

**Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет**

Ломакін В.М., Кропівний В.М.

ПРАКТИКУМ

ПЛАВКА
ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ

Навчально-методичний посібник

Кропивницький
2023

*Рекомендовано до друку рішенням Вченої Ради
Центральноукраїнського національного технічного
університету (протокол № 10 від 26 червня 2023 року)*

Рецензент: Гнилокурченко Святослав Віталійович, кандидат технічних наук,
зав. відділом трансферу технологій та патентування Фізико-
технологічного інституту металів і сплавів НАН України

Укладачі:

Ломакін В.М. – к.т.н., доц. кафедри матеріалознавства та ливарного
виробництва ЦНТУ

Кропівний В.М. – к.т.н., проф. кафедри матеріалознавства та ливарного
виробництва ЦНТУ

Ломакін В.М., Кропівний В.М.

Практикум “Плавка ливарних сплавів”: Навчально-методичний посібник/
В.М. Ломакін, В.М. Кропівний; Центральноукраїнський національний технічний
університет. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 54 с.

Навчально-методичний посібник містить основні відомості про сучасні
технології плавки чорних та кольорових сплавів в машинобудуванні.

УДК 621.74

© Центральноукраїнський національний
технічний університет, 2023

© Плавка ливарних сплавів, 2023

© В.М. Ломакін, В.М. Кропівний, 2023

ЗМІСТ

	стор.
Передмова	4
Вказівки до виконання робіт	4
Рекомендації до оформлення звіту	4
Робота № 1. Плавка чавуну в електричній індукційній печі	5
Робота № 2. Плавка сталі в дуговій печі з кислою футеровкою	11
Робота № 3. Плавка сталі в дуговій печі з основною футеровкою	18
Робота № 4. Плавка сталі в електричній індукційній печі	24
Робота № 5. Плавка алюмінієвих сплавів	29
Робота № 6. Плавка і модифікування магнієвих сплавів	40
Робота № 7. Плавка сплавів на основі міді	47
Список рекомендованої літератури	53

ПЕРЕДМОВА

Плавка ливарних сплавів є невідомою складовою заготівельної бази машинобудування в Україні – виробництва литих виробів. Роботи практикуму виконуються в лабораторних і виробничих умовах ливарного цеху та сприяють завсвоєнню теоретичних знань і практичних навичок при плавці чорних і кольорових сплавів для потреб машинобудування.

Важливим в практикумі є розподіл робіт по роду металу і по типам плавильних агрегатів. При цьому вивчаються як загальні підходи, зокрема, температурні режими ведення плавки, склад влосів і шлаку, легування і модифікування сплавів, черговість операцій, так і специфічні особливості, притаманні конкретному ливарному сплаву, такі як розкислення сплавів на основі міді та інш. Загалом, роботи практикуму стосуються плавки всіх основних чорних і кольорових ливарних сплавів, що виплавляються на виробництві.

Вказівки до виконання робіт

1. Студенти мають бути підготовлені до виконання роботи. Теоретична підготовка перевіряється усно і за допомогою тестів.
2. Перед початком виконання робіт слід отримати інструктаж з правил техніки безпеки і неухильно їх виконувати.
3. Не працювати на приладах, якщо не опанували досконально принцип їх роботи.

Рекомендації до оформлення звіту

1. Звіт з кожної роботи оформлюється в зошиті у відповідності з установленою схемою: назва і мета роботи, практичні дані, висновки. Теоретичні відомості наводити коротко.
2. Оформлений звіт в кінці кожної роботи подається викладачеві на перевірку.

Робота №1

ПЛАВКА ЧАВУНУ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ІНДУКЦІЙНІЙ ПЕЧІ (4 години)

Мета роботи – вивчити технологічний процес плавки чавуну в електричній індукційній печі; засвоїти його переваги і недоліки порівняно з іншими процесами плавки чавуну.

Матеріали та обладнання: лабораторна індукційна плавильна піч (наприклад, ІСТ 0,16); інструмент для обслуговування печі; шихтові матеріали для отримання заданої марки чавуну; необхідний спецодяг; форми проб діаметром 30 і довжиною 340 мм для визначення механічних властивостей чавуну. Форми проб для визначення відбілювання чавуну; інструкція з техніки безпеки.

Загальні відомості

Для плавки чавуну застосовують тигельні печі типів ІСТ (підвищеної частоти) та ІЧТ (промислової частоти), каналні індукційні печі, а також печі неперервної дії [1].

Тигельні печі використовують як самостійні плавильні агрегати, так і як міксери для доводки чавуну за хімічним складом і температурою, а також для накопичення рідкого чавуну, який виплавлено в інших плавильних печах.

