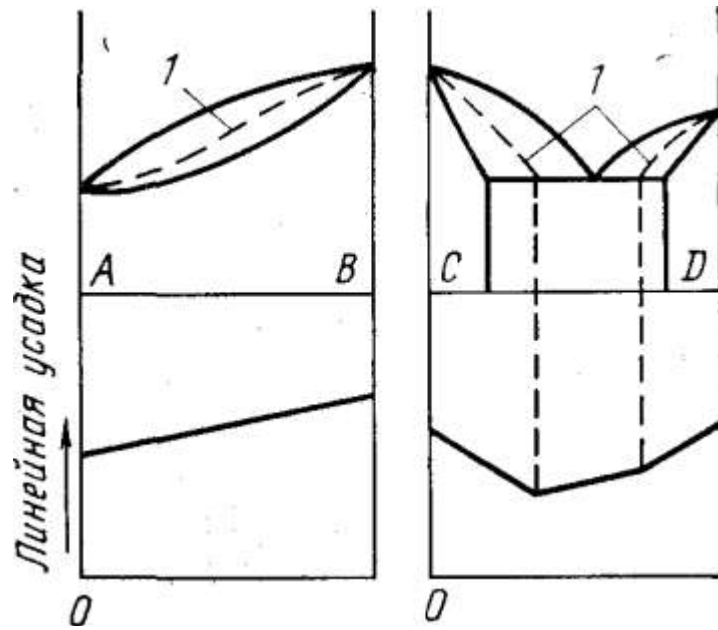


Рис. 7.8. Лінійна усадка сплавів систем А - В і С - Д: 1— температура початку лінійної усадки

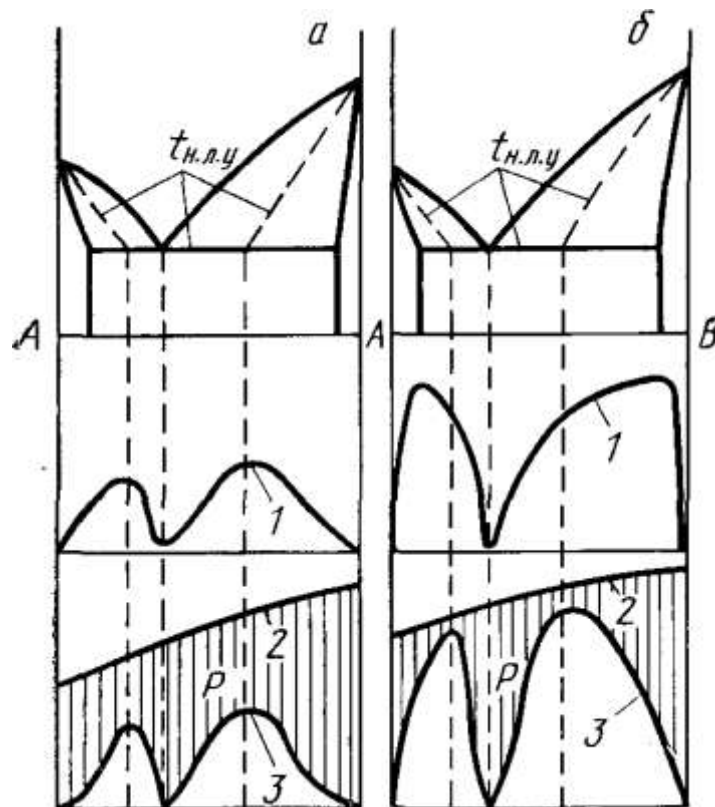


Рис. 7.9. Прояв об'ємної усадки в сплавах системи А- В при литті зразків у металеву (а) і піщану (б) форми: 1 - ширина пористої області; 2 - загальний обсяг усадкових порожнин; 3 - обсяг усадочної пористості; 4 - обсяг усадкових раковин (заштриховане)

У випадку інтенсивного охолодження (лиття зразків у металеву форму) пориста область займає лише порівняно невелику центральну частину.

Найбільша ширина пористої зони приходиться приблизно на склад, що відповідає на діаграмі стану точкам перетину лінії початку лінійної усадки і евтектичної горизонталі (крива 1 на рис. 7.9, а). Саме в цих сплавах в ході твердіння зразків була найбільш широка двохфазна перехідна зона, що містила найбільшу кількість рідини. Тому в цих сплавах і виявляється найбільший об'єм усадкової пористості (крива 3 на рис. 7.9, а).

При уповільненому охолодженні зразків у піщаній формі ширина пористої області значно більша, її максимум спостерігається у сплавах з найбільшим інтервалом кристалізації (крива 1 на рис. 7.9, б).

Тріщиностійкість. Цим терміном визначають здатність сплаву протистояти утворенню тріщин у литих зразках. Протилежну властивість називають схильністю до утворення тріщин або гарячеламкістю.

Тріщиностійкість вимірюють на зразках, що відливаються таким чином, щоб вони зазнали утруднену лінійну усадку (рис. 7.10). Утруднення створюються спеціальним вантажем P , яким зразок, що має форму двотавра, навантажується внаслідок лінійної усадки (рисунок 7.10, а), або металевими вставками-стрижнями на кільцевих зразках (рис. 7.10, б). Показником тріщиностійкості є напруга, яку витримує двотавровий зразок не руйнуючись. Чим більші ці напруги, тим вища тріщиностійкість сплаву. На кільцевих зразках показником тріщиностійкості є найменша ширина кільця без тріщин. Чим вона менша, тим більш тріщиностійкий сплав. Використовуються також інші проби і методи оцінки тріщиностійкості сплавів.

