

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
з виконання практичних робіт
з навчальної дисципліни
«Синтез ливарних сплавів»

Для студентів денної та заочної форм навчання
За спеціальністю G10 Металургія

Затверджено редакційно
видавничою радою університету
Протокол № 3 від 30.10.2025 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2025

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Синтез ливарних сплавів» для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю G10 Металургія / Уклад.: Пономаренко О. І., Масалітіна О. В. – Харків: НТУ «ХПІ», 2025. – 38 с.

Укладач: Пономаренко О. І., Масалітіна О. В.

Рецензент: Берлізева Т. В.

Кафедра ливарного виробництва

ВСТУП

Методичні вказівки призначені для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю G10 “Металургія” рівня магістр.

Практичні роботи з курсу «Синтез ливарних сплавів» спрямовані на закріплення та поглиблення знань студентів щодо основних принципів створення і вдосконалення сплавів, що застосовуються у ливарному виробництві. Виконання практичних завдань дає можливість не лише опрацювати теоретичний матеріал, але й розвинути вміння аналізувати властивості сплавів, прогнозувати їхню поведінку та вибрати оптимальні склади залежно від умов експлуатації.

У кожній практичній роботі подано перелік необхідних матеріалів, короткий огляд теоретичних аспектів, методів аналізу та підходів до синтезу сплавів, а також детальний порядок виконання завдань. Така структура дозволяє студентам послідовно й усвідомлено виконувати роботу, робити коректні висновки та формувати власні науково–практичні підходи.

Мета методичних вказівок – надати студентам знання щодо сучасних напрямів розвитку ливарних сплавів, їхніх фізико–хімічних і технологічних особливостей, а також методів оптимізації хімічного складу та структури.

Окрім цього, методичні матеріали покликані розвивати у студентів інтерес до наукових досліджень, сприяти засвоєнню сучасних методик синтезу та аналізу сплавів, що у майбутньому стане важливою основою при виконанні курсових і дипломних робіт.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

ПЛАВКА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Мета роботи – вивчити технологічний процес плавки алюмінієвих сплавів, зробити дегазацію металу за допомогою хлористих солей.

Матеріали та обладнання: лабораторна плавильна піч з графітошамотним тиглем; прилади для контролю температури металу; пристрій для обробки вакуум-проб; графітова форма-виливниця для виливки структурної проби; графітова виливниця для виливки проби діаметром 50 і висотою 150 мм (для дослідження механічних властивостей); плавильно-заливочний інструмент; прес для осаджування проб; шихтові матеріали; інструкція з техніки безпеки.

Загальні відомості

Алюмінієві сплави, що використовуються в техніці, розділяють на ливарні і деформовані. Із перших виготовляють фасонні виливки; другі використовують для виготовлення деталей напівфабрикатів обробкою тиском. Основними компонентами алюмінієвих сплавів (крім алюмінію) є: кремній, мідь, магній, марганець, цинк.

Частіше інших для виготовлення виливків застосовують сплави системи алюміній–кремній (силуміни), що призначені для авіаційної, машинобудівної, автомобільної, електротехнічної та інших галузей промисловості. У своєму складі ці сплави мають евтектику, і тому їх ливарні властивості кращі, ніж у інших сплавів: низька усадка, висока рідкоплинність, низька схильність до утворення тріщин за утрудненої усадки. Виливки із силумінів виготовляють у піщаних і металевих формах.

Виплавляють алюмінієві сплави у відкритій атмосфері в різних печах: тигельних і відбивних, електричних, газових і працюючих на рідкому паливі. Використовують високоглиноземисту або магнезитову футеровку. Для плавки алюмінієвих сплавів футеровку з великим вмістом кремнезему не застосовують, оскільки оксиди кремнію відновлюються алюмінієм. У лабораторних умовах для плавки алюмінієвих сплавів придатні графітові, сталеві або чавунні тиглі, покриті вогнетривкою фарбою.

Легуючі компоненти, за виключенням магнію і цинку, вводять у сплав у вигляді лігатур. Лігатура алюміній–мідь містить 33 або 55% міді, алюміній–

марганець – 6–12% марганцю. Інші лігатури містять 5–25% легуючих елементів. Більшість шихтових матеріалів (чушковий алюміній, відходи, лігатури та ін.) завантажують у піч одночасно. Цинк і магній додають перед випуском плавки. Шихту розраховують на верхній вміст магнію у сплаві, тому що частина магнію при введенні у розплав окислюється. Магній уводять у розплав спеціальним пристроєм – "дзвоником" у нагрітому до 100...130 °С стані. Максимальна температура розплаву при цьому 750...760 °С.

Щоб запобігти насиченню алюмінієвих сплавів воднем і окисненню під час плавки їх захищають шаром флюсу, а плавку ведуть у слабоокислювальній атмосфері. Для сплавів з кількістю магнію до 2% можна застосовувати флюс із 45% $NaCl$ і 55% KCl – 1–2% від маси шихти або флюс із 39% $NaCl$, 50% KCl , 6,6% Na_3AlF_6 і 4,4% CaF_2 . Сплави, у складі яких магнію більше 2% можна захищати карналітом ($MgCl_2KCl$) або сумішшю із карналіту з хлористим барієм і хлористим кальцієм. Якщо захистити метал флюсом неможливо, то для захисту від окислення у розплав додають берилій (0,03–0,05%).

Неметалеві домішки в алюмінієвих розплавах присутні у вигляді нерівномірно розподілених по об'єму макроскопічних часток і плівок, або у вигляді дрібнодисперсних суспензій, розподілених відносно рівномірно. Основна маса дрібнодисперсних включень має розмір менше 1 мкм. При відстоюванні розплаву великі домішки видаляються, а дрібні залишаються в ньому.

Очищення алюмінієвих сплавів від суспендованих неметалевих часток і розчиненого водню виконують продувкою розплавів інертними і активними газами, обробкою хлористими солями і флюсами, вакуумуванням і фільтруванням через сітчасті або зернисті фільтри.

Очищення розплавів продувкою інертними або активними газами містить два процеси: дифузія розчиненого газу в бульбашки, та флотаційна дія бульбашок відносно неметалевих домішок і дуже дрібних газових бульбашок. Очищення розплавів виконується тим успішніше, чим менші розміри бульбашок газу, яким продувають і рівномірніше їх розподіл в об'ємі розплаву. Тому особливо важливим є спосіб обробки розплавів інертними газами з використанням пористих керамічних вставок.

Для рафінування алюмінієвих сплавів застосовують азот, аргон і їх суміш з хлором, фреоном (5–10%), очищені від вологи та кисню. Найбільший ефект очистки досягається під час застосування хлору. Продувку азотом чи аргонном виконують при температурі 720...730 °С. Тривалість продувки залежно від об'єму розплаву визначається від 5 до 20 хв. Витрата газу зазвичай становить 0,3–1 м³ на 1 т розплаву.

Обробка розплавів хлористими солями здійснюється за рахунок їх летучості, термічної дисоціації і схильності вступати у реакції з компонентами сплаву з виділенням пароподібних і газоподібних продуктів реакцій, які чинять на розплав таку ж рафінуючу дію, як і продувка хлором.

Для рафінування застосовують хлористий цинк, хлористий марганець, гексахлоретан та інші хлориди. Враховуючи гігроскопічність хлоридистих солей, перед використанням їх треба сушити ($MnCl_2$) або переплавляти ($ZnCl_2$). Уведення хлоридів у розплав здійснюють "дзвоником". Хлористий цинк і хлористий марганець додають у кількості 0,05–0,2% при температурі розплаву 700...730 °С, гексахлоретан – у кількості 0,3–0,7% при температурі 740...750 °С за декілька разів. "Дзвоник" з сіллю занурюють якнайглибше у розплав і для підвищення якості очищення перемішують розплав до припинення виділення газоподібних продуктів реакції. При цьому хлористі солі взаємодіють з алюмінієм за реакцією



Бульбашки хлористого алюмінію, спливаючи на поверхню, захоплюють неметалеві домішки, а водень, розчинений у металі, дифундує у ці бульбашки.

Після закінчення перемішування розплав відстоюють протягом 10–15 хв при температурі 720...730 °С. Рафінування хлоридами ведуть у печах або у ковшах з малою питомою поверхнею розплаву. У печах із невеликою кількістю рідкого металу рафінування хлоридами малоефективне. В цьому випадку краще застосовувати флюси.

