

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

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**До виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни  
«Ресурсозберігаючі технології та плавка сплавів зі спеціальними  
властивостями»**

Для студентів денної та заочної форми навчання  
За спеціальностями G9 Прикладна механіка  
та G10 Металургія

Затверджено редакційно  
видавничою радою університету  
Протокол № 1 від 13.02.2025 р.

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2025

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Ресурсозберігаючі технології та плавка сплавів зі спеціальними властивостями» для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальностями G9 Прикладна механіка та G10 Металургія / Уклад.: Пономаренко О.І., Масалітіна О.В., Петрова Ю. В. – Харків: НТУ «ХПІ», 2025. – 34 с.

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

Рецензент: Дьомін Д. О.

Кафедра ливарного виробництва

## ВСТУП

Ливарне виробництво є однією з найважливіших галузей металургії, що забезпечує виготовлення деталей і виробів із різних металів та сплавів. Якість кінцевого продукту значною мірою залежить від правильного вибору вихідних матеріалів, технології їх обробки та контролю виробничих процесів.

Дисципліна «Ресурсозберігаючі технології та плавка сплавів зі спеціальними властивостями» спрямована на вивчення методів добування чорних і кольорових металів, підготовки сплавів, а також особливостей їх застосування у ливарному виробництві.

Ці методичні вказівки розроблені для допомоги студентам у виконанні лабораторних робіт. Вони містять теоретичні відомості, методику проведення досліджень, рекомендації щодо обробки результатів і контрольні запитання для самоперевірки.

Мета виконання лабораторних робіт — закріплення теоретичних знань, набуття навичок аналізу технологічних процесів і підготовки сплавів, а також формування компетентності у виборі оптимальних технологічних рішень для забезпечення високої якості литих виробів. Методичні вказівки розраховані на студентів спеціальностей, пов'язаних із ливарним виробництвом, матеріалознавством і металургією.

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

## РОЗКИСЛЕННЯ МІДІ

### Загальні відомості

Для виготовлення виливків використовують олов'яні і безолов'яні бронзи, латуні (табл.1). Вони мають високі механічні та антифрикційні властивості, добре протистоять корозії в морській воді, парі і інших середовищах, зберігають високу пластичність при низьких температурах. Мідні сплави немагнітні, легко поліруються і обробляються різанням.

Таблица 1

Склад мідних ливарних сплавів

| Марка сплаву                             | Масова доля елементу, % (інше Си) |           |          |         |           |            |
|------------------------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|---------|-----------|------------|
|                                          | Sn                                | Pb        | Al       | Mn      | Zn        | Інші       |
| <b>Бронзи олов'яні (ДСТУ 3731-98)</b>    |                                   |           |          |         |           |            |
| Бр010Ф1                                  | 9,0-11,0                          |           |          |         |           | 0,4-1,1 Р  |
| Бр010112                                 | 9,0-11,0                          | -         | -        | -       | 1,0-3,0   | -          |
| Бр05Ц%С5                                 | 4,0-6,0                           | --        | -        | -       | 4,0-6,0   | -          |
| Бр03Ц12С5                                | 2,0-3,5                           | 3,0-6,0   | -        | -       | 8,0-15,0  | -          |
| <b>Бронзи безолов'яні (ДСТУ 3474-96)</b> |                                   |           |          |         |           |            |
| БрА9Мп2Л                                 | -                                 | -         | 8,0-9,5  | 1,5-2,5 | -         | -          |
| БрА9ЖЗЛ                                  | -                                 | -         | 8,0-10,5 | -       | -         | 2,0-4,0 Fe |
| БрА10ЖЗМц2                               | -                                 | -         | 9,0-11,0 | 1,0-3,0 | -         | 2,0-4,0 Fe |
| БрС30                                    | -                                 | 27,0-31,0 | -        | -       | -         | -          |
| <b>Латуні (ДСТУ 17711-93)</b>            |                                   |           |          |         |           |            |
| ЛЦ40С                                    | -                                 | 0,8-2,0   | -        | -       | 57,0-610  | -          |
| ЛЦ40Мп1,5                                | -                                 | -         | -        | 1,0-2,0 | 57,0-60,0 |            |
| ЛЦ30А3                                   | -                                 | -         | 2,0-3,0  | -       | 66,0-68,0 | -          |
| ЛЦ16К4                                   | -                                 | -         | -        | -       | 78,0-81,0 | 3,0-4,5 Si |

Плавку мідних сплавів ведуть в тигельних та шахтних індукційних та відбивних печах, футерованих шамотом або кварцом. При плавці на повітрі

мідні сплави окислюються і насичуються воднем. Окислюються в першу чергу компоненти, які мають більш високий, ніж мідь, ізобарний потенціал освіти оксиду. З цієї причини легуючі елементи мідних сплавів (Al, Be, Sn, Zn і ін.) окислюють мідь, утворюючи тверді, рідкі і газообразні оксиди. Тверді оксиди повільно спливають в розплавах можуть потрапити в відливання (рис. 1).

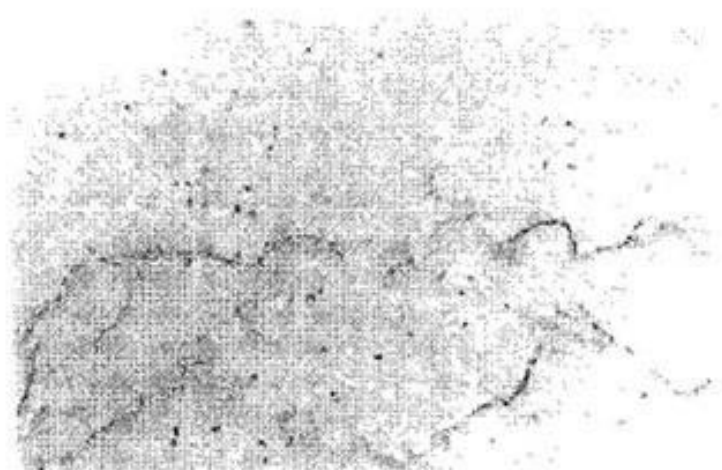


Рис. 1. Оксидні плени у зломі злитка берилієвої бронзи

За винятком латуней, розчинення водню в яких перешкоджає високий тиск пара цинку, мідні сплави інтенсивно поглинають водень і при кристалізації схильні до утворення газової пористості. Більшою мірою до цього схильні сплави з широким інтервалом кристалізації. Залежно від складу бронз і умов їх плавки вміст водню в 100 г металу може складати від 1,5 до 20 см<sup>3</sup>. З підвищенням температури інтенсивність взаємодії з газами збільшується. Взаємодії з газами найбільш схильні алюмінієві і кремнієві бронзи і латуні. Для захисту від окислення плавку мідних сплавів ведуть під покровом деревного вугілля або флюсів на основі фторидів, скла або соди (2-3% маси розплаву). Щоб попередити утворення твердих нерозчинних оксидів, мідь перед введенням легуючих елементів розкислюють 0,1 - 0,15% фосфору. Після розкислення в розплав послідовно вводять легуючі компоненти (кремній, алюміній, марганець, олово, свинець, цинк та ін.) в чистому вигляді або у вигляді лігатур.

Щоб уникнути сильного окислення і насичення воднем не рекомендується сильно перегрівати розплави. Особливо це стосується алюмінієвих бронз і кремнієвих латуней, тому що утворюються оксиди алюмінію  $Al_2O_3$  і кремнію  $SiO_2$  важко видаляються з розплавів і, потрапляючи в відливання, знижують їх властивості. Перегрів алюмінієвих бронз може бути обумовлений виділенням теплоти змішування при введенні алюмінію в розплав. Щоб уникнути цього рекомендується вводити алюміній невеликими

порціями одночасно з міддю. Для очищення розплавів від розчиненого водню і твердих неметалевих включень їх піддають продувці газами, вакуумуванню, обробці флюсами або фільтрування. Найбільш глибоке очищення розплавів від неметалевих включень дає фільтрування через зернисті фільтри з фторидів кальцію і магнію. Фільтри перед використанням підігрівають до 800оС.