У подвійних системах з евтектикою вона велика в чистих компонентів і в сплавів, що містять достатню кількість евтектики в структурі. Відповідно гарячеломкість цих сплавів мінімальна. Найменшу тріщиностійкість мають сплави з найбільшим ефективним інтервалом кристалізації, що представляє різницю між температурою початку лінійної усадки і температурою нерівноважного солідуса. На рис. 7.11 область ефективного інтервалу заштрихована.

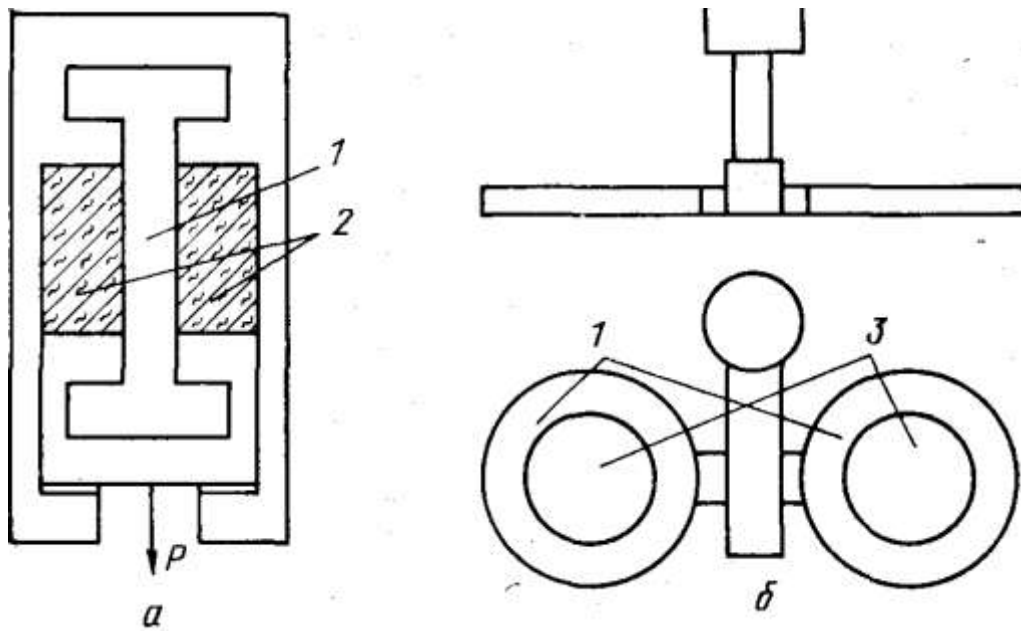


Рис. 7.10. Двотаврова (а) і кільцева (б) проби для визначення тріщиностійкості сплавів: 1 — зразок; 2 - формувальна суміш; 3 — металевий стрижень

Тріщиностійкість дуже сильно залежить від складу сплаву (рис. 7.11).

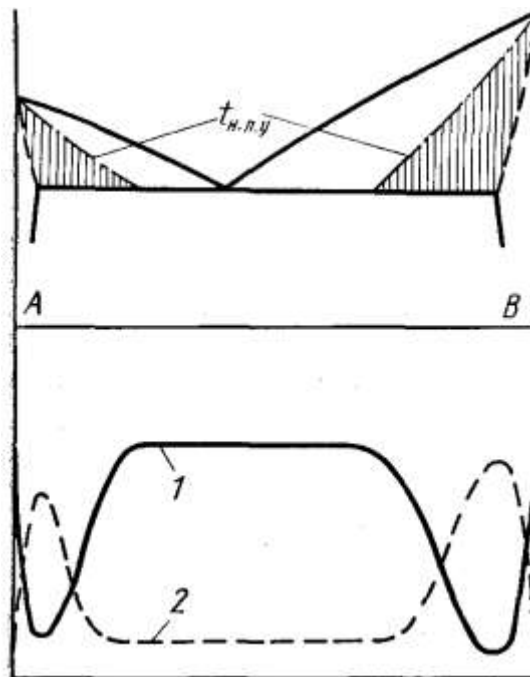


Рис. 7.11. Тріщиностійкість (1) і гарячеламкість (2) сплавів системи А–В. Пунктирними лініями показаний нерівноважний солідус

Важливо відзначити, що тріщиностійкість кожного чистого компонента дуже різко знижується при введенні іншого компоненту. У сплавах, що містять евтектику, тріщиностійкість зберігається на високому рівні в широкій зоні складів. Зміна тріщиностійкості сплавів найтіснішим чином пов'язана з ходом кристалізації, проявом лінійної усадки, міцністю і пластичністю сплаву в ефективному інтервалі кристалізації. Руйнування зразка, що твердне, відбувається в тих випадках, коли лінійна усадка, що почалася, викликає таку пластичну деформацію, яка перевершує пластичність сплаву за даних умов. Величина лінійної усадки до закінчення кристалізації приблизно пропорційна ефективному інтервалові кристалізації. Тому тріщиностійкість різко падає зі збільшенням цього інтервалу. Коли ж цей інтервал відсутній, тріщиностійкість висока.