Під час очищення флюсами домішки із розплаву видаляються за рахунок адгезії, розчинення їх у флюсах або хімічної взаємодії з флюсами. Головну роль у процесі флюсового рафінування грають поверхневі явища. Флюси зменшують адгезію включень до металу і під дією міжфазних сил домішки переходять у флюс. Рафінуючі властивості флюсу визначаються величиною роботи адгезії домішок до металу в середовищі флюсу

$$W = \sigma_m \cdot \cos \Theta_m - \sigma_f \cdot \cos \Theta_f - \sigma_{mf} \quad (1.2)$$

де σ_m , σ_f – поверхневий натяг, відповідно, металевого розплаву і флюсу; Θ_m , Θ_f – крайовий кут змочування включень, відповідно, металом і флюсом; σ_{mf} – міжфазовий натяг на границі метал–флюс.

Рафінуючі властивості флюсу підсилюються із зменшенням роботи адгезії. Отже, ефективність очистки тим вища, чим краще розплавлений флюс змочує неметалеві домішки, чим більше крайовий кут змочування включень металевим розплавом і чим менший міжфазний натяг на границі металевий розплав–флюс.

У практиці плавлення більшості алюмінієвих сплавів для рафінування використовують флюс, що складається із 47% KCl , 30% $NaCl$, 23% Na_3AlF_6 . Для рафінування сплавів алюмінію з магнієм застосовують флюси на основі карналіту 10–20% CaF_2 або K_3AlF_6 . Попередньо виплавлені і висушені флюси у кількості 0,5–1,0% засипають на поверхню розплаву при температурі 700...750 °С. Потім протягом 3–5 хв флюс енергійно замішують у розплав, видаляють шлак і відстоюють 10–15 хв. Після цього ще раз скачують шлак і заливають метал у форми. При обробці великих об'ємів металу флюс уводять на дно печі чи ковша за допомогою "дзвоника".

Очистка металевих розплавів від суспендованих часток під час фільтрування через "зернисті" фільтри зумовлена механічними і адгезійними процесами. Механічно затримуються великі включення і плівки, а дисперговані включення затримуються в результаті їх прилипання до матеріалу фільтра. Чим менший діаметр "зерен" фільтра, тим більший ефект фільтрування досягається.

Очистка розплавів від дрібнодисперсних часток і перехід їх із розплаву на поверхню фільтра зумовлена зменшенням вільної енергії системи, що пропорційна питомій роботі адгезії частки до фільтра:

$$W_{A(M)} = W_{A(I)} - \sigma_m \cos \Theta_\sigma - \sigma_m \cos \Theta_\phi \quad (1.3)$$

де $W_{A(M)}$ – робота адгезії включень до фільтра у середовищі розплавленого металу; $W_{A(I)}$ – робота адгезії включень до фільтра у газоподібному середовищі; σ_m – поверхневий натяг розплаву; Θ_σ , Θ_ϕ – крайовий кут змочування, відповідно, включень і матеріалу фільтра.

Ефективність очищення фільтрами зростає прямопропорційно погіршенню змочування фільтра і включень розплавом.

Для виготовлення фільтрів використовують шамот, магнезит, алунд, кремнезем, сплави хлористих і фтористих солей та інші матеріали. Найефективніші фільтри ті, що виготовлені із фторидів.

Вміст неметалевих домішок встановлюють методами хімічного аналізу і

технологічними пробами. Методи хімічного аналізу трудомісткі і довготривалі. Саме тому на виробництві для оперативного контролю застосовують проби.

Наявність крупних включень і плівок визначають пробой Добаткіна–Зінов'єва. Для цього відливають, або вирізають із зливка, заготовку діаметром 50 і довжиною 150 мм. Заготовку нагрівають і осаджують по довжині у "галету" товщиною 30 мм. Після цього по площині, перпендикулярній до напрямку осаджування, "галету" надрізають і ламають. За кількістю і площею неметалевих включень у зламі роблять висновки про чистоту сплаву. Задовільним визнають

сплав, у якому площа неметалевих включень становить не більше $0,05 \text{ мм}^2$ на 1 см^2 площі зламу.

Якісну оцінку забрудненості розплавів дрібнодисперсними включеннями і воднем здійснюють за допомогою структурної проби А.Г. Спаського і Є.М. Кулагіної. Для цього розплав заливають у підігріту до $150\ldots 200^\circ\text{C}$ графітну форму (рис. 1. 1).

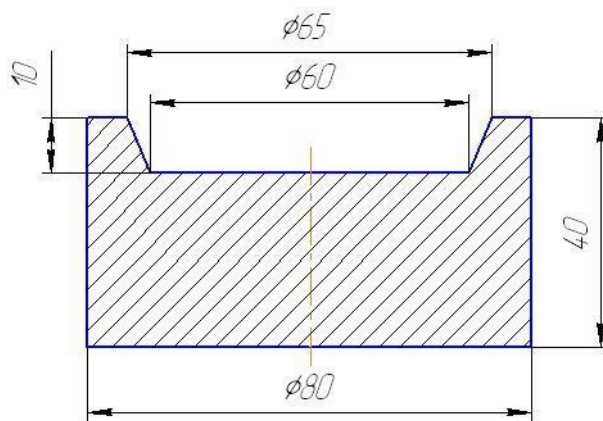


Рис. 1.1. Форма для заливки структурної проби

Після кристалізації на поверхні проби спостерігаються точкові розриви оксидної плівки (сліди бульбашок газів, що виділялись). Кількість розривів на пробі порівнюють з еталоном і визначають газонасиченість сплаву. Забрудненість дрібнодисперсними домішками визначають за величиною макрозерна на поверхні проби. Малому вмісту домішок відповідає велике зерно, що визначається порівнянням структурної проби з еталоном.

Кількість газів у сплаві можна також визначити за вакуум–пробою. Для цього прожареним графітошамотним тиглем марки 02 відбирають невелику порцію металу за температури $720\ldots 730^\circ\text{C}$. Метал охолоджують під вакуумним ковпаком до повної кристалізації (рис. 1.2). Під дією тиску газів, які виділяються із металу у вакуумі, поверхня металу у тиглі набуває опуклої форми. У перерізі

твердого зливка спостерігаються газові раковини. Порівнюючи переріз проби з еталоном, або визначаючи густину металу проби, роблять висновки про насичення металу газами.

Кількісну оцінку насичення металу газами у цехових умовах виконують методом Дарделя–Гудченко, який заснований на рівності парціальних тисків газу в металі і оточуючому середовищі (рівновага системи).

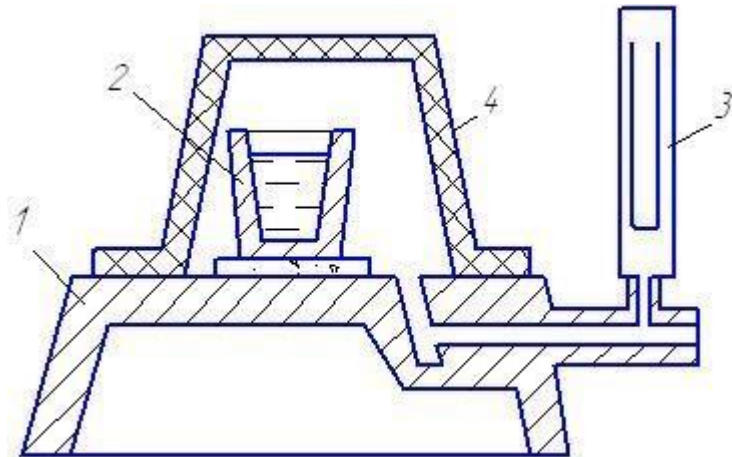


Рис. 1.2. Пристрій для кристалізації у вакуумі

1 – плита; 2 – тигель з рідким металом; 3 – манометр; 4 – скляний ковпак

Для визначення вмісту розчиненого газу пробу рідкого металу поміщають у вакуумну камеру і тримають за постійної температури з поступовим зниженням зовнішнього тиску водню над розплавом (утворюється розрідження) до появи першої бульбашки газу із розплаву. Момент появи першої бульбашки за умови наявності на розплаві окисної плівки свідчить про рівність парціальних тисків газу усередині і зовні розплаву. Знаючи надлишковий тиск у приладі і температуру розплаву у момент появи першої бульбашки, визначають кількість водню у металі за формулою

$$\lg S_H = -A/T + B + 1/2(\lg P_H) \quad (1.4)$$

де S_H – кількість водню у розплаві; A і B – коефіцієнти, які залежать від типу сплаву (табл. 1.1); T – температура; P_H – тиск водню у приладі.