Мідні розплави модифікують з метою подрібнення зерна і нейтралізації шкідливих домішок. Для подрібнення зерна в сплави вводять тугоплавкі елементи (Ti, V, Zr, B, W, Mo) в кількості 0,15 - 0,2%. Для нейтралізації шкідливого впливу домішок вісмуту, сурми, миш'яку та свинцю в подвійні латуні вводять присадки кальцію (до 0,2%). Церію (до 0,3%) або цирконію (0,4%).

Чиста мідь застосовується в техніці в основному у вигляді деформованих напівфабрикатів - дроту, труб, прутків листів і ін. Відлиття з міді застосовують в котлобудуванні, при виготовленні електроапаратури та зварювальних машин, в хімічній промисловості. Виготовлення фасонних виливків, зважаючи на низькі ливарних властивостей міді, пов'язане з рядом труднощів.

Залежно від вимог, що пред'являються до властивостей виробів, застосовують катодний мідь марок МО, М1, М2 і М3 (табл. 2)

Таблиця 2

Хімічний склад міді (ДСТУ 859:2003)

| Марка | Масова доля компоненту, % |                |                |
|-------|---------------------------|----------------|----------------|
|       | Cu                        | O <sub>2</sub> | Всього домішок |
| М0    | 99,97                     | 0,001          | 0,03           |
| М1    | 99,0                      | 0,01           | 0,1            |
| М2    | 99,70                     | 0,07           | 0,3            |
| М3    | 99,50                     | 0,08           | 0,5            |

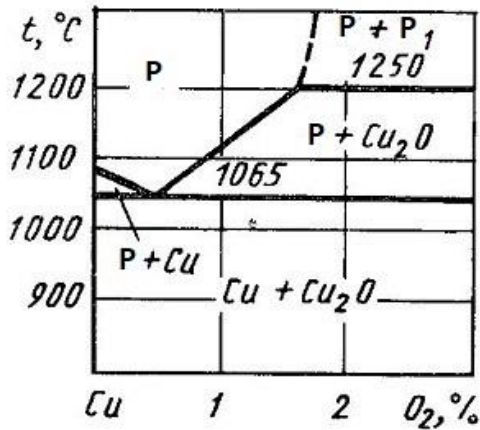


Рис. 2. Діаграма стану мідь-кисень

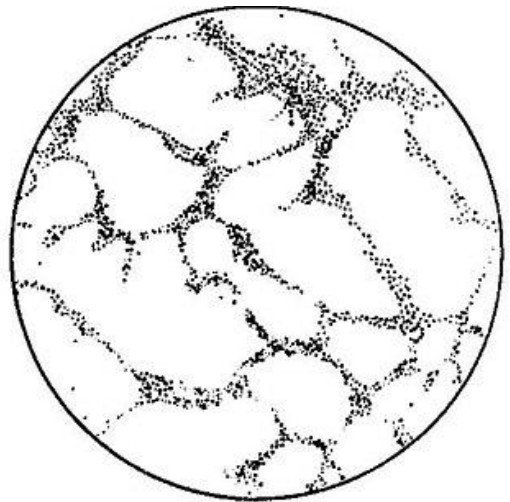


Рис. 3. Мікроструктура міді, що містить 0,09% кисню

При нагріванні на повітрі мідь окислюється. Утворений оксид  $\text{Cu}_2\text{O}$  розчиняється в рідкій міді. Рідка мідь розчиняє кисень. Взаємодія міді з киснем описується евтектичною діаграмою стану (рис.2). Розчинність кисню у твердій міді при  $100^\circ\text{C}$  становить 0,005%. При більшому вмісті кисню по межах зерен міді виділяється евтектика (рис. 3), що істотно знижує пластичні властивості міді і робить її схильною до водневої хвороби - утворення тріщин у виробках, що працюють в атмосфері водяної пари. Вміст кисню в розплаві визначає вибір футерування плавильних печей. Мідь з підвищеним вмістом кисню не можна плавити в печах з кислою футеровкою, так як остання оплавлюється в результаті утворення легкоплавкого силікату  $m\text{Cu}_2\text{O} + n\text{SiO}_2 \rightarrow m\text{Cu}_2\text{O}_n\text{SiO}_2$ . У цьому випадку використовують футерування з магнезиту. Розплавлена мідь взаємодіє з сірчистим газом з утворенням сульфідів  $\text{Cu}_2\text{S}$  і інтенсивно розчиняє водень. Між вмістом кисню і водню встановлюється динамічна рівновага, що описується кривою Аллена (рис.4). Взаємодія з газами йде тим інтенсивніше, чим вище температура перегріву розплаву.

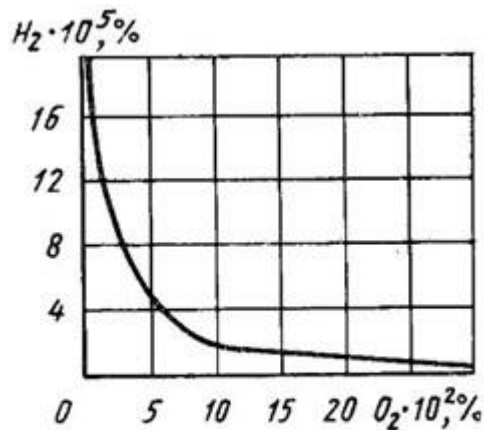


Рис. 4 Крива Аллена

Для запобігання взаємодії з газами печей атмосфери плавку міді ведуть із застосуванням захисного покриву з деревного вугілля. Необхідною умовою застосування деревного вугілля є його ретельна сушка з метою видалення адсорбованої вологи. Кращі результати забезпечує плавка в вакуумних печах або в печах із захисною атмосферою.

При плавці на повітрі в мідних розплавах завжди виявляють деяку кількість кисню. Вміст кисню визначають виміром його активності або металографічним шляхом по площі, займаній евтектикою  $\text{Cu} + \text{Cu}_2\text{O}$ . Видалення кисню з неокисленої міді здійснюють вакуумної переплавою розкисленням або фільтруванням розплаву через шар розпеченого деревного вугілля.

Для отримання безкисневої міді ( $< 0,001 \% \text{O}_2$ ) використовують в вакуумі.

Розкисленням називають процес видалення кисню з розплаву шляхом введення в нього активних елементів, що утворюють нерозчинні в розплаві оксиди. Розкислювач повинен володіти великим у порівнянні з розплавленою міддю спорідненістю до кисню. За характером дії розкислювачі ділять на дві групи: поверхневі нерозчинні і об'ємні розчинні в розплаві. При використанні поверхневих розкислювачів (карбід кальцію  $\text{CaC}_2$ , борид магнію  $\text{Mg}_2\text{B}_2$ , вуглець, борний шлак  $\text{B}_2\text{O}_3 \times \text{MgO}$  та ін.) Реакція з киснем йде тільки по поверхні зіткнення розкислювача з розплавом, що обумовлює малу швидкість розкислення. Для прискорення цього процесу розкислювачі замішують в розплав. Гідність цих розкислювачів полягає в тому, що вони не переходять в розплав і їх надлишок не відбивається на якості металу. Витрата поверхневих розкислювачів становить 1 - 3% маси розплаву.

Розчинні розкислювачі взаємодіють з киснем по всьому об'єму розплаву, тому необхідна повнота розкислення досягаються значно швидше, ніж при використанні поверхневих розкислювачів. Істотним недоліком розкислювачів цієї групи є несприятливий вплив їх надлишку на експлуатаційні властивості міді (електричну провідність).

За фізичним станом продуктів розкислення розчинні розкислювачі ділять на три групи:

перша - розкислювачі, що дають газоподібні продукти (водень, вуглеводні і оксид вуглецю);

друга - розкислювачі, що утворюють пароподібні або рідкі продукти (фосфор і літій);



третя - розкислювачі, що дають тверді продукти (кальцій, магній, алюміній, кремній, марганець і ін.).

Оскільки газоподібні і рідкі оксиди видаляються з розплаву легше, ніж тверді, при розкислюванні перевагу віддають розкислювачам першої і другої груп. Розчинні розкислювачі вводять в мідь в кількості 0,1 - 0,5% (з 10 -15% - ним надлишком в порівнянні з потрібними по стехіометричній реакції розкислення).