Тріщиностійкість залежить також від форми кристалів, що випадають. У випадку розгалужених дендритів вона істотно менша, ніж при компактних кристалах. Залежність тріщиностійкості від величини ефективного інтервалу кристалізації однозначна лише для сплавів з однаковими первинними і вторинними фазами. Тому не можна оцінювати тріщиностійкість сплавів на основі різних металів, порівнюючи їх ефективні інтервали кристалізації.

Тріщиностійкість, в основному, визначається здатністю сплаву протистояти утворенню кристалізаційних тріщин. Треба відзначити, що у кільцевих пробах, де усадці перешкоджають міцні металеві стрижні-вставки, можуть виникати як гарячі, так і холодні тріщини.

Таким чином, ливарні властивості сплавів багато в чому залежать від положення на діаграмі стану, що визначає особливості процесу кристалізації. Ці особливості полягають у величині температурного інтервалу кристалізації сплаву (загального і ефективного). Велике значення має концентраційний інтервал кристалізації - різниця в складі перших кристалів, що випадають, і останньої зникаючої рідини.

Краще поєднання ливарних властивостей відзначається в сплавах, що лежать біля евтектичної точки і містять в своїй структурі досить велику кількість евтектичної складової.

7.5.2. Порядок виконання роботи

7.5.2.1. Підготувати дві форми на визначення тріщиностійкості (по моделі діаметром 105 мм 4 зразка у кожній формі, рис. 7.12).

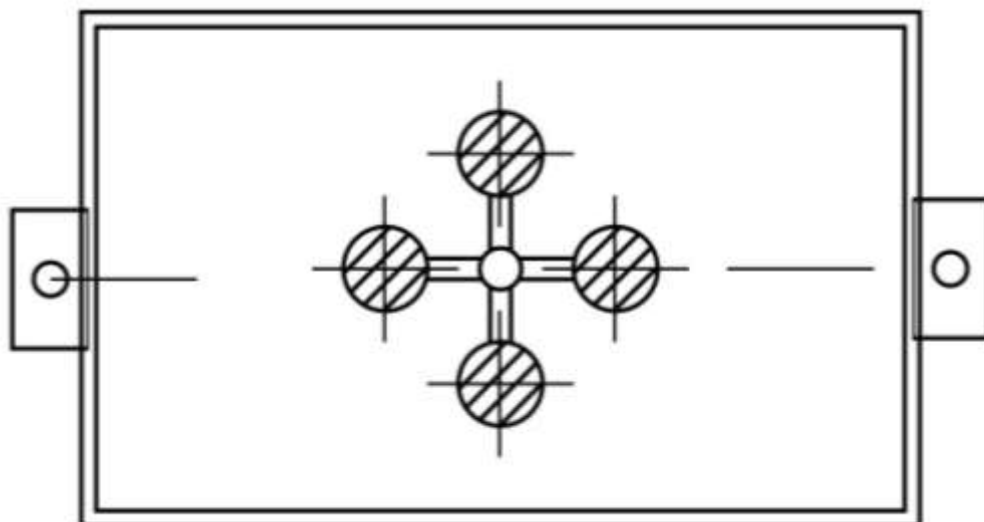


Рис. 7.12. Форма для визначення тріщиностійкості : 1 – металеві стрижні

7.5.2.2. Встановити у форму металеві стрижні різного діаметру (за вказівкою викладача).

7.5.2.3. Першу форму залити при температурі 700 °С.

7.5.2.4. Другу форму залити при температурі 750 °С.

7.5.2.5. Вибити зразки з форми і визначити тріщиностійкість за максимальною шириною кільця, в якому утворилася тріщина.

7.5.2.6. Зробити висновки.

8. ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Найбільш розповсюдженими видами травм при плавленні та заливанні сплаву є опіки, враження електричним струмом та ушиби.

У більшості випадків причиною опіків є викиди розплавленого металу з печі при завантаженні шихти в рідку ванну в процесі плавки і під час розливання металу з печі у ківш

та у форму; опіки можуть також виникати і при контакті з гарячими виливками під час їх вибивання з форм. Викиди рідкого металу виникають в основному в результаті контакту розплаву з вологою.

Найчастіша причина викидів металу - завантаження вологої металеві шихти в процесі плавки, коли завалку шихти роблять у кілька прийомів у рідку ванну. Особливо небезпечне завантаження вологого лому із закритими порожнинами, де є волога. Така шихта поринає в розплав і швидко нагрівається, волога випаровується, пари води, нагріваючись до температури рідкого металу, багаторазово збільшуються в об'ємі. Тиск пари у закритій порожнині різко зростає, що спричиняє руйнування порожнини з підривним ефектом.

Для плавки сплавів кольорових металів широко застосовуються електричні плавильні печі. Їх обслуговування пов'язане з небезпекою поразки електричним струмом у результаті безпосереднього зіткнення зі струмоведучими частинами.