Для прискореного визначення вмісту водню за значеннями T і P_H рівняння

(1.4) подають у вигляді номограми (рис. 1.3).

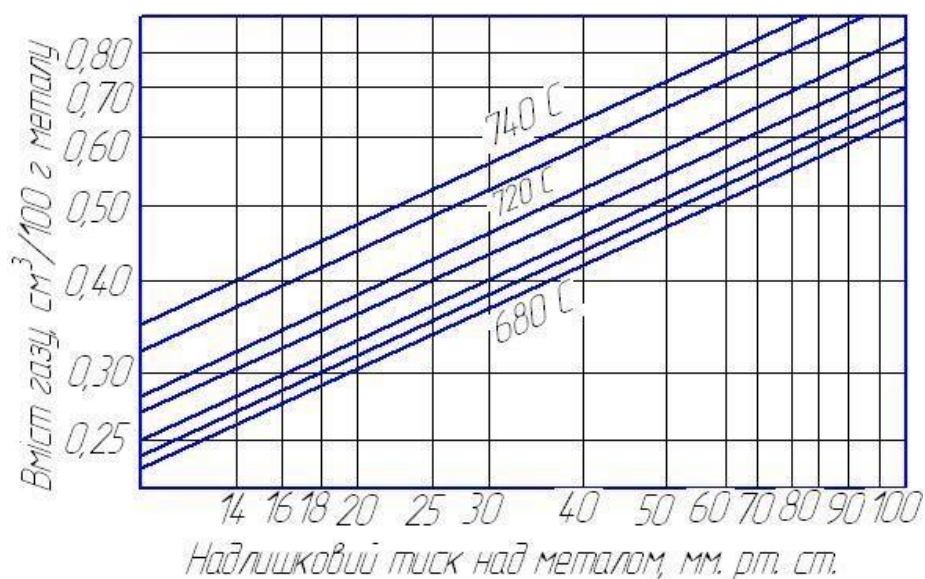


Рис. 1.3. Номограма для розрахунку вмісту водню в алюмінієвих сплавах

Таблиця 1.1 – Значення коефіцієнтів для розрахунку кількості водню в алюмінієвих сплавах

Сплав	Група	Вміст магнію, %	Коефіцієнти	
			A	B
A7, A5, АД1, АМн, АК8	I	—	2760	1,356
Д1, АВ, АД33, АК6	II	0,4–1,0	2750	1,295
АК4, Д16	III	1,1–1,7	2730	1,454
АМг2, В95	IV	1,8–2,8	2714	1,484
АМг3, В96	V	2,9–4,0	2682	1,521
АМг5	VI	4,1–5,5	2640	1,549
АМг6	VII	6,5	2606	1,590

Зміст роботи

Підготувати плавильну піч, шихтові матеріали та необхідні форми й прилади для проведення роботи. Виконати плавку, залити всі необхідні проби, проаналізувати результати роботи.

Порядок виконання роботи

Робота виконується в лабораторії кафедри ЛВ.

1. Ознайомитися з метою і змістом роботи, вивчити теоретичні основи плавки алюмінієвих сплавів.
2. Вивчити інструкцію з техніки безпеки.
3. Приготувати шихтові матеріали, інструмент і піч для проведення плавки.
4. Приготувати в печі алюмінієвий сплав заданого складу.
5. При температурі 720...740 °С залити пробу діаметром 50 і довжиною 150 мм.
6. Залити структурну або вакуумну пробу.
7. Виконати дегазацію сплаву при температурі 720...740 °С одною із хлористих солей. Порцію солі уводити на 2/3 глибини розплаву.
8. Залити структурну або вакуумну пробу.
9. Виконати рафінування сплаву одним із флюсів (табл. 1.2) при температурі 720...740 °С. Флюс засипати на поверхню металу, замішати у розплав, злити шлак.

Таблиця 1.2 – Склад флюсів для рафінування

Масова частка компонентів флюсу, %	Кількість флюсу, %
47 KCl, 30 NaCl, 23 Na ₃ AlF ₆	0,5...1,0
85 MgCl ₂ ·KCl, 15 CaF ₂	0,5...1,0
90 MgCl ₂ ·KCl, 10 K ₃ AlF ₆	0,5...1,0
45 KCl, 45 NaCl, 10 K ₂ Si F ₆ (K ₃ AlF ₆)	0,5...1,0

10. Відлити пробу діаметром 50x150 мм і структурну або вакуумну пробу.
11. Визначити газонасиченість за структурною або вакуумною пробами.
12. Визначити забрудненість сплаву неметалевими домішками за пробою Добаткіна–Зінов'єва або структурною пробою. Травлення структурної проби вести у розчині Келлера (20 мл HNO₃, 20 мл HCl, 5 мл HF) або у розчині складу: 20–30% CaCl₂ і 70–80% H₂O, а потім освітлити шліф концентрованою азотною

кислотою.

13. Описати технологію плавки і рафінування алюмінієвих сплавів. Записати хронометраж плавки до табл. 1.3

14. Результати роботи занести до табл. 1.4. Зробити висновки. Підготувати звіт.

Таблиця 1.3 – Хронометраж плавки

Технологічні операції	Тривалість хв	Параметри плавки				Температура, С
		I, А	U, В	cos φ	W, кВт	
1	2	3	4	5	6	7
Завантаження шихти і включення печі						
Плавлення шихти						
Проба металу на насиченість газами						
Дегазація						
Рафінування						
Проба металу на насиченість газами						
Визначення забруднення сплаву неметалевими домішками						
Випуск металу						
Загальна тривалість плавки						
Витрата електроенергії на плавку, кВт·год						
Питома витрата електроенергії, кВт·год/кг						

Таблиця 1.4 – Результати дослідження

№	Вид обробки сплаву	Густина вакуум–проби, г/см ³	Кількість газових бульбашок на 1 см ² технологічної проби	Забрудненість неметалевими домішками, мм ² /см ²
1.				
2.				

Запитання для самоконтролю

1. Способи дегазації алюмінієвих розплавів.
2. В чому полягає рафінування розплавів газами і які гази використовують для рафінування алюмінієвих сплавів?
3. Механізм дегазації алюмінієвих сплавів хлоридами.
4. При яких температурах доцільно проводити дегазацію і рафінування алюмінієвих сплавів?
5. Які методи контролю застосовують для оцінки вмісту неметалевих домішок в алюмінієвих сплавах?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

ВПЛИВ РАФІНУВАННЯ ТА МОДИФІКУВАННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Мета роботи – встановити вплив рафінування та модифікування на ливарні властивості алюмінієвого сплаву.

Застосовне обладнання та матеріали

Плавильна піч, модельно–опочне оснащення, формувальний інструмент, формувальна суміш, шихтові матеріали, датчик температурний з реєструючим приладом, металевий “дзвіночок”, лабораторні терези, вимірювальний інструмент.

Загальні відомості

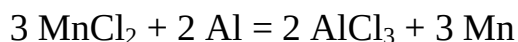
Найбільше розповсюдження у промисловості серед кольорових сплавів одержали алюмінієві ливарні сплави системи Al–Si. За вмістом кремнію вони близькі до евтектичних, тому мають кращі ливарні та технологічні властивості, невелике ливарне зсідання, добру рідкотекучість, не прихильні до утворення тріщин при утрудненому зсіданні, добре обробляються різанням після термічної обробки та мають добру корозійну стійкість. Усі вказані властивості дозволяють виготовляти з цих сплавів деталі для будь–якої галузі промисловості практично усіма відомими способами лиття.

Алюмінієві сплави виплавляють у відкритій атмосфері у печах різного типу. Під час плавлення алюмінієві сплави окислюються та насичуються воднем. Крім того, в алюмінієвих сплавах присутні неметалеві включення у вигляді нерівномірно розподілених по об’єму макроскопічних великих частинок, плин та у вигляді тонкодисперсної зависі розміром 1 мкм, які розподілені відносно рівномірно. Через велику поверхню та малу різницю густини плин та включень від густини розплавів спливання та осадження їх йде повільно, тому велика частина включень і плин утягується у виливок, що може стати причиною негерметичності, осередку корозії, зниження механічних властивостей, концентрації напружень. Коагуляція навкруги неметалевих включень і плин пухирців водню призводить до газової пористості, що ще більше знижує якість внаслідок зменшення перерізу стінки виливка.