Хід процесу розкислення контролюють за показаннями активометра, встановленого в печі, або за технологічними пробами на злам і усадку. Оптимальному розкисленню відповідають дрібнокристалічний світло-рожевий злам без спучування і концентрованої раковини.

У даній роботі необхідно оцінити ефективність розкислення міді двома розкислювачами, одним з яких є фосфор. Другий розкислювач вибирається за вказівкою викладача. Реакція розкислення міді фосфором спрощено може бути записана наступним чином  $4 [P] + 10 [O] \rightarrow P_4O_{10}$ . Продуктом розкислення є пароподібний п'ятиоксид фосфату з димерними молекулами  $P_2O_5 \cdot P_2O_5$  і рідка фосфорнокисла сіль міді  $CuPO_3$ . Обидва цих продукту легко видаляються з розплаву. Хід процесу розкислення контролюють відбором технологічних проб на злам і мікроструктуру. Для якісного визначення вмісту кисню в міді необхідно, щоб зразки для шліфів мали товщину не менше 20 мм<sup>2</sup>. Підготовку шліфів ведуть за загальноприйнятою методикою.

### **Устаткування, інструменти і матеріали**

Тигельна піч з силітовими нагрівачами, графітошамотний тигель, хромель- алюмелева термопара, переносний гальванометр, технічні ваги, металомікроскоп, слюсарні лещата, установка для полірування шліфів, набір інструментів для виготовлення ліфа, набір шліфувального паперу, шихтові матеріали, розкислювачі, спецодяг і захисні окуляри, фотореактивів, пластини і фотопапір.

### **Порядок проведення роботи**

Робота розрахована на 4 години.

1. Навішування вихідної міді (0,5 -0,7 кг) розплавити під шаром деревного вугілля. Перегріти розплав на 100 ° С вище температури плавлення і витримати протягом 10 хв.

2. Відлити пробу на злам в металевій виливниці. Залишок металу розлити в два тигля, завантажити деревне вугілля і помістити в піч.

3. Зламати зразок. Визначити вміст кисню по зламу, зробивши відповідний запис у робочому журналі.

4. Виготовити мікрошліф, по ньому визначити вміст кисню. Для цього мікрошліф переглядають при збільшенні 200 і порівнюють мікроструктуру з еталонами. При визначенні вмісту кисню необхідно строго розрізняти включення оксиду міді мають блакитно-сірий колір, від темних неметалічних включень і пір, які не повинні прийматися в розрахунок. У разі необхідності шліфи переглядають в поляризованому світлі. Включення оксиду міді при цьому мають рубіново-червоний колір

При концентрації кисню менше електричної ( $<0,39\%$ ) на металографічному шліфі визначають площу, займану евтектикою,  $F_e$  і площа шліфу  $F_{ш}$ . Потім розраховують вміст кисню в міді,;

$$[O] = 0,39 F_e / F_{ш}$$

Для отримання надійних результатів визначення слід проводити в п'яти-десяти полях зору і обчислювати середнє значення.

5. Розрахувати кількість кожного розкислювача, необхідного для зв'язування всього кисню, що міститься в міді ..

Приклад. Вихідна мідь після розплавлення під вугіллям містила 0,22% кисню. Приймаємо, що в обох тиглях знаходиться по 0,2 кг Cu. У кожному навішуванні (200 г) міститься  $2 \times 0,22 = 0,44$  г  $O_2$ . Щоб зв'язати це кількість кисню в  $P_2O_5$  по реакції  $5 [O] + 2 [P] \rightarrow P_2O_5$ , необхідно витратити

$$2 \cdot 31 \cdot 0,44 : 5 \cdot 16 = 0,34 \text{ г Р.}$$

Для забезпечення повноти розкислення фосфору вводять на 10 - 15% більше, ніж це потрібно по стехіометричній реакції. З огляду на це кількість фосфору складе  $0,34 + 0,1 \cdot 0,34 = 0,374$  м

Фосфор вводять лігатурою мідь - фосфор, що містить 10 % фосфору. Кількість лігатури, необхідне для розкислення міді.

$$X = 0,374 \cdot 100 : 10 = 3,74 \text{ г}$$

6. Розкислити навішування міді розкислювачами. Залити проби на злам в металеві виливниці.

7. Визначити вміст кисню по зламу і мікрошліф. Зробити знімки мікроструктур вихідної і розкисненої міді.

8. Визначити повноту розкислення міді розкислювачами.

## **Результати спостережень і їх обробка**

Визначити точність визначення вмісту кисню в міді металографічним методом по площі, займаної евтектикою. Розрахувати дисперсію і знайти довірчий матеріал при ймовірності 0,90.

З використанням результатів, отриманих іншими бригадами студентів, побудувати графічні залежності залишкового вмісту кисню в міді від кількості що вводяться розкислювачами.

### **Зміст звіту**

1. Опис технології плавки і рафінування міді.
2. Опис методики визначення вмісту кисню в міді по мікроструктурі і зламу.
3. Повний розрахунок необхідної кількості розкислювачів.
4. Опис зламів зразків.
5. Опис мікроструктури вихідної і розкисленої міді.
6. Знімки мікроструктур.
7. Розрахунок дисперсії і довірчого матеріалу вмісту кисню в міді при металографічному визначенні.
8. Графіки залежності залишкового вмісту кисню від кількості що вводяться розкислювачами.
9. Висновки.

### **Контрольні питання**

1. З якою метою проводять розкислення міді?
2. У чому полягає сутність розкислення?
3. Якими розкислювачами розкислюють мідь, що використовується для електротехнічних цілей?
4. Як захищають мідь від взаємодії з газами під час плаки?
5. Які продукти одержують при розкисленні фосфором, літієм, магнієм, вуглецем?
6. Які продукти розкислення найкращі?
7. У якому вигляді в розплави вводять фосфор та літій?
8. За якої температури здійснюють розкислення міді?
9. Які елементи можна використовувати для розкислення міді?
10. Які методи використовують для визначення вмісту кисню в міді?
11. Як змінюється вміст кисню у міді зі збільшенням вмісту водню?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### **ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНОМАНІТНИХ СПОСОБІВ РАФІНУВАННЯ МІДНИХ СПЛАВІВ ВІД НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ**

#### *Загальні відомості*

Рафінування мідних розплавів здійснюють з метою зниження вмісту газів і видалення зважених неметалевих включень. Дегазацію мідних розплавів здійснюють продуванням інертними газами (аргон, азот), обробкою фторидами і флюсами, вакуумуванням, ці ж способи поряд з фільтруванням застосовують для очищення розплавів від зважених неметалевих включень. Оскільки більшість рафінуючих засобів тією чи іншою мірою гігроскопічна, необхідною умовою їх застосування є попереднє сушіння або переплавлення.

Рафінування інертними газами ведуть при температурі розплаву 1150 – 1200°C, витрата газу 0,25 - 0,5 м<sup>3</sup> на 1 т розплаву, тривалість продування при тиску газу 19,6 - 29,4 кПа становить 5-10 хв.

Хлористий марганець вводять у кількості 0,1-0,2 % маси розплаву при 1150-1200°C за допомогою дзвіночка. Для видалення бульбашок рафінуючого газу розплав перед розливом витримують протягом 10-15 хв.

Вакуумування застосовують у тих випадках, коли сплав не містить компонентів з високим тиском пари. Щодо мідних сплавів цей процес ведуть при 1150-1300°C і залишковому тиску 0,6-1,3 кПа. Тривалість вакуумування визначається масою розплаву, що піддається обробці та висотою стовпа рідкого металу. Найчастіше тривалість вакуумування вбирається у 25 хв.

Обробку розплавів флюсами (табл. 3) застосовують переважно для очищення від зважених неметалевих включень. Найбільш високими рафінуючими властивостями володіють фторидні флюси, зокрема суміш фторидів кальцію та магнію.