Канальні печі використовують, в основному, як міксери. В печах неперервної дії суміщаються операції плавлення шихти і доводки рідкого чавуну за хімічним складом і температурою.

Індукційні тигельні печі (рис. 1.1) випускають місткістю від 1 до 10 т. Індукційні печі забезпечують широкий вибір складу шихти, високу екологічну чистоту під час роботи, широкі можливості вибору технологічного процесу плавки, можливість без ускладнень переходити від виробництва однієї марки чавуну до іншої. Загальний ККД індукційних тигельних печей становить 70-80%, каналних – 90-95%, при тому, що у застарілих вагранках під час нагрівання та плавлення ККД дорівнював 45%, а в разі перегрівання чавуну знижувався до 5%.

Головним недоліком індукційних печей є те, що шлак в них нагрівається тільки від металу і його температура недостатня для активної металургійної обробки розплаву. Недоліком є низька швидкість плавлення твердої шихти, що знижує продуктивність і збільшує витрати електроенергії. У зв'язку з цим застосовують плавку з "болотом", коли після закінчення плавки виливають не більше половини металу. Тверду шихту у підігрітому вигляді завантажують у залишений у тиглі рідкий чавун і продовжують плавку [2].

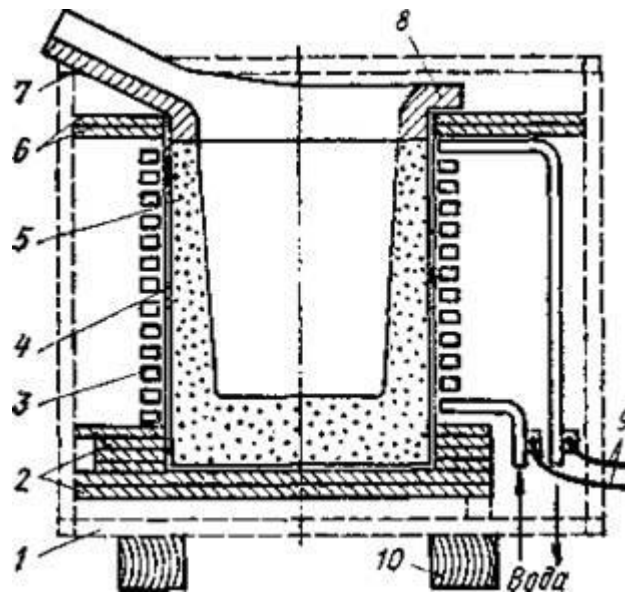


Рис 1.1. Індукційна тигельна піч

1 - корпус; 2 - тримач; 3 - індуктор; 4 - тигель; 5 - набивка; 6 - плита; 7 - носик;
8 - футеровка; 9 - електропроводи; 10 - фундамент

При виготовленні тиглів найпоширенішою є кисла футеровка із молотих кварцитів або кварцового піску з кількістю кремнезему не менше 97% і добавкою 1-1,5% борної кислоти. Зерновий склад маси для набивання тиглю повинен мати 40-45% фракції 2,5-0,63 мм, 10-20% — 0,63-0,1 мм, останнє — менше 0,1 мм. Застосовують і нейтральну футеровку, наприклад, із 35-40% електроплавленого корунду, 60-65% дистенсиліманіту і 1-1,5% борної кислоти. Набивку футеровки

виконують по металевому шаблону, який має форму внутрішньої поверхні тиглю. Шаблон розплавляється разом з твердою чи рідкою садкою.

Технологічний процес плавки чавуну в індукційній печі складається із завантаження шихти, її нагрівання, плавлення, перегрівання, підвищення, за необхідності, вмісту вуглецю, кремнію, марганцю і випуск.

Завантаження шихти виконується у такій послідовності: спочатку сталевий брухт і карбюризатори, після їх розплавлення додають чавунний брухт і відходи виробництва, феросплави уводять в останню чергу.

Під час нагрівання і плавлення шихти протікають процеси окислення заліза, кремнію, марганцю. Продукти окислення утворюють шлак. У рідкому чавуні окислення кремнію, марганцю і вуглецю продовжується оксидом заліза.

Під час плавки чавуну в індукційних печах для відновлення заліза із оксиду FeO краще використовувати карбюризатор і економити феросплави. Плавку при цьому ведуть з низьким вмістом кремнію і марганцю, та з високим вмістом вуглецю. При уведенні карбюризатора у завалку, а феросплавів – під кінець плавки угар кремнію і марганцю знижується і становить, відповідно, 5-7% та 18-24%.