Очищення від неметалевих включень і розчиненого водню у промисловості називається *рафінуванням* і здійснюється такими методами: відстоюванням, продуванням розплаву інертними та активними газами, обробленням

хлористими солями та флюсами, вакуумуванням і фільтрацією крізь сітчасті, зернисті фільтри, електрофлюсовим рафінуванням.

Хлористі солі (хлористий марганець MnCl_2 , гексахлоретан C_2Cl_6 , чотирьохлористий вуглець C_2Cl_4 , хлористий цинк ZnCl_2 та ін.), які застосовуються для рафінування, через гігроскопічність піддають сушінню. Просушені хлористі солі вводять у розплав за допомогою “дзвіночка”, який занурюють на дно тигля, у кількості 0,02...0,05% хлористого цинку або хлористого марганцю (при температурі 700...730°C), або 0,3...0,7% гексахлоретану (при температурі 740...750°C). Рафінування хлоридами ефективно при малій питомій поверхні розплаву (у глибоких тиглях), при безперервному переміщенні “дзвіночка” по дну тигля до припинення виділення газоподібних продуктів реакції та дальшого устоювання розплаву протягом 5...10 хвилин для видалення дрібних пухирців газу. Хлористі солі взаємодіють з алюмінієм за реакцією



Якість рафінування визначається за макроструктурою проби. Забрудненість оцінюється розмірами крапкових розривів оксидної плівки, яка становить собою сліди пухирців водню, який виділяється під час кристалізації сплаву, а також розмірами макрозерна на поверхні проби. Малому вмісту зависей відповідає крупне зерно злому.

Під час виготовлення сплавів, крім введення легувальних добавок і очищення розплаву, інколи доводиться виконувати *модифікування*. Операція модифікування припускає вплив на розплав, який, не змінюючи істотно складу сплаву, впливає на структуру затверділого металу. Звичайно добиваються зміни макро– та мікроструктури в такому напрямі, щоб підвищити пластичні та міцнісні властивості металу. Модифікування здійснюється шляхом введення до розплаву невеликих кількостей елементів–модифікаторів та впливом на метал при твердінні коливаннями різної частоти. Звичайно внаслідок модифікування спостерігається або подрібнення та змінення внутрішньої будови евтектики або окремих фазових складових. Механізм модифікування в багатьох випадках залишається остаточно невиразним. Із загальноприйнятих пояснень слід згадати про запалювальну дію модифікаторів, яка виявляється з–за того, що модифікатор утворює з компонентом сплаву тугоплавкі ізоморфні частинки, які служать центрами кристалізації для основного розплаву.

Модифікування шляхом введення елемента–модифікатора є звичайною операцією легування сплаву. Через те, що кількість модифікатора невеличка (не

більше 0,3%) та він становить собою або надто легкоплавкий, або надто тугоплавкий метал, який дуже окислюється, введення його до розплаву найчастіше здійснюється в результаті обмінних реакцій солей з металом або використання лігатур. За допомогою солей вводять натрій у доєвтектичні та евтектичні силуміни для подрібнення евтектики алюміній–кремній. При цьому користуються сумішшю фтористих і хлористих солей натрію. Солі перед використанням повинні бути старанно просушені. У практиці ливарного виробництва застосовують такі сольові композиції: а) подвійний модифікатор, який містить 67% NaF і 33% NaCl, при температурі 780...810°C і б) потрійний модифікатор, який містить 62,5% NaCl, 25% NaF і 12,5% KCl, при температурі 730...750°C. У кількості 1...2% від маси розплаву сольову композицію засипають на поверхню розплаву, витримують 12...15 хвилин, після чого корочку солей січуть та замішують у розплав на глибину 50...100 мм. При цьому має місце взаємодія



Після виведення продуктів реакції розплав повинен бути розлитий по формах протягом 50...60 хвилин.

Якість модифікування оцінюється за зломом проб та мікроструктурою. Злом модифікованого сплаву характеризується дрібним зерном ясно–сірого кольору. Довжина частинок кремнію в мікроструктурі немодифікованого сплаву складає 100, добре модифікованого сплаву – 3...5 мкм.

Порядок виконання роботи

- 1 Розплавити алюмінієвий сплав. Перегріти його до температури 780°C.
- 2 Заформувати дев'ять ливарних форм для заливання проб на рідкотекучість, об'ємне та лінійне зсідання.
- 3 Приблизно третю частину алюмінієвого сплаву вилити з печі до ливарного ковша та при температурі розплаву 740...750°C залити три ливарні форми для визначення рідкотекучості, об'ємного та лінійного зсідання сплаву.
- 4 Приготувати наважку рафінуючої солі: зважити просушений гексахлоретан у кількості 0,3% від маси розплаву, що залишився у печі, розташувати цю наважку, загорнувши її у папір, в підігрітому до 120...150°C металевому “дзвіночку”.
- 5 Зробити рафінування розплаву: опустити “дзвіночок” на дно тигля з розплавом. Після закінчення барботажу “дзвіночок” вийняти, зняти шлак і зробити видержку протягом 10 хвилин.

6 Приблизно половину розплаву вилити з печі до ливарного ковша та при температурі 740...750°C залити три ливарні проби: на рідкотекучість, об'ємне та лінійне зсідання.

7 Приготувати наважку потрібного модифікатора у кількості 1,5% від маси розплаву, що залишився у печі.

8 Здійснити модифікування розплаву: наважку модифікатора засипати на поверхню розплаву, зробити видержку протягом 12...15 хвилин, після чого корочку солей посікти та замішати на глибину 50...100 мм у розплав, зняти шлак і дати видержку до 5...7 хвилин.

9 Увесь розплав з печі вилити до ливарного ковша та при температурі 740...750°C залити три ливарні проби: на рідкотекучість, об'ємна та лінійна усадка.

10 Зробити усі необхідні виміри та розрахунки. Приготувати зломи зразків вільної лінійної усадки.

11 Одержані результати занести до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Узагальнені результати дослідження алюмінієвих сплавів

Номер сплаву	Рафінування	Модифікування	Одержані результати				
			Рідкотекучість, мм	Глибина усадкової раковини, мм	Лінійна усадка, %		Макроструктура
					вільна	утруднена	
1	—	—					
2	+	—					
3	+	+					

3.1.5 Зміст звіту

1 Назва, мета, стислий опис загальних відомостей та порядок виконання практичної роботи.

2 Таблиця узагальнених результатів дослідження.

3 Рисунки зломів зразків.

4 Висновки.

ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ НА ЇХ МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

Мета роботи – засвоїти методику випробування на розтягнення, визначити вплив хімічного складу ливарних сплавів на межі міцності, текучості, пластичні властивості, модуль пружності, теоретичну міцність.

Матеріали, обладнання та інструмент: Розривна випробувальна машина для статичних випробувань металів Р-10, зразки металів і ливарних сплавів для випробувань на розтягнення, папір для запису діаграм розтягнення, штангенциркуль.

Загальні відомості

Випробування на розтягнення – найбільш поширений метод статичних механічних випробувань. За допомогою цього методу можна визначити важливі механічні властивості сталі та чавуну як конструкційних матеріалів. До цих властивостей належать:

- межа пропорційності (умовна) $\sigma_{\Pi} = \frac{P_{\Pi}}{F_0}$ – напруження, за яким порушується пропорційне навантаженню зростання деформації. Коли $P < P_{\Pi}$, то, якщо зняти навантаження деформація зникає. Така деформація зветься пружиною;
- межа пружності $\sigma_{0,01}$ або $\sigma_{0,05}$ – напруження, що відповідає залишковій деформації 0,01 або 0,05 відсотка від початкової довжини зразка;
- межа текучості (фізична) σ_r – найменше напруження, за якого зразок деформується без явного збільшення розтягуючого навантаження;
- межа текучості (умовна) $\sigma_{0,2} = \frac{P_{\Pi}}{F_0}$ – напруження при якому подовження досягає 0,2 % від розрахункової довжини зразка. У деяких випадках можливі значення цієї величини $\sigma_{0,01}$;
- межу міцності (тимчасовий опір) $\sigma_B = \frac{P_{\Pi}}{F_0}$ – напруження, відповідне найбільшому навантаженню в момент руйнування проби або зразка;
- дійсний опір розтягування $S = \frac{P_K}{F_K}$;
- відносне положення $\delta = \frac{l_K - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} * 100\%$ – відношення приросту довжини зразка в момент руйнування до початкової довжини зразку;

– відносне звуження $\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} * 100\% = \frac{\Delta F}{F_0} * 100\%$.