## Склад рафінуючих флюсів для бронз

| Состав флюсу, %                                                                                                                   | Рафіновані бронзи |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 7 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , 2 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 33 $\text{CaF}_2$                                              | Олов'яні          |
| 20 $\text{CaF}_2$ , 60 $\text{NaF}$ , 20 $\text{Na}_3\text{AlF}_6$                                                                | Алюмінієві        |
| 60 $\text{NaCl}$ , 40 $\text{Na}_3\text{AlF}_6$                                                                                   |                   |
| 10 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 20 $\text{CaF}_2$ , 30 $\text{NaF}$ , 20 $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ,<br>20 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ |                   |
| 6 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , 70 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 12 $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ,<br>12 $\text{K}_2\text{CO}_3$  |                   |

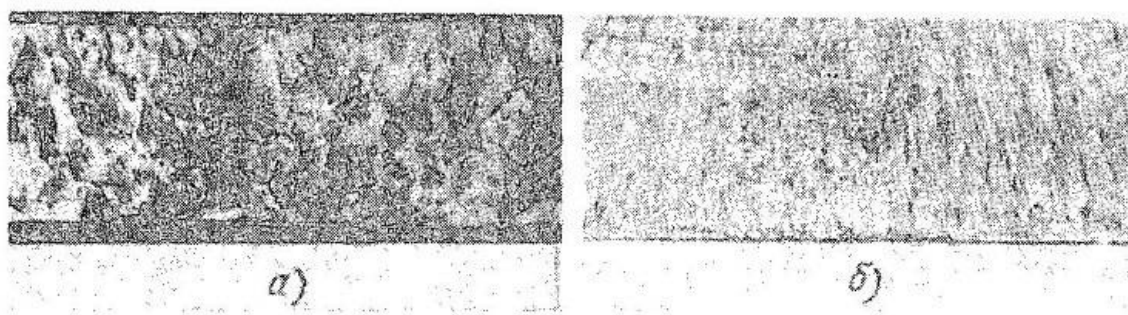


Рис. 5. Пливи в зламах технологічних проб сплаву БрА9Мц2Л до (а) і після (б) фільтрування

Перед рафінуванням розплав нагрівають до  $1250^\circ\text{C}$ , знімають шлак і на дзеркало металу насипають порошок переплавленого флюсу в кількості 1,5 - 2,0% маси розплаву. Протягом 8-15 хв флюс замішують у розплав. Перед заливкою більш повного відділення крапель флюсу розплав витримують при температурі заливки протягом 10 – 15 хв.

Оптимальним способом очищення мідних сплавів, що містять елементи, що легко окислюються (алюміній, титан, цирконій, берилій) від неметалевих включень є фільтрування. Для цієї мети використовують зернисті фільтри з магнезиту, алунду, сплавів фториду кальцію та магнію. Товщину фільтра

вибирають від 60 до 150 мм, розмір зерна у діаметрі становить 5 – 10 мм. Перед фільтруванням зернисті фільтри нагрівають до 800°C.

Фільтрування дозволяє знизити вміст неметалевих включень у 2 – 3 рази, що спричиняє укрупнення зерна, підвищення пластичних та втомних характеристик та зниження вмісту газів. Зміст неметалевих включень визначають з допомогою технологічних проб Добаткіна – Зіновйова. Характерні злами проб наведено на рис.5

### **Обладнання, інструменти та матеріали**

Плавильна піч (силитова, високочастотна) механічна пила для розрізання виливків, прес для осідання технологічних проб, переносний гальванометр з термопарою, металева виливниця для отримання злитків діаметром 30-40 і довжиною 100 мм, графітошамотний тигель ємністю 5 кг, вибір інструментів для плавки та заливки, набір інструментів та матеріалів для виготовлення макро- та мікрошліфів, шихтові матеріали, виливниця для відливу структурної проби, рафінуючі засоби (азот, хлорид марганцю, зерна сплавів фториду кальцію та магнію) розчиняючи для травлення мікро- та макрошліфів, фотореактиви, фотопластини та фотопапір, комплект спецодягу, захисні окуляри.

### **Порядок проведення роботи**

Робота розрахована на 4 год.

1. Розрахувати шихту щоб одержати сплав заданого складу. Під час виконання цієї роботи рекомендується виплавляти алюмінієві бронзи або спеціальні латуні (ЛЦ30А3, ЛЦ16К4).
2. Розплавити мідь, нагріти до 1200°C. Ввести в розплав інші компоненти шихти, дотримуючись певної послідовності (в алюмінієві бронзи алюміній вводять в останню чергу).

3. Перегріти розплав до 1250°C. Витримати при цій температурі протягом 5-10 хв, зняти шлак і відлити злиток діаметром 20 і довжиною 80 -100 мм у металевій формі та структурну пробу у графітовій.
4. Половину розплаву, що залишився, відлити в нагрітий тигель. Помістити обидва тиглі в печі. Нагріти обидві порції до температури 1250°C і відрафінувати їх у різний спосіб за вказівкою викладача.
4. Відлити злитки з рафінованих розплавів у таких самих температурних умовах, в яких розливався в розплав до рафінування.
5. Зі злитків вирізати зразки на осадку діаметром 20 і довжиною 80 мм і темплети для виготовлення мікрошліфів. Виготовити мікротемплети.
6. Нагріти зразки до 800°C і осадити на пресі до висоти 20 мм (чотириразове осадження).
7. Надрізати обложені зразки за схемою і зламати їх. Визначити ураженість зламів неметалевими включеннями.
8. Протруїти мікрошліфи та структурні проби в 10 – 200 %-ому водному розчині персульфатів амонію. Вивчити структуру темплетів та проб. Визначити середній розмір зерна.
9. Оцінити ефективність різних способів рафінування порівнянням зламів макрошліфів та структурних проб сплаву у вихідному та рафінованому станах.

### **Результати спостережень та їх обробка**

Результати визначення коефіцієнтів ураженості зламів технологічних проб оксидними пленами, середнього розміру зерна структурних проб та темплетів подати у вигляді таблиці.

Провести статистичну обробку результатів визначення середнього розміру зерна темплету проби. Знайти довірчий інтервал за ймовірності 0,95.

| Сплав | Спосіб рафінування                     | Коефіцієнт відображення зламами, т | Середній розмір зерна, мм |          | Характеристика мікроструктури |
|-------|----------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|----------|-------------------------------|
|       |                                        |                                    | технологічної проби       | Темплета |                               |
|       | Без рафінування                        |                                    |                           |          |                               |
|       | Обробка солями ( $MnCl_2$ )            |                                    |                           |          |                               |
|       | Продувка азотом                        |                                    |                           |          |                               |
|       | Фільтрування через фільтр із магнезиту |                                    |                           |          |                               |

### Зміст звіту

1. Загальні відомості про технологію рафінування мідних сплавів
3. Розрахунок шихти.
4. Опис мікроструктури злитків і структурних проб.
5. Опис зламів технологічних проб і їх фотознімки.
6. Опис мікроструктури сплавів.
7. Висновок про ефективність способів рафінування.

### Контрольні питання

1. Якими способами можна здійснювати дегазацію мідних розплавів?
2. У чому сутність механізму дегазації продувкою розплаву інертними чи активними газами?
3. Скільки газу, що рафінує, витрачається на 1 т мідного розплаву?
4. У яких випадках можна здійснювати дегазацію мідних сплавів вакуумуванням?
5. За яких залишкових тисків здійснюють дегазацію вакуумуванням?
6. У чому сутність механізму дегазації вакуумуванням?
7. Який із способів дегазації найефективніший?
8. Якими способами рафінують мідні розплави від неметалевих включень?



## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КРЕЙДИ І ГЕКСАХЛОРЕТАНУ ПРИ МОДИФІКУВАННІ СПЛАВІВ СИСТЕМИ МАГНІЙ-АЛЮМІНІЙ- ЦИНК**

### *Загальні відомості*

Для подрібнення зерна і підвищення механічних властивостей магнієві сплави, що містять алюміній, модифікують перегрівом або додаванням речовин що містять вуглець.