Хімічний склад чавуну під час плавки можна скоригувати за табл. 1.1.

Шлак індукційної плавки має велику в'язкість, що пов'язано з вмістом кремнезему (до 60-70%) і низькою температурою. Кислотність шлаку зростає по ходу плавки. На початку плавки вона становить 0,9-1,1, а під кінець 6-8, що є результатом збільшення вмісту кремнезему з 40 до 70%. Вміст оксиду заліза зменшується з 40 до 10%. Вміст інших компонентів змінюється мало (2-3% CaO ; 0,5-2,5% MnO ; 7-14% Al_2O_3).

На заключному етапі плавки чавун перегрівають до 1460...1550 °C і витримують до 5 хв для чавуну марки СЧ18 і до 20 хв для – СЧ20. При витримуванні за підвищеної температури розплав добре перемішується, покращується його однорідність і зменшується шкідливий вплив спадковості шихтових матеріалів [3, 4, 5].

Таблиця 1.1 – Рекомендації щодо коригування хімічного складу чавуну при плавці в індукційних печах

Необхідні зміни хімічного складу	Компонент	Кількість компонента на 1 т рідкого металу, кг
Збільшення на 0,1%:		
вуглецю	Графіт	1,45
кремнію	Феросіліцій ФС45	1,35
	Феросіліцій ФС75	1,25
марганцю	Феромарганець ФМн78	1,30
хрому	Ферохром ФХ65	1,55
Зменшення на 0,1%:		
вуглецю	Сталеві відходи	30
	Феросіліцій ФС45	1,4
кремнію	Сталеві відходи	50
	Графіт	1,6

Після закінчення плавки виконують експрес-аналіз на вміст вуглецю, кремнію, а через декілька плавок і марганцю. Якщо склад чавуну відповідає заданому, метал заливають у форми.

Зміст роботи

Вивчити теоретичні відомості про плавку чавуну в індукційних печах. Ознайомитися з конструкцією електричної індукційної печі і технологічним процесом плавки в ній. Провести плавку і підготувати звіт.

Порядок виконання роботи

Робота виконується в діючому ливарному цеху.

1. Ознайомитися з будовою електричної індукційної печі і технологічним процесом плавки в ній.
2. Підготувати шихту для отримання заданої марки чавуну.
3. Вивчити інструкцію з техніки безпеки.
4. Завантажити шихту у піч і розплавити її.
5. Залити пробу для визначення хімічного складу чавуну.
6. Записати хронометраж плавки (табл. 1.2).
7. Залити проби діаметром 30 і довжиною 340 мм для визначення механічних властивостей чавуну (не менше 3 шт.).
8. Залити проби для визначення відбілювання чавуну – 3 шт.
9. Визначити величину відбілювання у чавуні, границю міцності при розтягуванні і твердість за Брінелем металу проби.
10. Зробити висновки і підготувати звіт.

Таблиця 1.2 – Хронометраж плавки

Технологічні операції	Тривалість, хв	Параметри плавки				
		I, А	U, В	cos φ	W, кВт	T, С
1	2	3	4	5	6	7
Завантаження шихти і включення печі						
Плавлення шихти						
Нагрівання розплаву						
Випуск чавуну						
Загальна тривалість плавки						
Витрата електроенергії на плавку, кВт·год						
Питома витрата електроенергії, кВт·год/кг						

Запитання для самоконтролю

1. Технологічні особливості плавки чавуну в електричній індукційній печі.
2. Із яких матеріалів складається футеровка тиглю індукційної печі і як вона виготовляється?
3. Порядок завантаження шихти.
4. Основні заходи, якщо у металі після розплавлення шихти недостатньо вуглецю, кремнію чи марганцю.
5. Основні заходи, якщо у чавуні після розплавлення шихти є надлишок вуглецю, кремнію чи марганцю.
6. Який склад шлаку при індукційній плавці чавуну і яка його роль у процесі плавки?
7. Правила техніки безпеки під час роботи на електричних індукційних печах.

Робота №2

ПЛАВКА СТАЛІ В ДУГОВІЙ ПЕЧІ З КИСЛОЮ ФУТЕРОВКОЮ (4 години)

Мета роботи – вивчити технологічний процес плавки сталі в електричній дуговій печі з кислою футеровкою; засвоїти його переваги і недоліки порівняно з іншими процесами плавки сталі.

Матеріали та обладнання: плавильна піч типу ДСП з кислою футеровкою; необхідні шихтові матеріали, феросплави, матеріали для утворення шлаку; інструмент для обслуговування печі; спецодяг для плавильників і заливальників; інструкція з техніки безпеки.