Мащини для випробувань на розтягнення мають спеціальний пристрій, який фіксує на папері діаграму розтягнення. Типова діаграма розтягнення наведена на рис. 3.1.

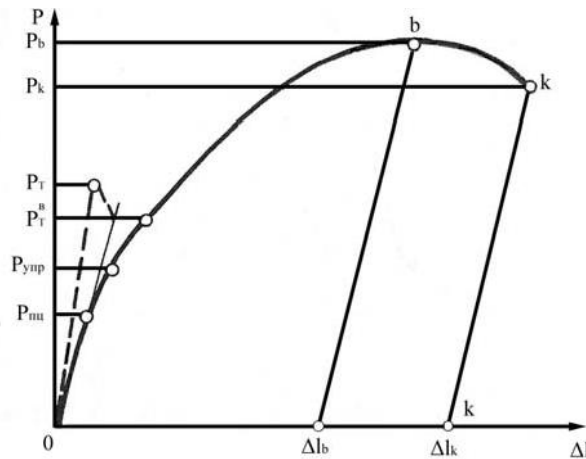


Рисунок 3.1 – Типова діаграма розтягування пластичних ливарних сплавів

Згідно стандарту температура при випробуванні на розтягнення повинна дорівнювати $20 \pm 10^\circ \text{C}$.

Зразки для випробування на розтягування виготовляються циліндричними або плоскими з розрахунковою довжиною $l_0 = 5,65 * \sqrt{F_0}$ (короткі) або

$l_0 = 11,3 * \sqrt{F_0}$ (довгі). Литі зразки і зразки з крихких матеріалів можна виготовляти з розрахунковою довжиною $l_0 = 2,82 * \sqrt{F_0}$.

Для циліндричних зразків як основні беруть зразки діаметром $d_0 = 10$ мм, розрахунковою довжиною $l_0 = 50$ мм і 100 мм (рис. 3.2). Для визначення межі міцності при розтягуванні сірого чавуну основними є проби діаметром 20 мм. Під час виготовлення зразків на металорізальних верстатах температура зразків не повинна перевищувати $100\text{--}120^\circ \text{C}$, не допускається наклеп поверхневого шару. Припуск на останній прохід перед шліфуванням має дорівнювати не більше $0,3$ мм, припуск на шліфування – $0,1\text{--}0,3$ мм, шліфування виконують в умовах інтенсивного охолодження рідиною. Шорсткість R_a робочої частини зразка повинна бути не більше $0,63$, а головок R_z – не більше 20 мкм.

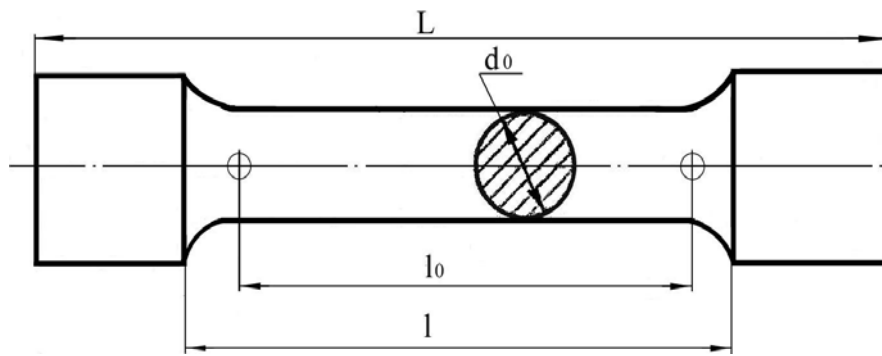


Рисунок 3.2 – Циліндричний зразок для випробувань на розтягнення

Машина Р-10 призначена для випробувань на розтягнення (рис. 3.3) і складається із навантажуючого пристрою і пульта керування. Навантажуючий пристрій призначений для деформування і руйнування зразку. Навантаження зразка здійснюється переміщенням траверси 2, яка пов'язана за допомогою тяг 3 і порецини 4 із толоком гідравлічного циліндру 5. Навантаження на зразку визначається за тиском мастила у робочому циліндрі 5 за допомогою спеціального торсійного силовимірювача 1, розміщеного в пульті керування.

Пульт керування призначений для керування процесом навантаження зразку і контролювання за величинами навантаження і деформацій.

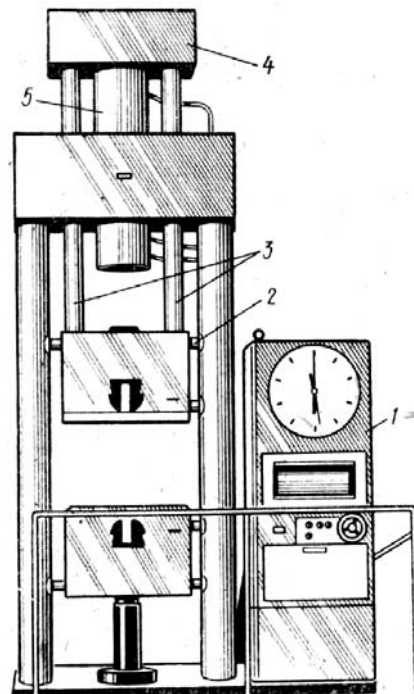


Рисунок 3.3 – Машина для випробувань металів і сплавів на розтягнення Р-10

До складу пульту керування входить помповий пристрій з системою керування, вимірювач навантаження і діаграмний пристрій для запису діаграми «навантаження – деформація».

Навантажуючий пристрій і пульт керування монтуються на міцному фундаменті і з'єднуються трубопроводами.

Технічні дані машини Р-10. Найбільше навантаження – 100 кН. Число діапазонів навантаження – 3.

Діапазон вимірювання навантаження: від 4 до 20 кН; від 10 до 50 кН; від 20 до 100 кН.

Масштаби діаграмного запису деформації: 5:1, 50:1.

Діапазон швидкостей руху захвату без навантаження від 0 до 200 мм / хв.

Зміст роботи

Підготувати машину і зразки до випробування. Виконати випробування зразків із міді, латуні, алюмінію, силуміну, сталі з записом діаграми розтягування для визначення σ_B і σ_T . Визначити залежність цих показників від хімічного складу сплаву. Визначити модулі пружності і теоретичну міцність досліджуваних сплавів.

Порядок виконання роботи

1. Накреслити ескізи зразків з розмірами.
2. Підготувати зразки до випробування (перевірити якість виготовлення, виконати необхідні виміри, необхідні для розрахунків розміри занести у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахункові розміри

№ п / п	Матеріал	№ зразка	l_0	l_K	Δl	d_0	d_K	F_0	F_K	ΔF

3. Підготувати машину до випробування.
4. Провести випробування.
5. Виконати необхідні виміри після випробування зразків, результати занести до табл. 1.2.
6. Зробити необхідні обчислення, результати занести до табл. 3.2.
7. Зробити висновки.

Таблиця 3.2 – Результати випробувань

№ п / п	Матеріал	№ зразка	Межа міцності		Межа текучості		Дійсна межа міцності		Відносні			
									Подовження		Звуження	
			P_0	σ_B	P_T	σ_T	P_K	S_K	Δl	δ	ΔF	Ψ

Методика проведення роботи

На головках зразків клеймами позначити марку сплаву, на робочій довжині навести поділки через кожні 5 або 10 мм керном. Можна позначити довжину двома поділками, виконаними за допомогою керна. Вимірити початкову розрахункову довжину l_0 з точністю до 0,1 мм за допомогою штангенциркуля.

Для визначення робочого перерізу F_0 виміряти в трьох місцях робочої частини зразку (по кінцях і всередині) діаметр d_0 , обчислити площину перерізу для кожного вимірювання і в табл. 1.1 занести найменші значення. Обчислені величини площини перерізу заокруглити відповідно до табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Величини заокруглення площини перерізу зразків

Площина перерізу, мм ²	Заокруглення, мм
від 2 до 10	до 0,01
від 10 до 20	до 0,05
від 20 до 100	до 0,1
від 100 до 200	до 0,5
більше 200	до 1,0

Внести в журнал випробувань маркірування і результати вимірів. Закріпити зразок у пристосуванні машини і розтягнути його із записом діаграми. Визначити зусилля P_B і P_K за шкалою вимірювача навантаження на пульті керування машиною. Межу міцності, а також зусилля P_B і P_K можна визначити по діаграмі розтягування (див. рис. 1.1).

Коли на діаграмі «навантаження – деформація» є, так звана, платформа

текучості – горизонтальна лінія, P текучості визначається безпосередньо (див. рис. 3.1).