Щоб уникнути опіків і травм при виконанні лабораторних робіт необхідно:

- використовувати спецодяг і захисні окуляри, маску;
- робити попереднє прогрівання шихти перед завантаженням у піч;
- робити попереднє прогрівання металевих кокілів;
- при завантаженні шихти в піч, при перемішуванні металу в тиглі в обов'язковому порядку робити відключення печі від електромережі;
- усі інструменти перед роботою ретельно просушувати, очищувати від слідів корозії й підігрівати;
- не допускати необережної та безвідповідальної поведінки при виконанні окремих операцій виготовлення виливків та дослідженні ливарних властивостей сплавів;
- не допускати нагромадження матеріалів та інструменту, що не використовуються, на робочому місці.

Після закінчення виконання окремих операцій слід прибрати робоче місце, надавши йому первинний вигляд.

9. МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторні роботи з дисципліни «Металургія кольорових металів та сплавів» виконуються у плавильній лабораторії під керівництвом викладача і носять дослідницький характер.

9.1. Порядок проведення лабораторних робіт

9.1.1. Вивчити методичні вказівки з виконання лабораторної роботи (див. розділ 2).

9.1.2. Отримати завдання, інструмент і пристосування, необхідне для виконання лабораторної роботи.

9.1.3. Отримати допуск і приступити до виконання роботи. Допуск студентів до роботи визначається рівнем теоретичної підготовки, знанням мети, порядком виконання та безпечних методів роботи.

9.1.4. Провести необхідні дослідження, проаналізувати отримані результати.

9.1.5. Скласти звіт про роботу, де теоретично обґрунтувати отримані результати, оцінити вплив факторів, які досліджуються, на якість виливків.

9.1.6. Захистити виконану роботу.

9.2. Устаткування, інструмент, пристосування та матеріали

9.2.1. Формувальний і плавильний інструмент : трамбовки, гладилки, ручне сито, лінійка, гачки, ланцети, душник, дерев'яний молоток, кліщі, щипці, шкребки, тиглі тощо.

9.2.2. Модельно-опочне оснащення : комплект опок, модельна плита з елементами ливникової системи для різних способів підведення металу, кокілі.

9.2.3. Шихтові матеріали : алюмінієвий сплав, силумін, кремній кристалічний, алюміній первинний, мідь.

9.2.4. Формувальні матеріали : кварцевий пісок, формувальна глина, бентоніт, хроміт, хромомагнезит, відпрацьована суміш, чавунна стружка, борна кислота, рідке скло, припили.

9.2.5. Вимірювальний інструмент і устаткування : штангенциркуль, хромель-алюмінієва термопара з гальванометром, ваги аналітичні.

9.2.6. Хімічний посуд і реактиви для вивчення мікро- і макроструктури.

9.3. Зміст звіту

Звіт з кожної лабораторної роботи повинен містити:

- мету роботи;
- короткі відомості з теорії питання;
- методику проведення досліджень;
- порядок виконання роботи;
- таблиці з вихідними даними й результатами дослідів, ескізи й графіки;
- аналіз отриманих результатів і висновки.

Наприкінці кожного звіту вказується дата виконання роботи і ставиться підпис викладача.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. *Смирягин А.П.* Промышленные цветные металлы и сплавы / А. П. Смирягин, Н. А. Смирягина, А. В. Белова — М. : Metallurgiya, 1974. — 448 с.
2. *Производство отливок из сплавов цветных металлов* : учебник для вузов / А. В. Курдюмов, М. В. Пикунов [и др.]. — М. : Metallurgiya, 1986. — 416 с.
3. *Литейное производство цветных и редких металлов* : 2-е изд. / Курдюмов А. В. [и др.]. — М. : Metallurgiya, 1982. — 352 с.
4. *Цветное литье* : Справочник / Н. М. Галдин, Д. Ф. Чернега [и др.]. — М. : Машиностроение, 1989. — 528 с.
5. *Огурцов А. П.* Metallurgiya черных и цветных металлов. / А. П. Огурцов, В. М. Илюкович. — Днепродзержинск: ДГТУ, 1995. — 172 с.
6. *Матвеев Ю. Н.* Технология металлургического производства цветных металлов : Учебник для студентов (теория и практика) / Ю. Н. Матвеев, В. С. Стрижко. — М. : Metallurgiya, 1986. — 368с.
7. *Худяков И. Ф.* Metallurgiya меди, никеля, сопутствующих элементов и проектирование цехов. / И. Ф. Худяков, С. Э. Кляйн, Н. Г. Агеев. — М. : Metallurgiya, 1993. — 432 с.
8. *Основи металургії* / В. П. Мовчан, М. М. Бережний — Дніпропетровськ. : Пороги, 2001. — 335 с.
9. *Севрюков Н. Н.* Общая металлургия / Н. Н. Севрюков, Б.А. Кузьмин, Е. В. Челищев — М. : Metallurgiya, 1976. — 568 с. с ил.
10. *Магниевоы сплавы* : Справочник. В 2 ч. Ч.1.Металловедение магния и его сплавов. Область применения. / Под ред. Гурьева И. И., Чухрова М. В. — М. : Metallurgiya, 1978. — 296 с.
11. *Качин В.А.* Цинковые сплавы / В. А. Качин, Е. А. Люблинский — М. : Metallurgiya, 1986. — 247 с.

12. *Сорокин Н.А.* Плавка алюминиевых сплавов в индукционных канальных печах. — М. : Metallurgia, 1984. — 136 с.

13. *Плавка и литье алюминиевых сплавов : Справочник / М. Б. Альтман, А. Д. Андреев, Г. А. Балахонцев [и др.]* — М. : Metallurgia, 1983. — 352 с.