Загальні відомості

Електричні дугові печі з кислою футеровкою місткістю 3-5 т (рис. 2.1) – це основні плавильні агрегати для виробництва фасонного сталевого литва. Порівняно з основними печами вони мають ряд переваг. За однакової номінальної місткості печі і потужності трансформаторів продуктивність печей з кислою футеровкою значно вища продуктивності основних печей, а експлуатаційні витрати значно менші внаслідок більш високої стійкості футеровки, менших витрат електродів і електроенергії, суттєвого зменшення трудомісткості технологічних операцій (табл. 2.1) [1, 2, 6].

Для плавки кислим процесом піч футерується динасовою цеглою, подина печі набивається кварцовим піском. Кислі вогнетриви значно дешевші від основних і мають вищу стійкість, особливо в умовах періодичної роботи ливарного цеху з одним, або з двома циклами роботи за добу і зупинками на вихідні та святкові дні. Вартість кислих вогнетривів на 1 т сталі приблизно у 2,5 рази менша, ніж основних.

Глибина ванни у кислих печах більша, ніж у основних, що дає змогу працювати з більшим перевантаженням без шкоди для стійкості футеровки.

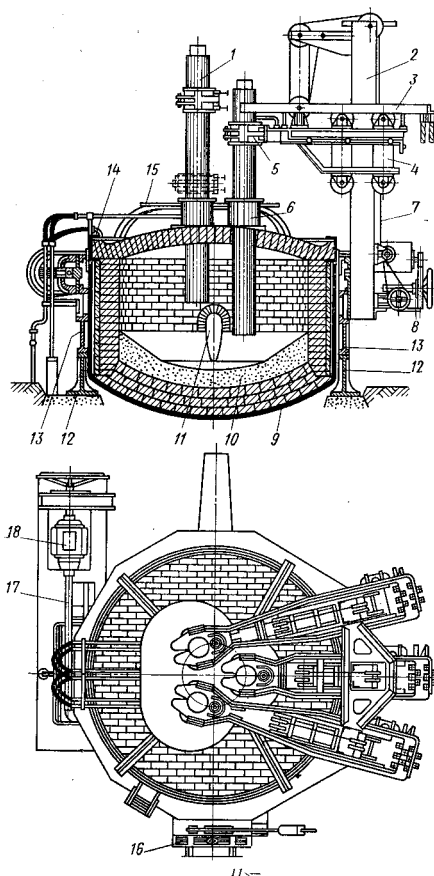


Рис. 2.1. Дугова електрична піч

- 1 - електрод; 2 - стійка; 3 - шини; 4 – каретка;
 5 – електричний тримач; 6 - холодильник; 7 – сталевий трос;
 8 – механізм переміщення електрода; 9 – сталевий кожух;
 10 – набивна футеровка; 11 – випускний отвір; 12 – опора сектору;
 13 – сектор для нахилу печі; 14 – каркас склепіння;
 15 – майданчик для обслуговування;
 16 – завантажувальне вікно; 17 – шпindelь механізму підйому печі;
 18 – електродвигун

Таблиця 2.1 – Техніко-економічні показники дугових електропечей ДС-5МТ з кислою і основною футеровкою (сталі 35-45Л, 40ХЛ та ін.)

Показники	Футеровка	
	кисла	основна
Стійкість футеровки (плавки)	230	110
Маса плавки, т	7,1	6,3
Тривалість плавки, хв	140	185
Продуктивність т/год	3,1	2,1
Витрата електроенергії, кВт год/т	586	670
Витрата електродів, кг/т	6,2	7,4
Собівартість 1 т рідкої сталі (співвідношенн)	1	8,5

Плавку з кислою футеровкою проводять з одним шлаком, що скорочує її тривалість і зменшує трудомісткість. Для того щоб отримати сталь необхідного складу і температури, операції окислення і доводки проводять швидко, що підвищує продуктивність печі в 1,3-1,5 рази за одночасного зменшення питомих витрат електроенергії і електродів.

Кислі силікатні шлаки мають меншу електропровідність порівняно з вапняковими основними, тому більша частина потужності дуги виділяється безпосередньо на поверхні металу, передаючи йому теплоту. У зв'язку з цим кислі шлаки мають нижчу температуру, ніж основні, менше відбивають енергію дуг на стіни і склепіння печі, що зменшує їх зношення.

Усе викладене дозволяє отримати вищі техніко-економічні показники кислого процесу плавки. Це сприяє ширшому застосуванню дугових електропечей з кислою футеровкою.