Коли на діаграмі розтягнення немає платформи текучості, то треба визначити навантаження $P_{0,2}$ умовної межі текучості, для чого на діаграмі проводиться пряма OA , яка збігається з прямолінійною частиною діаграми розтягнення (рис. 3.4). Через точку O проводиться вісь ординат OP . Від точки O відкладається відрізок OB , який дорівнює завданому залишковому подовженню, тобто 0,2% від початкової розрахункової довжини зразка, збільшеному з урахуванням масштабу діаграми розтягнення. З точки B треба провести пряму, паралельну прямій OA . Точка D пересічення прямої BC з кривою розтягування визначить навантаження $P_{0,2}$, яке відповідає умовній межі текучості.

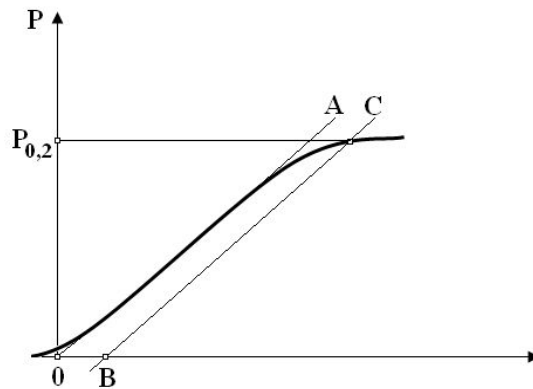


Рисунок 3.4 – Визначення по діаграмі розтягування навантаження умовної межі текучості

Для визначення розрахункової довжини зразку після руйнування l_0 половинки останнього складають, щільно притиснувши одну до одної. Довжину поміж кернами вимірюють з точністю 0,1 мм. Далі за наведеною вище формулою розраховується відносне подовження.

Для визначення відносного звуження вимірюють у круглому зразку найменший діаметр (у двох взаємно перпендикулярних напрямках) з точністю до 0,1 мм. Визначають середній діаметр d_K .

Обчислити площину перерізу F_K . За результатами визначення P_T , P_B , P_K та розмірами l_0 , l_K , F_0 , F_K обчислити за наведеними вище формулами σ_T , σ_B , S_K , δ , ψ і занести результати в табл. 3.2.

Модуль пружності визначається за формулою:

$$E = \frac{\sigma_{\Pi}}{\varepsilon}, \quad (3.1)$$

Вихідні дані для обчислення P_{Π} і ε визначають по діаграмі розтягування (рис. 3.5). На ділянці діаграми, що знаходиться в галузі пружної деформації, наноситься точка Е. З цієї точки треба провести пряму, перпендикулярну вісі ординат і визначити зусилля P_{Π} .

Пряма, проведена з точки Е перпендикулярно вісі абсцис, дозволяє (з урахуванням масштабу) визначити пружну деформацію, що відповідає навантаженню P_{Π} . Для цього треба вимірити довжину відрізка ОК.

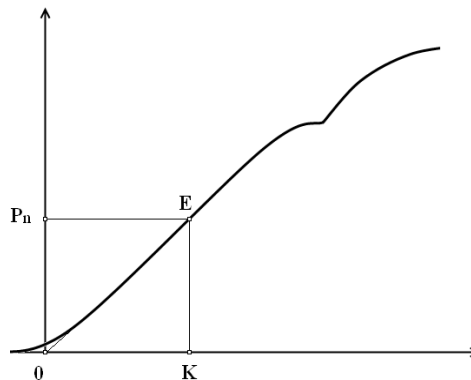


Рисунок 3.5 – Визначення навантаження і відповідної цьому навантаженню деформації на ділянці пружної деформації

Тоді, $\varepsilon = \frac{OK}{M} * l_0$ (M – масштаб деформації на діаграмі).

Напруження $\sigma_{\Pi} = \frac{P_0}{F_0}$

Теоретична міцність металів і сплавів визначається за формулою:

$$\sigma_{Th} = \frac{E}{10} \quad (3.2)$$

Контрольні запитання

1. Дати визначення основним міцнісним властивостям сплавів.
2. Пластичні властивості сплавів.
3. Вимоги щодо зразків, призначених для механічних випробувань на розтягування.
4. Будова машини для випробування сплавів на розтягування.

5. Визначення механічних властивостей сплавів по діаграмі «навантаження – деформація».
6. Визначення модулю пружності і теоретичної міцності сплавів.
7. Порівняння механічних властивостей чистих металів і сплавів на їх основі.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

ПЛАВКА І МОДИФІКУВАННЯ МАГНІЄВИХ СПЛАВІВ

Мета роботи – вивчити технологічний процес плавки з наведенням рафінуючого флюсу ВІЗ і модифікуванням магнієвих сплавів методом перегріву.

Матеріали та обладнання: лабораторна плавильна піч з магнезитовою футеровкою для плавки магнієвих сплавів; комплект плавильного інструменту; прилади з контролю плавки; шихтові матеріали залежно від сплаву, який виготовляється; графітова виливниця для проб; пристрої, прилади і матеріали для виготовлення шліфів і їх дослідження; водний розчин винної кислоти (2%); інструкція з техніки безпеки.

Загальні відомості

Магнієві ливарні сплави – це якісні конструкційні матеріали. При достатньо високій міцності вони у 4,5 рази легші від заліза і в 1,5 рази – від алюмінію. Питома міцність магнієвих сплавів у 1,5 рази вища ніж у алюмінієвих і у 2 рази вища ніж у чавуну. Вони мають високу демпфуючу здатність, що важливо для авіації та інших видів транспорту, добре обробляються. Головні недоліки магнієвих сплавів – це схильність до окислювання в процесі нагрівання, низька стійкість проти корозії.

Використовують дві групи магнієвих сплавів – деформовані і ливарні. Найпоширенішими із ливарних сплавів у машинобудуванні є сплави магнію з алюмінієм, цинком і марганцем. Для виготовлення виливків найчастіше використовують сплави марок МЛЗ і МЛ4. Сплави марок МЛ5 і МЛ6 призначені для виготовлення високонавантажених деталей, які працюють у складних атмосферних умовах .

Плавка магнієвих сплавів пов'язана з низкою труднощів. Сплави легко окислюються. На відміну від алюмінієвих сплавів на поверхні розплаву

утворюється пориста плівка оксиду MgO , яка не захищає розплав від подальшого окислення і загоряння. За температури плавки магній і його сплави взаємодіють з азотом, утворюючи нітриди, і інтенсивно поглинають водень. Оксиди і нітриди не розчинюються у метали і стають причиною зниження механічних властивостей виливків. Під час плавлення вони опускаються на дно тигля.

Шихтою для плавки магнієвих сплавів служать чушки первинного магнію, лігатури, стандартні магнієві сплави, чушковий алюміній, відходи власного виробництва і переплав відходів.

Плавка магнієвих сплавів залежно від серійності виробництва і маси виливків може виконуватись у тигельних печах (паливних чи електричних) або дуплекс– процесом полуменева піч–індукційна тигельна піч. Плавку в стаціонарних тиглях виконують для дрібних виливків. Для крупних виливків використовують печі із тиглями, які знімаються і мають перегородку.

Плавку сплавів МЛ5 і МЛ6 в тигельних печах проводять у такій послідовності: тигель нагрівають до 400...500 °С, потім завантажують флюс В12 (табл. 4.1) у кількості до 10% від маси шихти. Під розплавлений флюс завантажують підігріту металеву шихту, розплавляють, нагрівають до 700 °С і за допомогою "дзвоника" уводять марганець у вигляді $MnCl_2$ у трикратній кількості в порівнянні з розрахунковою (враховуючи втрати). Після цього завантажують цинк. Місця прориву із–під флюсу і загоряння магнію засипають флюсом. При температурі 720...740 °С сплав рафінують флюсом В13. Для цього попередній флюс скочують, далі вводять 0,001...0,002% берилію або 0,05% кальцію. Берилій вводять у вигляді алюмінієво–берилієвої лігатури (5% берилію) або фторберилата натрію Na_2BeF_6 ; кальцій додають у "чистому" вигляді. Ці елементи вводяться у розплав для підвищення щільності захисної оксидної плівки на розплаві.

Після захисного легування наносять флюс В13 (у кількості 1% від маси розплаву) і замішують його в розплав на 2/3 висоти тиглю. Хлористий магній, який є у складі флюсу, змочує неметалеві домішки в металі і сприяє їх спливанню або опусканню на дно.