14. *Чурсин В. М.* Плавка медных сплавов — М. : Metallurgia, 1982. — 152 с.

15. *Тугоплавкие металлы и сплавы / Г. С. Бурханов, Е. М. Савицкий, Е. В. Оттенберг [и др.]*. — Под общ. ред. Бурханова Г. С. — М. : Metallurgia, 1986. — 351 с.

16. *Титановые сплавы : Производство фасонных отливок из титановых сплавов / Е. Л. Бибииков, С. Г. Глазунов, А. А. Неустроева [и др.]* — М. : Metallurgia, 1983. — 296 с.

17. *Лигатуры для производства алюминиевых и магниевых сплавов / В. И. Напалков, Б. И. Бондарев, В. И. Тарарышкин [и др.]* — М. : Metallurgia, 1983. — 160 с.

18. *Альтман М. Б.* Структура и свойства легких сплавов. — М. : Наука, 1971. — 105 с.

19. *Макаров Г. С.* Рафинирование алюминиевых сплавов газами. — М. : Metallurgia, 1983. — 118 с.

20. *Вакуумирование алюминиевых сплавов / М. Б. Альтман, Е. Б. Глотов, В. А. Засыпкин [и др.]* — М. : Metallurgia, 1977. — 240 с.

21. *Модифицирование силуминов стронцием / И. Н. Ганиев, П. А. Пархутик, А. В. Вахобов [и др.]* — М. : Наука и техника, 1985. — 143 с.

22. *Сігарьов Є. М.* Металургія кольорових металів та сплавів / Є. М. Сігарьов, М. К. Сігарьов, С. А. Стороженко – ДДТУ, Кам'янське, 2016. – 203 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1

Таблиця Д1.1 — Вміст легуючого елементу у лігатурах

| Лігатура | Легуючий елемент | Вміст легуючого, % | Лігатура | Легуючий елемент | Вміст легуючого, % |
|--------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|
| Al—Si | Si | 20—25 | Cu—Be | Be | 4—11 |
| Al—Be | Be | 4—6 | Cu—Mn | Mn | 27 |
| Al—Fe | Fe | 5—10 | Cu—Si | Si | 16 |
| Al—Mg | Mg | 10—12 | Cu—Sn | Sn | 50 |
| Al—Mn | Mn | 5—10 | Cu—Fe | Fe | 5—10 |
| Al—Cu | Cu | 35—50 | Cu—Cd | Cd | 30 |
| Al—Ni | Ni | 10—20 | Cu—Al | Al | 33 |
| Al—Ti | Ti | 3—5 | Cu—Sb | Sb | 50 |
| Al—Cr | Cr | 3—5 | Cu—Cr | Cr | 4—6 |
| Al—Ce | Ce | 20—30 | Cu—Mg | Mg | 10—15 |
| Al—Zr | Zr | 3—5 | Cu—B | B | 3—4 |
| Mg—Mn | Mn | 2—4 | Cu—Zr | Zr | 8—12 |
| Cu—Co | Co | 10 | Cu—Ti | Ti | 20 |
| Ni—Mg | Mg | 50 | Cu—Ni | Ni | 15—33 |
| Al—Cu—
P | Cu / P | 8—10 /
1—1,5 | Cu—Al—
Ni | Al / Ni | 50 / 10 |
| Al—
Mg—Mn | Mg / Mn | 20 / 10 | Sn—Ni—
Sb | Ni / Sb | 10 / 30 |
| Al—Ti—
B | Ti / B | 3—5 /
0,1—0,5 | Al—
Mn—Ti | Mn / Ti | 50 / 8 |
| Al—Cu—
Mn | Cu / Mn | 10—13 /
1—15 | Al—
Mg—Be | Mg / Be | 35 / 3 |
| Al—Cu—
Mn—Ti | Cu / Mn /
Ti | 30 / 5 / 2 | АХМК
(решта —
Al) | Mn / Cr /
Fe / S | 35 / 25 /
4,5 / 3,5 |
| АХМКФ
(решта —
Al) | Mn / Cr /
Fe / Si / W | 34 / 23 / 5 /
3 / 4 | АЦМК
(решта —
Al) | Mn / Zr / Si | 40 / 20 / 3 |