Для модифікування перегрівом розплав після рафінування нагрівають у сталевому тиглі до  $900^{\circ}\text{C}$ , витримують за цієї температури 15-20 хв і швидко охолоджують до температури заливки ( $680-720^{\circ}\text{C}$ ). Розчинення тигля при перегріванні розплаву та утворення при охолодженні великої кількості тонкодисперсних частинок  $\text{FeAl}_3$ , що є центрами кристалізації, призводять до подрібнення зерна сплаву виливки. Ефективність модифікування залежить від вмісту заліза у сплаві. За вмісту заліза менше 0,005% зростає велике зерно; зерно середнього розміру утворюється за вмістом заліза від 0,006 до 0,02, а дрібне зерно за вмістом заліза понад 0,02 %. Витримка розплавів за температурою заливки супроводжується коагуляцією частинок інтерметаліду  $\text{FeAl}_3$  та погрубленням зерна. Процес погрублення йде тим інтенсивніше, чим більше у сплаві домішок цирконію, кремнію чи берилію. Різке погрубіння спостерігається при вмісті 0,002% цирконію. Отримати виливки з дрібним зерном практично неможливо при вмісті у сплаві понад 0,002% берилію. Модифікування перегрівом проходить успішно при вмісті в сплаві 0,001% заліза та 0,2% марганцю.

Ефект модифікування перегрівом пропадає при тривалій витримці розплаву (до 1 години) при  $680-720^{\circ}\text{C}$ . Повторне нагрівання до  $900^{\circ}\text{C}$  знову подрібнює структуру. Перегрів модифікованого розплаву до  $1000^{\circ}\text{C}$  або повільне охолодження оптимальної температури модифікування призводить до погрублення зерна.

Недоліками цього способу є низька продуктивність, підвищений чад сплаву, велика витрата тиглів та палива.

При модифікуванні вуглецевими речовинами в розплав після рафінування вводять просушені крейду, мармур, магнезит, гексахлоретан або осушені ацетилен і вуглекислий газ (табл.4).

## Режими модифікування вуглецевими речовинами

| Модифікатор   | Кількість, % | Розмір шматків | Температура, °C | Тривалість замішування, хв. |
|---------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------------------|
| Крейда        | 0,5-0,6      | Порошок        | 750- 780        | 5 - 8                       |
| Мрамор        | 0,5 – 0,6    | Крихта         | 760 - 780       | 8 - 12                      |
| Магнезит      | 0,3 – 0,;    | 10 - 15        | 720 - 730       | 8 - 12                      |
| Гексахлорэтан | 0,3 – 0,5    | Порошок        | 720 - 760       | 8 - 12                      |

Примітка. Тривалість відстоювання 15 - 40 хв.

При модифікуванні крейдою, магнезитом, мармуром ці речовини розкладаються з виділенням вуглекислого газу, що вступає у взаємодію з магнієм:

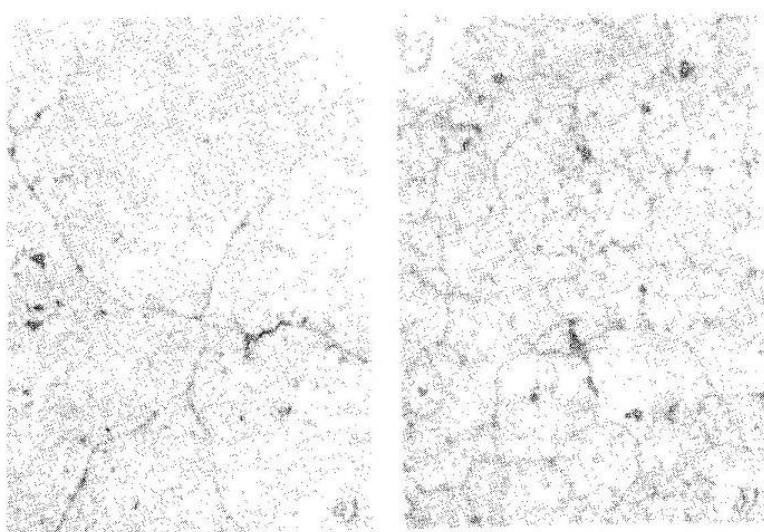
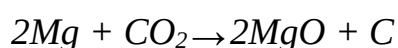
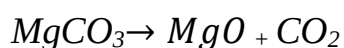
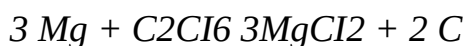


Рис. 6. Мікроструктури сплаву МЛ5 до (а) та після (б) модифікування,  $\times 100$

Вуглець, що виділяється, взаємодіє з алюмінієм, утворюючи карбід алюмінію  $Al_4C_3$ . Дрібнодисперсні виділення тугоплавкого карбїду є центрами кристалізації для твердого розчину алюмінію. Типові структури вихідного та модифікованого сплаву МЛ5 наведено на рис. 6.

При модифікуванні гексахлоретаном між розплавом та модифікатором проходить хімічна реакція, в результаті якої виділяється атомарний вуглець, необхідний для утворення карбїду алюмінію:



Модифікація вуглецевими модифікаторами в порівнянні з модифікуванням перегрівом має ряд переваг: можливість отримання дрібного зерна виливків без перегріву розплаву, скорочення витрати палива і тиглів, зниження втрат металу на чад. Тому цей вид модифікування широко застосовують під час виробництва фасонних виливків. Недоліком такого модифікування є збагачення розплавів оксидами та воднем, що спричиняє утворення мікрорихлот та зниження механічних властивостей сплавів. До недоліків слід також віднести короткочасність збереження ефекту модифікування. Сильне огрубіння зерна у виливках спостерігається після витримки модифікованих розплавів протягом 40 - 60 хв при 700-720°C. Демодифікуючу дію на сплави системи магній - алюміній - цинк, модифіковані вуглецевими модифікаторами, надають соті частки відсотка цирконію і перегрів розплаву вище 950°C. Модифікатори вводять у розплав за допомогою дзвіночка, опускаючи їх приблизно на половину глибини тигля.

Для сплавів, що не містять алюміній, подрібнення зерна виливків досягається присадками 0,5 0,7% цирконію або 0,05 0,15% кальцію. Для запровадження цирконію використовують лігатуру магній – цирконій (12 % цирконію). Шлак-лігатуру або фторцирконат калію. Кальцій вводять у чистому вигляді. Якість модифікування визначається за розміром макрозерна, зламу та дисперсності мікроструктури. Розмір мікрозерна та дисперсність структурних складових визначається методом січень.

### Обладнання, інструмент та матеріали

Піч СШОЛ для плавки сплавів, тиглі сталеві зварні ємністю 1 дм<sup>2</sup>, хромель-алюмелева термопара, гальванометр, ваги технічні, виливниця для відбору проб на злам (рис. 7), набори слюсарного та плавильно-заливного інструменту, шихтові матеріали для (див. табл.5), порошок сірки, сухий кварцовий пісок, подрібнений магнезит, спецодяг, захисні окуляри.

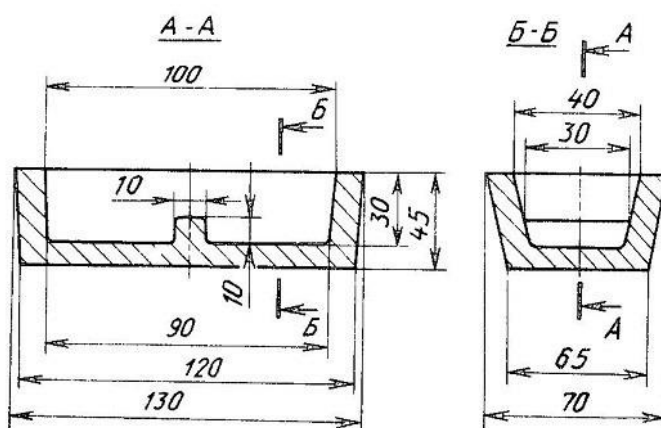


Рис. 7. Виливниця для підбору проби на злам

## **Порядок проведення роботи**

Робота розрахована на 4 год.