Таблиця 4.1 – Склад флюсів для магнієвих сплавів, %

Флюс	$MgCl_2$	KCl	$NaCl+CaCl_2$	$BeCl_2$	CaF_2	MgO
В12	38–46	32–40	10	8	3–8	до 2
В13	38–46	32–40	10	–	15–20	–

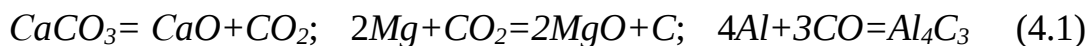
Після 5–6 хв замішування утворений на поверхні шлак скачують і наносять свіжий флюс. Під цим флюсом метал нагрівають до 750...780 °С, відстоюють 10–15 хв, охолоджують до 700–680 °С і заливають у форми. Рафінування вважається добре проведеним, якщо поверхня розплаву має дзеркальний (блискучий) вигляд. Проба чистого від неметалевих домішок металу має дрібнозернистий злам без видимих плям. Чорні плями свідчать про присутність оксидів магнію; сірі

плями – про присутність у металі часток флюсу.

Дегазація магнієвих сплавів виконується продуванням протягом 15–30 хв азотом при температурі 660...685 °С, аргонем або хлором при температурі 740...760 °С. Витрата газу – 0,3–0,5 м³ на 1 т металу. Газову пористість у виливках можна зменшити введенням у розплав 0,1% кальцію, який з воднем утворює стійкі гідриди.

Для роздрібнення зерна і підвищення механічних властивостей сплави з алюмінієм модифікують перегріванням, вуглецевими сполуками або хлорним залізом. Модифікування перегріванням здійснюється у сталевому тиглі при температурі 850...900 °С протягом 15–20 хв. Після модифікування метал швидко охолоджують до температури заливки (680...720 °С) і випускають із печі. При перегріванні у розплаві утворюються дрібнодисперсні включення $FeAl_3$ і $MnAl_3$, які стають центрами кристалізації.

При застосуванні вуглецевих сполук (мармур, крейда, магнезит, ацетилен, вуглекислий газ, гексахлоретан) протікає виділення вуглекислого газу, який при взаємодії з магнієм відновлюється до вільного вуглецю, що утворює з алюмінієм дисперсні карбіди. Коли розплав охолоджується, ці карбіди стають центрами кристалізації:



При модифікуванні хлорним залізом утворюється хімічна сполука $FeAl_3$, частки якої сприяють роздрібненню зерна.

Модифікатори вводять за температури 720...780 °С, занурюючи їх у “дзвонику” на 2/3 глибини розплаву.

У магнієвих сплавах без домішок алюмінію роздрібнення зерна досягається присадками 0,5–0,7% цирконію у вигляді лігатури магній–цирконій (12% цирконію). Шлак наводиться із лігатури фтороцирконату калію (40%), карналіту (40%) і 20% магнію чи фтороцирконату калію K_2ZrF_6 . Можна також використовувати кальцій – 0,05–0,15%. Лігатура магній–цирконій вводиться при температурі 850...900 °С. Фтороцирконат калію вводиться при температурі 930 °С. Кальцій вводять у чистому вигляді при 770...780 °С.

Тривалість модифікування залежно від модифікаторів триває 5...10 хв.

Тривалість відстоювання після уведення модифікаторів – 10...20 хв.

Ефективність модифікування визначають якістю зламу і величиною зерна за відомими методами.

Зміст роботи

Підготувати плавильну піч, шихтові матеріали та необхідні форми для проведення роботи. Виконати плавку, залити всі необхідні проби, проаналізувати результати роботи і зробити вионовки.

Порядок виконання роботи

Робота виконується в лабораторії кафедри ЛВ.

1. Вивчити теоретичні основи плавки, рафінування і модифікування магнієвих сплавів.
2. Вивчити інструкцію з техніки безпеки.
3. Підготувати піч і шихтові матеріали для плавки сплавів МЛ5 або МЛ6.
4. Засипати у тигель половину порції флюсу В12 (табл. 4.1), завантажити шихту, крім цинку, злегка присипати флюсом. Розплавити шихту і при температурі 680 °С завантажити цинк.
5. Нагріти метал до температури 700–720 °С, очистити носок тигля від флюсу, пробити кірку флюсу на поверхні розплаву, обережно нахилити тигель і коротким струменем повільно залити пробу у підігріту графітову виливницю. Під час заливки проби струмінь металу присипати порошком сірки.
6. Метал у печі нагріти до температури 700...720 °С, видалити шлак, нанести рафінуючий флюс В13 (табл. 4.1) і виконати рафінування протягом 5–6 хв. Перемішуючи, періодично додавати свіжий флюс. Рафінування вважається закінченим, коли поверхня розплаву має дзеркальний вигляд.
7. Витримати розплав 8–10 хв при температурі 750–760 °С, видалити шлак, нанести свіжий флюс і при температурі 700–720 °С залити пробу.
8. Виконати модифікування перегріванням. Для цього нагріти метал до температури 850 °С, витримати 15–30 хв, швидко охолодити до температури 700...720 °С і залити пробу.
9. Витримати метал у печі при температурі 680...700 °С протягом 10–15 хв, підвищити температуру до температури модифікування, виконати модифікування одним із наявних модифікаторів, залити пробу.
10. Охолодити проби, підрізати ножівкою, зламати, дослідити поверхню зламу.
11. Із зламаних проб приготувати шліфи, провести металографічне

дослідження мікроструктури немодифікованого і модифікованого металу до і після травлення. На нетравлених шліфах дослідити якість рафінування, на травлених – якість модифікування за зміною величини зерна.

12. Результати роботи занести до табл. 4.2 і 4.3, зробити висновки та підготувати звіт.

Таблиця 4.2 – Розрахунок кількості модифікаторів

Модифікатор і його склад	Кількість модифікатора		Модифікування	
	%	г	Температура	Тривалість

Таблиця 4.3 – Хронометраж плавки

Технологічні операції	Тривалість хв	Параметри плавки				Температура, С
		I, А	U, В	cos φ	W, кВт	
1	2	3	4	5	6	7
Завантаження шихти і включення печі						
Плавлення шихти						
Уведення легуючих елементів						
Проба металу на насиченість газами						
Випуск металу						
Загальна тривалість плавки						
Витрата електроенергії на плавку, кВт·год						
Питома витрата електроенергії, кВт·год/кг						

Запитання для самоконтролю

1. Загальна характеристика магнієвих сплавів (класифікація, склад, використання, модифікування).
2. Як взаємодіє магній з киснем, азотом, воднем?
3. Які плавильні агрегати застосовують для плавки магнієвих сплавів?
4. Характерні особливості плавки магнієвих сплавів.
5. Які елементи і в якій кількості вводять у магнієві сплави для захисту їх від загоряння?
6. Як треба тушити магнієвий розплав, що загорівся?
7. Які флюси використовують під час плавлення магнієвих сплавів і для чого?
8. Які існують методи рафінування магнієвих сплавів?
9. Які існують методи модифікування магнієвих сплавів ви знаєте?
10. Як контролюється якість магнієвих сплавів?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

ПЛАВКА СПЛАВІВ НА ОСНОВІ МІДІ

Мета роботи – вивчити технологічний процес плавки сплавів на основі міді, перевірити якість і механічні властивості (твердість) сплаву.

Матеріали та обладнання: плавильна піч для сплавів на основі міді;

плавильний інструмент; інструкція з техніки безпеки на плавильній печі; матеріали: мідь, олово, алюміній, цинк, фосфориста мідь, відходи виробництва і брухт латуней, олов'яних і алюмінієвих бронз, деревне вугілля; форми для заливання проб; прилад для вимірювання твердості.

Загальні відомості

Для виготовлення виливків використовують три групи мідних сплавів: олов'яні бронзи, безолов'яні бронзи і латуні.

Олов'яні бронзи широко застосовують для виготовлення водяної та парової арматури, підшипників, шестерен, втулок, що працюють в умовах стирання, підвищеного тиску води і водяної пари. Характерна особливість цих сплавів – великий інтервал між температурами ліквідусу і солідусу (150...200 °С), що сприяє утворенню у виливках розосередженої усадкорі пористості. Олов'яні бронзи мають високі ливарні властивості.

Дуже шкідливими домішками в олов'яних бронзах є алюміній і кремній, які при вмісті в сотих частках відсотка знижують їх механічні властивості і сприяють насиченню рідкого металу воднем.

Механічні властивості олов'яних бронз залежать від вмісту олова. При збільшенні вмісту олова міцність підвищується, а пластичність знижується.