ДОДАТОК 2

Таблиця Д2.1 — Величина вигару елементів

| Метал | Вигар, %, для сплавів на основі | | | | | | |
|-------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | Алюмінію | | Магнію | | Міді | | Нікелю |
| | Тип печі | | | | | | |
| | тигель
на | подова | тигель
на | подова | тигель
на | подова | тигель
на |
| Al | $\frac{0,8-1,0}{2-3}$ | $\frac{2-3}{3-5}$ | $\frac{0,5-1}{1-1,5}$ | $\frac{1-1,5}{1,5-2}$ | $\frac{1-1,5}{2-5}$ | $\frac{2-3}{\partial 05}$ | $\frac{1-2}{2-5}$ |
| Mg | $\frac{2-3}{3-5}$ | $\frac{3-5}{5-10}$ | $\frac{1-1,5}{2-3}$ | $\frac{1,5-2}{2-5}$ | $\frac{\partial 05}{\partial 010}$ | $\frac{5-10}{10-20}$ | — |
| Cu | $\frac{0,5-1}{1-1,2}$ | $\frac{1-1,2}{1-1,5}$ | — | — | $\frac{0,5-1}{1-2}$ | $\frac{1-1,5}{2-3}$ | $\frac{1-1,5}{1,5-2}$ |
| Ni | $\frac{0,5-1}{1-1,2}$ | $\frac{1-1,2}{1-1,5}$ | — | — | $\frac{0,5-1}{1-1,5}$ | $\frac{1-1,5}{1,5-2}$ | $\frac{0,5-1}{1-1,5}$ |
| Zn | $\frac{\partial 02}{2-5}$ | $\frac{2-3}{\partial 010}$ | $\frac{1,5}{2-3}$ | $\frac{1-3}{3-5}$ | $\frac{2-3}{3-5}$ | $\frac{5-10}{\partial 020}$ | — |
| Pb | — | — | — | — | $\frac{0,5-1}{1-2}$ | $\frac{1-2}{\partial 05}$ | $\frac{1-2}{2-5}$ |
| Mn | $\frac{1-1,5}{2-3}$ | $\frac{2-5}{2-10}$ | $\frac{\partial 01}{1-3}$ | $\frac{1-3}{3-10}$ | $\frac{1-1,5}{\partial 05}$ | $\frac{2-3}{\partial 010}$ | — |
| Ti | $\frac{1-1,5}{2-5}$ | $\frac{2-5}{5-10}$ | — | — | $\frac{\geq 10}{-}$ | $\frac{\geq 10}{\geq 30}$ | $\frac{\geq 10}{\geq 20}$ |
| Cd | $\frac{\partial 02}{\geq 5}$ | $\frac{\geq 5}{\geq 10}$ | $\frac{1-1,5}{\partial 03}$ | $\frac{3-5}{5-10}$ | $\partial 0 20$ | $\frac{15-40}{40-50}$ | — |
| Si | $\frac{1-1,5}{2-3}$ | $\frac{2-5}{5-10}$ | $\frac{\partial 01}{1-3}$ | $\frac{2-3}{3-5}$ | ≥ 5 | $\frac{1-5}{5-10}$ | $\frac{1-3}{2-5}$ |
| Sn | $\frac{0,5-1}{1-1,5}$ | $\frac{1,5-2}{2-2,5}$ | — | — | 1—1,5 | $\frac{1-1,5}{\partial 03}$ | $\frac{1-1,5}{1,5-3}$ |
| Zr | $\frac{1-2}{2-5}$ | $\frac{3-5}{5-10}$ | $\frac{\partial 01}{1-3}$ | $\frac{2-5}{3-10}$ | — | — | — |
| Be | $\frac{2-3}{5-10}$ | $\frac{5-7}{10-20}$ | $\frac{\partial 03}{1-5}$ | $\frac{5-10}{10-20}$ | 3—5 | $\frac{3-5}{\partial 010}$ | — |
| Li | $\frac{\partial 010}{\geq 15}$ | $\frac{\geq 15}{\geq 20}$ | $\frac{\geq 3}{\geq 5}$ | $\frac{\geq 5}{\geq 20}$ | — | — | — |

Примітка. У чисельнику — вигар елементу при щільній шихті, у знаменнику — при некомпактній.

ДОДАТОК 3

Таблиця ДЗ.1 — Склад та призначення покривних та рафінувальних флюсів для алюмінієвих сплавів

| Номер флюсу | Склад флюсу, % (мас. частка) | Призначення флюсу |
|-------------|---|---|
| 1 | KCl — 11,5; NaCl — 56,5;
Na ₃ AlF ₆ — 7; NaF — 25 | Універсальні
(рафінувальні та модифікувальні)
для сплавів,
які включають кремній |
| 2 | KCl — 10; NaCl — 50;
Na ₃ AlF ₆ — 10; NaF — 30 | |
| 3 | NaCl — 45; Na ₃ AlF ₆ — 15;
NaF — 40 | |
| 4 | KCl — 45; NaCl — 55 | Покривні
для більшості сплавів, окрім алюмо-магнієвих |
| 5 | KCl — 37; NaCl — 50;
Na ₃ AlF ₆ — 6,6; KCl · MgCl ₂ — 6,4 | |
| 6 | KCl — 46—42; NaCl — 47—43;
Na ₃ AlF ₆ — 7—15 | |
| 7 | KCl — 47;
NaCl — 30;
Na ₃ AlF ₆ — 23 | Рафінувальні
для всіх алюмінієвих сплавів, що не містять магнію |
| 8 | KCl · MgCl ₂ — 60;
CaF ₂ — 40 | Рафінувальні
для алюмінієвих сплавів,
що містять магній |
| 9 | MgCl ₂ · KCl — 80; CaCl ₂ — 10;
BaCl ₂ — 5—8 | |
| 10 | MgCl ₂ · KCl — 80;
CaF ₂ — 20 | Покривні
для алюмо-магнієвих сплавів |
| 11 | MgCl ₂ · KCl — 85; MgF ₂ — 15 | |
| 12 | KCl · MgCl ₂ — 100 | |
| 13 | KCl · MgCl ₂ — 85; CaF ₂ — 15 | |
| 14 | KCl · MgCl ₂ — 85; MgF ₂ — 15 | |
| 15 | C — 50—55;
LiCl — 45—50 | Покривні
для алюмо-літєвих сплавів |