1. Розрахувати шихту на приготування 1 кг сплаву заданого складу. Підготувати шихтові матеріали відповідно до розрахунку.
2. Розплавити та відрафінувати сплав одним із методів за вказівкою викладача.
3. У нагрітій виливниці відлити пробу на злам.
4. Розділити рафінований розплав на дві рівні порції та помістити їх у піч.
5. Здійснити модифікування порцій розплаву різними модифікаторами за режимами, наведеними у табл. 5. Вибір модифікаторів узгодити з викладачем.
6. З кожної порції модифікованого розплаву відлити пробу на злам.
7. Порівняти структуру зламів проб з модифікованого та немодифікованого сплавів та оцінити ефективність дії модифікатора.
8. Виготовити мікрошліфи та визначити розміри зерна у зразках сплавів до та після модифікування. Для травлення шліфів слід використовувати 2%-ний водний розчин винної кислоти.

Оцінити ефективність досліджених модифікаторів.

## **Результати спостережень та їх опрацювання**

Результати вимірів занести до таблиці.

Провести статистичну обробку результатів визначення розміру макрозерна проб. Знайти довірчий інтервал за ймовірності 0,95.

Побудувати графічні залежності розміру зерна від кількості та виду модифікатора.

Таблиця 5

| Сплав | Умови модифікування             |                 |                    |                   |          | Розмір<br>зерна, мкм |
|-------|---------------------------------|-----------------|--------------------|-------------------|----------|----------------------|
|       | Модифіка<br>тор                 | Кількість,<br>% | Температура,<br>°C | Тривалість, хв    |          |                      |
|       |                                 |                 |                    | перемішу<br>вання | витримки |                      |
| МЛ5   | Модифіку<br>вання<br>перегрівом | -               | 900                | -                 | 10       |                      |
|       | Теж                             | -               | 900                | 20                | 20       |                      |
|       | Магнезит                        | 0,4             | 730                | 5                 | 20       |                      |
|       | -                               | 0,3             | 730                | 5                 | 20       |                      |
|       | Мармур                          | 0,6             | 780                | 8                 | 30       |                      |

### Зміст звіту

1. Загальні відомості про технологію модифікування магнієвих сплавів.
2. Заходи з техніки безпеки під час плавлення магнієвих сплавів.
3. Розрахунок шихти на 1 кг сплаву.
4. Опис умов ведення плавки, рафінування та модифікування заданого сплаву?
5. Методика проходження структури металу.
6. Графіки.
7. Висновки.

### Контрольні питання

1. Які цілі переслідують під час модифікації магнієвих сплавів?
2. Які способи модифікують магнієві сплави, які містять алюміній?
3. У чому полягає модифікація перегріву?
4. Які вуглецевмісні модифікатори застосовують для подрібнення зерна сплавів системи магній – алюміній – цинк?
5. У якому вигляді та в якій кількості вводять вуглецевмісні речовини при модифікуванні магнієвих сплавів?

6. Назвіть оптимальні режими модифікування перегрівом і вуглецевмісними модифікаторами.
7. Які модифікатори використовують для подрібнення зерна магнієвих сплавів, які не містять алюміній?
8. Як оцінюється якість модифікування?
9. Скільки часу зберігається ефект модифікування?
10. Які вимоги до шихтових матеріалів та інструменту пред'являє інструкція з техніки безпеки?
11. Чим слід усувати осередки горіння магнієвих сплавів під час плавлення та заливання?

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ МЕТОДІВ  
РАФІНУВАННЯ МАГНІЄВИХ СПЛАВІВ ВІД ОКСИДНИХ  
ПЛЕН І ШЛАКОВИХ ВКЛЮЧЕНЬ**

*Загальні відомості*

Для виготовлення фасонних виливків використовують магнієві сплави трьох груп.

**Сплави першої групи.** Сплави системи магній – алюміній – цинк (МЛ3, МЛ4, МЛ5, МЛ 6) призначені для виробництва високовуглецевих виливків, що працюють в атмосфері з великою вологістю. Для підвищення корозійної стійкості сплави вводять 0,1- 0,5; марганцю, а зниження окислюваності 0,001 – 0,002 % берилію чи 0,5- 0,1 % кальцію. Сплави цієї групи відносять до високоміцних. Основним зміцнювачем у яких є алюміній, розчинність якого у магнії при евтектичної температурі становить 17,4 %, а за нормальної температури 2,8 %. Цинк також зміцнює магній, але менш ефективний, ніж алюміній.

**Сплави другої групи.** Сплави системи магній – цинк – цирконій (МЛ 8, МЛ12) також відносять до високоміцних. Вони відрізняються від інших груп магнієвих сплавів підвищеними механічними властивостями та гарною оброблюваністю різанням. Легування їх лантаном покращує ливарні властивості, дещо підвищує жароміцність та зварюваність, але знижує міцність та пластичність за нормальної температури. Ці сплави мають задовільні ливарні властивості, мають подрібнену цирконієм зерно, здатні зміцнюватися при термічній обробці, з них можна отримувати виливки з однорідними властивостями в різних по товщині перерізах.

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

**Сплави третьої групи.** Сплави системи магній - рідкоземельний елемент - цирконій (МЛ10, МЛ11, МЛ19) мають високу жароміцність і хорошу корозійну стійкість. Вони призначені для тривалої роботи при 250 – 350 °С та короткочасної роботи при 400 °С. Ці сплави мають хороші ливарні властивості, високу герметичність, високу герметичність, малу схильність до утворення мікропушків і усадкових тріщин, високі та однорідні механічні властивості в перерізах різної товщини. перерізах різної товщини. Сплави з рідкісноземельними елементами застосовують для виготовлення виливків, що працюють під впливом статичних та втомних навантажень.

Для виготовлення виливків найчастіше використовують сплави першої групи. З них кращими ливарними властивостями володіють сплави МЛ5 та МЛ6.

З них виготовляють високонавантажені виливки, що працюють у важких атмосферних умовах (висока вологість).

Плавка магнієвих сплавів пов'язана з низкою труднощів. Сплави легко окислюються та поглинають багато водню. На поверхні розплаву утворюється пухка плівка оксиду, що не оберігає його від окислення та загоряння. Окислення уповільнюється в атмосфері сірчистого та вуглекислого газів. При веденні плавки магній та його сплави взаємодіють з азотом, утворюючи нітриди та інтенсивно поглинають водень. Оксиди та нітриди розчиняються в металі і є причиною погіршення механічних властивостей виливків. Вміст водню в магнієвих сплавах (МЛ4, МЛ5, МЛ6) досягає  $34 \text{ см}^3$  на 100 г металу.

Легування магнію церієм, лантаном, неодимом, літієм або ітрієм посилює окиснення. Різке зниження окислюваності досягається введенням у розплав 0,002 – 0,00 % берилію. При вищому вмісті берилію в сплавах другої групи спостерігається зростання зерна та зниження технологічних властивостей.

Для захисту від окислення при плавці застосовують флюси, що складаються з хлористих і фтористих солей лужних і лужноземельних металів. Основою більшої частини флюсів є кріаліт ( $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{KCl}$ ). Хлористий барій вводять у флюс як обтяжувача, що сприяє кращому відділенню флюсу від сплаву. Фтористий кальцій підвищує в'язкість і збільшує здатність до рафінування флюсу. Оксид магнію додають як загусник, що забезпечує утворення скоринки при перегріві.

На вітчизняних заводах широко застосовують флюси ВІ2 та ВІ3 (табл. 6). Вони мають хороші захисні і рафінуючі властивості при плавці більшості магнієвих сплавів. Флюс, що складається з хлористого та фтористого літію, використовують при виплавці магнієвих сплавів. При плавленні сплавів з рідкісноземельними металами та ітрієм використовують флюси, що не містять хлористого магнію так як в результаті обмінних реакцій  $3\text{MgCl}_2 + 2\text{Ce} \rightarrow 2\text{CeCl}_3 + 3\text{Mg}$  і  $3\text{MgCl}_2 + 2\text{Y} \rightarrow 2\text{YCl}_3 + 3\text{Mg}$  мають місце значні втрати рідкісноземельних елементів та ітрію.

В даний час розроблена технологія безфлюсової плавки. Захист розплавів від інтенсивного окислення при цьому здійснюється введенням у пічну атмосферу 0,1% шестифтористої сірки ( $\text{SF}_6$ ).