Легування бронз цинком підвищує ливарні властивості і зменшує вартість сплаву. Уведення свинцю покращує антифрикційні властивості, оброблюваність різанням і рідкоплинність. Фосфор підвищує рідкоплинність і зносостійкість. Для підвищення механічних властивостей і роздріблення зерна олов'яні бронзи легують нікелем.

Безолов'яні бронзи використовують для заміни олов'яних. За механічними, антикорозійними і антифрикційними властивостями безолов'яні бронзи перевершують олов'яні. Серед сплавів цієї групи особливо виділяється

алюмінієва бронза. Вона має високу стійкість проти корозії у прісній і морській воді, добре протистоїть кавітації, має менший, ніж у олов'яної бронзи, знос при терті. Із алюмінієвих бронз виготовляють гребені, гвинти великих кораблів, корпуси насосів та ін.

Механічні, технологічні та експлуатаційні властивості алюмінієвих бронз підвищують легуванням залізом, марганцем, нікелем та іншими елементами. Залізо і марганець запобігають самовільному відпалюванню виливків (схильність до утворення крупнозернистої структури), підвищують механічні властивості. Легування нікелем підвищує зносостійкість і стійкість проти корозії. Особливо широко застосовують бронзи марок БрАМц9–2; БрАЖ9–4.

Алюмінієві бронзи схильні до окислення під час плавки. При цьому розплав забруднюється твердими дисперсними включеннями Al_2O_3 , які важливо видаляти.

Латуні. Для фасонного литва застосовують складнолеговані мідно–цинкові сплави; прості латуні використовують рідко.

Латуні мають кращі, ніж у бронз, ливарні властивості, мало схильні до газової пористості, оскільки дегазуються парами цинку в процесі плавки.

Для плавки мідних сплавів використовують індукційні печі, футеровані шамотом, дінасом або кварцом. Тип плавильної печі вибирають з огляду на технологічні можливості. Дугові печі мало придатні для плавки алюмінієвих бронз і латуней.

Олово, алюміній, цинк та інші компоненти, що входять у склад мідних сплавів, мають високу спорідненість до кисню, тому добавка цих компонентів у розплав супроводжується розкисленням міді і утворенням твердих, рідких і газоподібних оксидів. Це може призвести до браку виливків за неметалевими домішками і газовій пористості. Протікає також процес насичення металу газами із атмосфери.

Для забезпечення високої якості виливків під час плавки сплави захищають від взаємодії з газами; рафінують від шкідливих домішок, неметалевих включень і газу, а також часто модифікують метал. Захисне покриття для сплавів на основі міді утворюється за допомогою деревного вугілля, бури, кальцинованої соди, білого скла, фторидів кальцію і магнію та інших флюсів. Але захисні покриття не забезпечують повного захисту розплаву від окислювання. В кінці плавки виконується розкислення мідних сплавів.

Для розкислення основної маси сплавів на основі міді застосовують фосфор, який уводять у вигляді лігатури мідь–фосфор (7–10% фосфору) у кількості 0,1–0,15% від маси розплаву. Розкислення супроводжується утворенням пари

фосфорного ангідриду P_2O_5 і фосфорнокислої солі оксиду міді $CuPO_3$ у рідкому стані. Для розкислення мідних сплавів можна також використовувати цинк, алюміній, олово, магній, барій, церій, але для повноти розкислення їх треба додавати з надлишком, що не завжди можливо.

Добре розкислений метал має світлий дрібнозернистий злам. Дегазацію розплавів можна виконати обробкою фторидами, методом охолодження (відстоюванням із зниженням температури), вакуумуванням і продувкою інертними газами – аргоном або азотом. Ці способи можна також, нарівні з вакуумуванням і обробкою флюсами, застосовувати для очищення рідкого металу від суспендованих домішок.

Одним із найкращих рафінуючих флюсів для мідних сплавів є суміш фторидів кальцію і магнію (1:1), у кількості 1–2% від маси металу. В переплавленому і подрібненому вигляді суміш засипають на поверхню розплаву, витримують до повного розплавлення і замішують у сплав при температурі 1150...1250 °С. Перед розливанням у форми метал відстоюють протягом 10–15 хв.

Модифікування сплавів на мідній основі виконують тугоплавкими елементами: титаном, бором, ванадієм, молібденом, вольфрамом, цирконієм та іншими у кількості 0,02–0,1% від маси розплаву. Ці елементи утворюють з компонентами сплаву тугоплавкі інтерметаліди, які стають додатковими центрами кристалізації. Модифікуюча дія присадок тугоплавких елементів визначається присутністю у сплаві заліза. У сплавах, які не містять заліза, титан, бор, вольфрам та інші елементи (кожен окремо) не забезпечують стабільного роздрібнення зерна. Усталену дрібнозернисту структуру у таких сплавах (олов'яні бронзи, свинцові бронзи та ін.), можна отримати введенням в них титану, цирконію, молібдену та інших в кількості 0,05% разом з 0,02% бору.

Тугоплавкі модифікатори вводять у вигляді лігатур: алюміній–ванадій (до 50% ванадію), мідь–бор (3–5% бору), алюміній–титан (5% титану), мідь–титан (30% титану) та інші при температурі 1200...1250 °С. Перегрівання модифікованого металу перед заливкою ливарних форм знижує ефект модифікування.

Алюмінієві бронзи чутливі до перегрівання і більше олов'яних схильні до насичення газами, тому плавку їх бажано вести у слабкоокислювальній атмосфері під шаром флюсу, складеного із битого скла і соди (Na_2CO_3) у співвідношенні 1:1, не допускаючи перегрівання розплаву вище 1200 °С.

Зміст роботи

Вивчити особливості плавки сплавів на основі міді. Засвоїти технологічний процес плавки мідних сплавів. Виконати роботу і підготувати звіт.

Порядок виконання роботи

Робота виконується в діючому ливарному цеху.

1. Вивчити теоретичні основи плавки і розливки мідних сплавів.
2. Вивчити інструкцію з техніки безпеки на плавильних печах.
3. Засвоїти роботу обладнання для плавки.
4. Виконати плавку і здійснити її хронометраж (табл. 5.1).
5. Залити проби, перевірити якість і механічні властивості (твердість) металу.
6. Зробити висновки і підготувати звіт.

Таблиця 5.1 – Хронометраж плавки

Технологічні операції	Тривалість хв	Параметри плавки				Температура, С
		I, А	U, В	cos φ	W, кВт	
1	2	3	4	5	6	7
Завантаження шихти і включення печі						
Плавлення шихти						
Розкислення фосфористою міддю, 0,1...0,15%						
Уведення легуючих елементів						
Проба металу на насиченість газами						
Виключення печі						
Кінцеве розкислення фосфористою міддю, 0,1...0,15%						

Випуск металу						
Загальна тривалість плавки						
Витрата електроенергії на плавку, кВт·год						
Питома витрата електроенергії, кВт·год/кг						

Запитання для самоконтролю

1. Правила техніки безпеки під час виконання роботи.
2. Яке призначення захисних покриттів в процесі плавки сплавів на основі міді?
3. Які елементи і у якому вигляді використовують для розкислення мідних сплавів?
4. Що таке рафінування сплавів? Які методи рафінування мідних сплавів застосовують? Шкідливі домішки у мідних сплавах.
5. Чому при сильному перегріві сплаву на основі міді модифікуючий ефект знижується?

ЗМІСТ

ВСТУП 3

1. Практична робота № 1. ПЛАВКА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ
2. Практична робота № 2. ВПЛИВ РАФІНУВАННЯ ТА МОДИФІКУВАННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ
3. Практична робота № 3. ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ НА ЇХ МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
4. Практична робота № 4. ПЛАВКА І МОДИФІКУВАННЯ МАГНІЄВИХ СПЛАВІВ
5. Практична робота № 5. ПЛАВКА СПЛАВІВ НА ОСНОВІ МІДІ

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з навчальної дисципліни «Синтез ливарних сплавів»
для студентів денної та заочної форм навчання
за спеціальністю G10 Металургія

Укладачі:

ПОНОМАРЕНКО Ольга Іванівна
МАСАЛІТІНА Олена Володимирівна

Відповідальний за випуск
Роботу до видання рекомендував

проф. Акімов О. В.
проф. Дьомін Д. О.

В авторській редакції

План 2025 р., поз. 827

Підп. до друку 2025 р. Гарнітура Times New Roman

Видавничий центр НТУ «ХПІ»,
вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

Електронна версія