Таблиця Д3.2 — Склад та призначення покривних та рафінувальних флюсів для мідних сплавів

| Номер флюсу | Склад флюсу, %
(мас. частка) | Призначення флюсу |
|-------------|--|---|
| 1 | SiO ₂ — 41—47; MnO ₂ — 25—32;
Na ₂ O — 10—15; Al ₂ O ₃ — 11—14 | Покривні
для олов'яних бронз під час
плавлення в печах з
шамотною футеровкою |
| 2 | SiO ₂ — 50; Na ₂ B ₄ O ₇ — 30;
CuO — 20 | |
| 3 | SiO ₂ — 10—30;
Na ₂ B ₄ O ₇ — 90—70 | Те ж, з магнезитовою
футеровкою |
| 4 | Na ₂ B ₄ O ₇ — 7; Na ₂ CO ₃ — 60;
CaF ₂ — 40 | Рафінувальні
для олов'яних бронз |
| 5 | SiO ₂ — 30; Na ₂ CO ₃ — 30;
CaF ₂ — 40 | Покривні
для кременистих та простих
латуней |
| 6 | Na ₂ CO ₃ — 50; CaF ₂ — 50 | |
| 7 | Na ₂ CO ₃ — 50;
бите скло — 50 | Покривні
для алюмінієвих бронз |
| 8 | CaF ₂ — 50;
MgF ₂ — 50 | Покривні та рафінувальні
для бронз і латуней |
| 9 | CaF ₂ — 20;
NaF — 60;
Na ₃ AlF ₆ — 20 | Рафінувальні
для алюмінієвих
бронз |
| 10 | NaCl — 60;
Na ₃ AlF ₆ — 40 | Покривні
для латуней |
| 11 | Na ₃ AlF ₆ — 25;
Na ₂ B ₄ O ₇ — 28; NaCl — 10;
KCl — 35;
деревне вугілля — 2 | Покривні та рафінувальні
для алюмінієвих
бронз |
| 12 | Na ₃ AlF ₆ — 20; Na ₂ CO ₃ — 10;
CaF ₂ — 20; NaF — 30 | Покривні та рафінувальні
для олов'яних бронз |
| 13 | Na ₃ AlF ₆ — 12; Na ₂ B ₄ O ₇ — 6;
Na ₂ CO ₃ — 70; K ₂ CO ₃ — 12 | Покривні та рафінувальні
для латуней |
| 14 | Na ₂ CO ₃ — 10; CaF ₂ — 70;
Na ₂ SO ₄ — 20 | |

Таблиця ДЗ.3 — Склад та призначення покривних та рафінувальних флюсів для нікелевих сплавів

| Номер флюсу | Склад флюсу, % (мас. частка) |
|-------------|--|
| 1 | CaO — 100 |
| 2 | CaO — 50; CaF ₂ — 50 |
| 3 | CaO — 70; CaF ₂ — 30 |
| 4 | CaF ₂ — 50; MgF ₂ — 50 |
| 5 | Скло (з пляшок) — 100 |
| 6 | MnO ₂ — 30; NiO ₂ — 30; Fe ₂ O ₃ — 20; SiO ₂ — 20 |

Таблиця ДЗ.4 — Склад та призначення покривних та рафінувальних флюсів для магнієвих сплавів

| Номер флюсу | Марка флюсу | Склад флюсу, % (мас. частка) | Призначення флюсу |
|-------------|-------------|--|---|
| 1 | ВІ-2 | MgCl ₂ — 38—46;
KCl — 32—40;
NaCl — 10; BaCl ₂ — 5—8;
CaF ₂ — 3—5; MgO — 1,5 | Покривні та рафінувальні для стаціонарних печей та тиглів |
| 2 | ВІ-3 | MgCl ₂ — 30—40; KCl — 25—36;
NaCl — 7; CaF ₂ — 15—20;
MgO — 7—10 | Те ж, для тиглів, що витягаються |
| 3 | 1 | LiCl — 80; LiF — 20 | Те ж, для сплавів Mg—Li |
| 4 | 2 | NaCl — 14—21; CaCl ₂ — 47—51;
BaCl ₂ — 26—29; CaF ₂ — 2—5 | Покривні для сплавів з рідкісноземельними металами |
| 5 | 3 | KCl — 22—26; NaCl — 17—20;
CaCl ₂ — 35—39;
BaCl ₂ — 19—23; CaF ₂ — 2—5 | |
| 6 | ФЛ1 | MgF ₂ — 32; AlF ₃ — 40;
B ₂ O ₃ — 15; CaF ₂ — 13 | |
| 7 | ВІА
М1 | AlF ₃ — 23,5; BrO ₃ — 40;
Na ₂ AlF ₆ — 33; CaF ₂ — 3,5 | Універсальні безхлоридні флюси |
| 8 | ВІА
М5 | MgF ₂ — 17,5; AlF ₃ — 15;
BrO ₃ — 50; CaF ₂ — 17,5 | |