Магнієві сплави плавлять у тигельних, відбивних та індукційних печах промислової частоти, футерованих магнезитом. Широко використовують сталеві тиглі. Залежно від масштабу виробництва та маси виливків застосовують три способи плавки магнієвих сплавів у стандартних та виїмних тиглях, дуплекс-процес (відбивна піч та тигель або індукційна піч та тигель). Плавку в



стаціонарних тиглях використовують у масовому чи великосерійному виробництві дрібних виливків. Сталевий литий тигель нагрівають до  $500^{\circ}\text{C}$  і завантажують флюс ВИ2 до 10% маси шихти. Флюс розплавляють, а потім невеликими порціями завантажують підігріті до  $150^{\circ}\text{C}$  шихтові матеріали. Після розплавлення шихти розплав нагрівають до  $700 - 720^{\circ}\text{C}$  і проводять рафінування та модифікування. Після 10 – 15-хвилинної витримки розплаву відбирають проби на злам, хімічний та спектральний аналізи, а потім метал ручними ковшами розливають за формами. Залишок металу (20 – 30 % об'єму розплаву в тиглі), забруднений оксидами та флюсом, зливають після кожної плавки та використовують для приготування підготовчих сплавів. Під час переплаву метал рафінують флюсом. При виготовленні великих виливків плавку ведуть у виїмних сталевих зварних тиглях з перегородкою і дуплекс-процесом. При цьому для рафінування розплаву використовують флюс ВИ3. Після проведення всіх операцій рафінування та модифікування тигель вилучають із печі та транспортують до місця заливання.

При плавці магнієвих сплавів неприпустимий контакт металу, флюсів, плавильного інструменту та іншого обладнання з вологою, оскільки це може спричинити займання металу, викиди з печі або міксера та погіршення якості виливків. Обов'язковим є виконання інструкції з техніки безпеки.

Інтенсивна взаємодія магнієвих розплавів з пічними газами, футеруванням і вологою супроводжується збагачення їх оксидами і воднем, тому їх завжди рафінують.

Найпростіший спосіб відокремлення неметалевих включень - відстоювання. ефективним способом очищення є обробка розплаву флюсами. В основі цього способу лежить процес адсорбції. включень рідкими солями. Ефективність очищення визначається величиною поверхні контакту металу з флюсом і зростає в міру погіршення змочуваності включень металом серед флюсу і зменшення міжфазного натягу на межі метал - флюс.

При плавленні зі стаціонарному тиглі для рафінування використовують флюс ВИ2; при плавці у виїмному тиглі – легший флюс ВИ3. Перед рафінуванням нагрівають розплав до  $700^{\circ}\text{C}$ , видаляють покривний флюс і вводять в сплав 0,002% берилію або 0,5% кальцію для запобігання загоряння. Рафінування здійснюють засипкою на поверхню розплаву порції флюсу (~1 % маси розплаву), розплавленням та замішуванням його в розплав на 2/3 висоти тигля протягом 5 – 6 хв. Після цього викачують використаний флюс і наносять свіжий. Хлористий магній, що входить до складу флюсу, змочує неметалеві включення, збільшує їх розміри та сприяє їхньому осадженню або спливанню.

Більше повне видалення оксидних полон може бути досягнуто пропусканням розплаву через рідкі флюси (див. табл. 6). Найбільш високого рівня

очищення від неметалевих включень досягають фільтруванням магнієвих розплавів через зернисті фільтри магнезиту. Досвід тривалого використання магнезитових фільтрів показав, що фільтрування дозволяє майже повністю ліквідувати шлюб виливків по оксидних плів і флюсових включень. Ефективність очищення зростає в міру зменшення розміру зерен фільтра та збільшення товщини шару, що фільтрує. Технологію фільтрування та розташування фільтрів при литті магнієвих сплавів приймають такими ж, як і при литті алюмінієвих сплавів.

Якість рафінування оцінюють відношенням площі зламу технологічного зразка  $F_{\text{Т,ВК}}$ , зайнятої неметалевими (темними) включеннями, до загальної площі зламу  $F_z$ , тобто коефіцієнтом ураженості зламу.

$$K_z = F_{\text{Т,ВК}}/F_z$$

### **Обладнання, інструмент та матеріали**

Піч СШОЛ для плавлення сплавів, тиглі сталеві зварні місткістю 1 дм<sup>3</sup>, хромель-алюмелевий термопара, гальванометр, технічні ваги, виливниця для відливання зразків на злам, набір плавильно-ливарного інструменту, шихтові матеріали для виготовлення магнієвих сплавів, флюси (див. табл. 6), порошок сірки, сухий кварцовий пісок, дроблений магнезит, спецодяг, рукавиці, захисні окуляри.

### **Порядок проведення роботи**

Робота розрахована на 4 год.

1. Розрахувати шихту для приготування 1 кг одного із сплавів, наведених у табл. 7. Марку сплаву, види та кількість використовуваних у шихті відходів зазначає викладач. Підготувати шихтові матеріали відповідно до розрахунку.
2. Зважити флюс ВІ2 із розрахунку 10 % та флюс ВІ3 (або інший, вказаний викладачем) із розрахунку 3 % маси шихти. Застосування вологого флюсу не допускається. Підготувати фільтр заданої зернистості із магнезиту.
3. Прожарити сталеві тиглі для плавки та фільтрування при температурі 700°C. Подрібнений магнезит нагріти до 600°C.
4. У нагрітий тигель насипати половину навішування флюсу ВІ2 і завантажити в нього шихту, крім цинку, злегка присипавши флюсом. Розплавити вміст тигля і при 680°C завантажити цинк і залишок флюсу.

5. Нагріти розплав до 720<sup>0</sup>С. Спостерігати стан металу при нагріванні і присипати флюсом окремі вогнища займання.
6. Нагріти виливницю до 150<sup>0</sup>С.
7. При температурі розплаву 720<sup>0</sup>С носок тигля очистити від флюсу на поверхні розплаву і обережно без струсів нахилити тигель якомога ближче до виливниці та повільного, спокійно струменем залити метал у підігріту виливницю. Під час заливання струмів металу слід припилювати порошком сірки.
8. Встановити ступінь ураженості зламу проби неметалевими включеннями.
9. Розплав, що залишився в тиглі, нагріти до 720<sup>0</sup>С
10. У нагрітий сталевий тигель для рафінування на висоту 50-60 мм засипати нагрітий до 600<sup>0</sup>С подрібнений магнезит. Встановити тигель із фільтром у нагрітий сталевий прожарений тигель.

Таблиця 7

#### Хімічний склад магнієвих сплавів

| Сплав | Масова частка елемента, %<br>(решта Mg) |                |          |
|-------|-----------------------------------------|----------------|----------|
| Марка | Al                                      | Zn             | Mn       |
| МЛ4   | 5,0-7,0                                 | 2,0-3,0        | 0,15-0,5 |
| МЛ5   | 7,5-9,0                                 | 0,2-0,3        | 0,15-0,5 |
| МЛ6   | 9,0-12,0                                | 0,6-1,20,1-0,5 |          |
| МА3   | 5,5-7,0                                 | 0,5-1,5        | 0,15-0,5 |
| МА5   | 7,8-9,2                                 | 0,2-0,8        | 0,1-0,5  |

11. Профільтрувати порцію розплаву. Для цього пробити кірку флюсу на поверхні розплаву і без струсів нахилити тигель якомога ближче до тигля з фільтром і відлити порцію металу, достатню для заливки проби на злам.
12. З профільтрованого розплаву відлити пробу на злам нагріту виливницю.

13. Залишок непрофільтрованого розплаву помістити в піч та нагріти до 720°C. Вимкнути піч, зняти використаний флюс та здійснити рафінування флюсом. Склад флюсу вибрати у табл.6 за вказівкою викладача. Флюс замішати в метал протягом 5 - 6 хв на глибину 2/3 висоти розплаву в тиглі. Під час перемішування періодично підсипати свіжий флюс. Рафінування вважається закінченим, коли поверхня розплаву набуває дзеркального (блискучого) вигляду.

14. Нагріти розплав до 760°C і витримати за цієї температури протягом 8-10 хв, зняти шлак, посипати поверхню свіжим флюсом і за нормальної температури 720°C залити пробу на злам.

15 Оцінити ефективність рафінування при зіставленні зламів проб, визначити  $k_{\text{п}}$ . Рафінування вважається успішним, коли проба має чистий дрібний злам, без неметалевих включень (чорних плям).

На випадок займання металу в тиглі чи формі необхідно мати запас сухого меленого флюсу та піску.

### Результати спостережень та обробка

Внести результати визначення  $k_{\text{п}}$  таблицю.

Побудувати графічні залежності  $k_{\text{п}}$  від розміру зерна та висоти шару фільтра, використовуючи дані інших бригад студентів.

| Умови рафінування |                    |                          |                    | Результати рафінування       |                                    |                |
|-------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------------|----------------|
| Флюс              | Кількість флюсу, % | Розмір зерна фільтра, мм | Висота фільтра, мм | Площа зламу, см <sup>2</sup> | Площа чорних плям, см <sup>2</sup> | $k_{\text{п}}$ |
| Без рафінування   | -                  | -                        | -                  |                              |                                    |                |
| ВИЗ               | 3                  | -                        | -                  |                              |                                    |                |
| -                 | -                  | 10                       | 50                 |                              |                                    |                |
| -                 | -                  | 10                       | 100                |                              |                                    |                |
| -                 | -                  | 6                        | 500                |                              |                                    |                |
| -                 | -                  | 6                        | 100                |                              |                                    |                |

### Зміст звіту

1. Загальні відомості щодо технології рафінування магнієвих сплавів.
2. Заходи з техніки безпеки під час плавлення магнієвих сплавів.

3. Розрахунок шихти на 1 кг металу.
4. Умови проведення плавки та рафінування заданого сплаву.
5. Методика дослідження якості металу.
6. Графічна залежність коефіцієнта ураженості зламу від розміру зерна та висоти шару фільтра.
7. Висновки.

### **Контрольні питання**

1. Які групи магнієвих сплавів застосовують виготовлення фасонних сплавів?
2. Як взаємодіє магній та його сплави з газами пічної атмосфери?
3. Які флюси використовують для захисту магнієвих розплавів від окиснення та горіння?
4. Чому для плавки магнієвих сплавів з рідкісноземельними елементами використовують флюси, що не містять хлористого магнію?
5. Як забезпечується захист від окиснення при безфлюсовій плавці магнієвих сплавів?
6. У якому вигляді та в якій послідовності здійснюють завантаження шихтових матеріалів при виплавці магнієвих сплавів?
7. Якими способами здійснюють рафінування магнієвих розплавів від неметалевих включень?
8. Який із методів очищення найбільш ефективний?
9. Які флюси використовують для рафінування магнієвих сплавів?
10. Які матеріали використовують для виготовлення зернистих фільтрів?
11. Назвіть найкращий режим рафінування магнієвих розплавів флюсами.
12. Які параметри зернистих фільтрів забезпечують найкращі умови очискування магнієвих сплавів від оксидних полон?
13. У чому сутність очищення магнієвих розплавів зернистими фільтрами?
14. Які методи контролю використовують з оцінки змісту неметалевих включень у магнієвих сплавах?
15. Які методи використовують для дегазації магнієвих розплавів?

16. За яких температур здійснюють продування магнієвих розплавів азотом, гелієм, хлором або сумішшю гелію з хлоридам

**Склад покривних та рафінуючих флюсів для магнієвих сплавів.**

| Флюс                | Масова частка, %  |       |       |                   |                   |                  |                  |                          | Призначення                                         |
|---------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|
|                     | MgCl <sub>2</sub> | KCl   | NaCl  | CaCl <sub>2</sub> | BaCl <sub>2</sub> | CaF <sub>2</sub> | AlF <sub>3</sub> | Інші                     |                                                     |
| ВИ2                 | 38-46             | 32-40 | -     | 10                | 5-8               | 3-5              | -                | $;\leq 1.5MgO;\leq H_2O$ | Покровно-рафінуючий для плавки в стаціонарних печах |
| ВИ3                 | 30-40             | 25-35 | -     | 7                 | -                 | 15-20            | -                | $7-10MgO;\leq 3H_2O$     | Покровно-рафінуючий для плавки у виїмних тиглях     |
| 2H <sub>2</sub> № 1 | -                 | -     | -     | -                 | -                 | -                | -                | 20LiF; 80 LiCl           | Покровний для сплавів, що містять літій             |
| № 2                 | -                 | -     | 14-21 | 47-51             | 26-29             | 2-5              | -                | $\leq 2H_2O$             | Покровний для сплавів з рідкісноземельними металами |
| № 3                 | -                 | 22-26 | 17-20 | 35-39             | 19-23             | 2-5-             | -                | $\leq 2H_2O$             | Те саме                                             |
| ВАМИ 1              | -                 | -     | -     | -                 | -                 | 3,5              | 23,5             | $40B_2O_3;;38Na_3AlF_6$  | Рафінуючий                                          |
| ВАМИ 5              | -                 | -     | -     | -                 | -                 | 17,5             | 15,0             | $17 MgF_2; 50B_2O_3$     | «                                                   |
| Ф 15                | 25-42             | 20-36 | -     | -                 | 4 - 8             | 0,5 - 10         | 3 14             | $3-11 MgF_2;1,8 B_2O_3$  | Покровно-рафінуючий                                 |
| ФЛ 1                | -                 | -     | -     | -                 | -                 | 13               | 40               | $32MgF_2;; 15 B_2O_3$    | «                                                   |

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ.....                                                                                                                                      | 3  |
| 1. Лабораторна робота 1. РОЗКИСЛЕННЯ МІДІ.....                                                                                                  | 4  |
| 2. Лабораторна робота 2. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНОМАНІТНИХ СПОСОБІВ<br>РАФІНУВАННЯ МІДНИХ СПЛАВІВ ВІД НЕМЕТАЛЕВИХ<br>ВКЛЮЧЕНЬ.....              | 12 |
| 3. Лабораторна робота 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КРЕЙДИ І<br>ГЕКСАХЛОРЕТАНУ ПРИ МОДИФІКУВАННІ СПЛАВІВ СИСТЕМИ МАГНІЙ-<br>АЛЮМІНІЙ-ЦИНК.....    | 17 |
| 4. Лабораторна робота 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ МЕТОДІВ<br>РАФІНУВАННЯ МАГНІЄВИХ СПЛАВІВ ВІД ОКСИДНИХ ПЛЕН І ШЛАКОВИХ<br>ВКЛЮЧЕНЬ..... | 23 |
| Список літератури.....                                                                                                                          | 33 |



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: Навч. посібник / А.М. Верховлюк, А.В. Нарівський, В.Г. Могилатенко / За ред. академіка НАН України В.Л. Найдека. – К.: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. – 224 с.
2. Чернега Д.Ф., Богушевський В.С., Готвянський Ю.Я., Грищенко С.Г., Шифрін В.М., Шурхал В.Я. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник. – К.: Вища школа, 2006. – 503 с.
3. Пеліх В.Ф. Фізико–хімічні основи ливарного виробництва: Навч. Посібник / В.Ф. Пеліх – К.: ІСДО, 1996. –156 с.
4. Сабірзянов Т.Г. Теплотехніка ливарних процесів [Текст] : навчальний посібник / Т.Г. Сабірзянов , В.М. Кропівний. – Кіровоград : КРТУ, 2005. – 402с.
5. Улітенко О.М. Теорія та розрахунки високотемпературних теплофізичних процесів / О.М. Улітенко, С.Б. Бєліков, В.В. Лунів. - Запоріжжя: Вид-во ВАТ Мотор Січ, 2003. –606 с.

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт  
з навчальної дисципліни «Ресурсозберігаючі технології та плавка сплавів зі  
спеціальними властивостями»  
для студентів денної та заочної форми навчання  
за спеціальністю G9 Прикладна механіка та G10 Металургія  
Українською мовою

Укладачі:

ПОНОМАРЕНКО Ольга Іванівна  
МАСАЛІТІНА Олена Володимирівна  
ПЕТРОВА Юлія Володимирівна

Відповідальний за випуск

проф. Акімов О.В

Роботу до видання рекомендував

проф. Дьомін Д. О.

В авторській редакції

План 2025 р., поз. 280

---

Підп. до друку 2024 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