ДОДАТОК 4

Таблиця Д4.1 — Склад модифікаторів для алюмінієвих сплавів

| Номер модифікатора | Склад модифікатора, % (мас. частка) | Необхідно ввести модифікатора, % | Розрахункова кількість модифікатора, % | Температура введення модиф., °С | Призначення модифікатора |
|--------------------|--|----------------------------------|--|---------------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Лігатура Al—Ti (Ti = 2—5) | 1—3 | Ti = 0,05—0,15 | 720—750 | Для подрібнення макрозерна |
| 2 | Лігатура Al—Ti (Ti = 5; B = 1) | 1—2 | Ti = 0,05—0,1
B = 0,01—0,02 | | |
| 3 | «Зерноліт» (K ₂ TiF ₆ = 55; K ₂ SiF ₆ = 3; KBF ₄ = 27; C ₂ Cl ₆ = 15) | 0,2—0,5 | B = 0,01—0,02
Ti = 0,05—0,1 | | |
| 4 | Металічний натрій | 0,05—0,1 | Na = 0,05—0,1 | 750—780 | Для модифікування евтектичних та доевтектичних алюмокремнієвих сплавів |
| 5 | Флюс (NaF = 67; NaCl = 33) | 1—2 | Na = 0,05—0,1 | 780—810 | |
| 6 | Флюс (NaCl = 62,5; NaF = 25; KCl = 12,5) | 1—2 | Na = 0,05—0,1 | 730—750 | |
| 7 | Флюс (NaCl = 50; NaF = 30; KCl = 10; Na ₃ AlF ₆ = 10) | 0,5—1 | Na = 0,05—0,1 | 720—750 | |

Продовження таблиці Д4.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|---|-------------|--------------------------------|-------------|---|
| 8 | Лігатура
Al—Sr (Sr = 10) | 0,6—
0,8 | Sr = 0,06—
0,085 | 750—
780 | Для
модифікува
ння
заевтектичн
их силумінів |
| 9 | Лігатура
Cu—P
(P = 9—11) | 0,2—
0,4 | P = 0,05—0,1 | 750—
780 | |
| 10 | Флюс (NaCl =
35; K ₂ TiF ₆ = 20;
KBF ₄ = 10) | 0,5—
1,0 | B = 0,01—0,02
Ti = 0,05—0,1 | 720—
750 | Для
подрібнення
макрозерна |

Таблиця Д4.2 — Склад модифікаторів для магнієвих сплавів

| Номер модиф. | Модифікатор та його склад, % (мас. частка) | Призначення модифікатора | Підготовка модифікатора |
|--------------|--|--|---|
| 1 | Магнезит: 42—48 MgO;
49—51 CO ₂
та леткі домішки;
0,8—0,9 SiO ₂ ;
0,15—0,30 FeO;
0,5—2,6 CaO;
інших домішок — до 2 | Для
модифікування
сплавів МЛЗ,
МЛ4, МЛ4п,
МЛ5, МЛ6 | Висушують при
150—200 °С
до вологості не
більше 1 %,
завантажують
кусками
розміром
10—25 мм |
| 2 | Крейда марки А:
CaCO ₃ — 100 | | Висушують при
150—200 °С до
вологості не більше 1
%, розмелюють і
просіюють крізь сито
з вічками 0,2—0,5
мм |
| 3 | Вуглекислий газ:
CO ₂ — 100 | | Висушують до
вологості 1 % |
| 4 | Гексахлоретан:
Ca ₂ Cl ₆ — 100 | | — |
| 5 | Аміак: NH ₃ — 100 | Для
модифікування
сплавів магній
-цинк - РЗМ | Висушують
до вологості
не більше 1 % |

Таблиця Д4.3 — Склад модифікаторів для мідних сплавів

| Номер модифікатора | Модифікатор | Кількість, % (мас. частка) | Сплав |
|--------------------|----------------|----------------------------|--|
| 1 | Титан | 0,10—0,20 | БрО10 |
| | | 0,04—0,20 | БрОЗЦ7С5Н1 |
| | | 0,01—0,03 | БрА9Ж3Л |
| | | — | БрА10Ж4А5 |
| | | — | БрА9Мц2 |
| 2 | Цирконій | 0,01—0,04 | ЛЦ16К4 |
| | | — | ЛЦ40Мц3Ж |
| | | 0,01—0,10 | Олов'яні та безолов'яні бронзи, латуні |
| 3 | Бор | 0,02—0,06 | Олов'яні бронзи, |
| | | 0,05—0,10 | Безолов'яні бронзи |
| | | 0,005—0,01 | Латуні |
| 4 | Титан + Бор | 0,05—0,2 | Бронзи, латуні |
| | Цирконій + Бор | 0,01—0,02 | Олов'яні бронзи |
| | Ванадій + Бор | 0,05—0,20 | Безолов'яні бронзи |
| 5 | Ванадій | 0,10—0,20 | Безолов'яні бронзи |
| | | 0,01—0,20 | Латуні |

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

СІГАРЬОВ Євген Миколайович

КАЩЄЄВ Михайло Анатолійович

**ПРАКТИКУМ З ДИСЦИПЛІНИ
«МЕТАЛУРГІЯ КОЛЬОРОВИХ
МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ»**

Навчальний посібник

Підписано до друку 11.10.18 Формат
Папір друк. Друк. – різнограф. Ум.-друк. арк. 6,57
Тираж – 300. Зам. № 66/18

Видавець і виготовлювач
Дніпровський державний технічний університет
51918, Кам'янське, вул. Дніпробудівська, 2

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
державного реєстру видавництв серія ДК № 5399
від 26.07.2017 р.