Недоліком печей з кислою футеровкою є те, що такі шкідливі для сталі домішки, як сірка і фосфор, у процесі плавки практично не видаляються. Тому треба вибирати склад шихти з низьким вмістом сірки і фосфору. Така шихта зазвичай складається із 40-60% сталевих брухту і ~50% відходів виробництва (ливники, скрап, браковані виливки). В шихту з низьким вмістом вуглецю додають 10-15% чушкового чавуну.

Для утворення шлаку використовують сухий формувальний пісок, вапно (або вапняк) і у малій кількості залізну руду. Оксиди заліза і марганцю, які утворюються під час плавлення шихти, вступають у взаємодію з кремнеземом футеровки і утворюють насичені кремнеземом залізомарганцеві силікати. Кремнезем заноситься також формувальною сумішшю, яка є на виливках і піском. Для розрідження шлаку та зменшення в ньому кількості важких оксидів уводять вапно. Кінцевий шлак має такий склад, %: SiO_2 – 50, CaO – 10, FeO – 10, MnO – 15, Al_2O_3 – 5.

Плавку в кислій дуговій електропечі проводять під одним шлаком, найчастіше методом переплаву і рідше з окисленням домішок. Основні періоди плавки такі:

- 1) заправка печі після випуску попередньої плавки (5-10 хв);
- 2) завантаження шихти (5-10 хв);
- 3) розплавлення (70-120 хв залежно від потужності пічного трансформатора);
- 4) короткий окислювальний період (10-15 хв) під час плавлення з окисленням домішок;
- 5) доводка за температурою і складом (20-40 хв);
- 6) розкислення і випуск металу (5-10 хв).

Середня тривалість плавки у п'ятитонній кислій дуговій печі становить від 130 до 180 хв.

У процесі плавки під дією високої температури і хімічної взаємодії розплавленого металу і шлаку, а також через механічні пошкодження футеровка, особливо подина і укуси, зношуються. Тому після кожної плавки виконують заправку печі (ремонт футеровки): із печі видаляють залишки металу і шлаку і на пошкоджені місця закидають сухий кварцевий пісок з рідким склом. В умовах високої температури в печі пісок добре зварюється з футеровкою.

Шихту в сучасні печі завантажують при викоченому корпусі або відведеному у бік склепінні спеціальною баддею з відкритим дном. Для прискорення розплавлення шихти на подину печі завантажують частину дрібної шихти, у центр під електроди – великі шматки, а ближче до укусів і на крупний брукт – шматки шихти середньої величини і залишок дрібної шихти.

Після закінчення заправки електроди опускають вниз і вмикають струм. Шихту розплавляють за максимальної потужності трансформатора, для чого первинні обмотки перемикають на “трикутник”, підвищуючи напругу до 220-260 В. Шихта під електродами розплавляється, рідкий метал стікає вниз, накопичуючись на подині. Електроди опускаються, прорізаючи у шихті порожнини діаметром на 30-40% більшим від діаметра електроду. Коли електроди наблизяться до рідкого металу на певну відстань, що дорівнюватиме довжині електричної дуги між електродом і рідким металом, опускання електродів

припиняється; потім вони піднімаються по мірі накопичення рідкої сталі. Таким чином, потрібна довжина дуги зберігається автоматично. Для прискорення плавлення залишки нерозплавленої шихти скидають із укосів під дуги. Для захисту сталі від окислення в печі утворюють шлак із піску і формувальної суміші.

Зазвичай, плавку у кислій дуговій печі виконують методом переплаву. Але за наявності легкої, забрудненої шихти здійснюють короткий окислювальний період, мета якого – видалення із сталі газів і шкідливих домішок. Для плавки з окисленням переїсдом шихту розраховують так, щоб після розплавлення сталі вміст вуглецю у ній був на 0,05-0,1% більше заданого.

Після розплавлення металу беруть пробу для хімічного аналізу, на шлак подають залізну руду і підігрівають сталь. З підвищенням температури починається реакція зневуглецювання і сталь закипає:



Коли вміст вуглецю досягне рівня дещо нижчого від заданого кипіння ванни зупиняють присадкою феромарганцю із розрахунку на середній вміст марганцю і розпочинають доводку сталі за хімічним складом і температурою. У цей період трансформатор перемикають з “трикутника” на “зірку” і зменшують вторинну напругу до 100-120 В.

Заключний період плавки визначає якість сталі. У цьому періоді виконується остаточне розкислення, яке формує природу і характер неметалевих включень у сталі. Сталь звичайного призначення розкислюють алюмінієм (1 кг на 1 т сталі). Алюміній вводять у вигляді чушок, закріплених на штанзі у піч під шлак або у ківш. При комплексному розкисленні алюміній вводять в піч, силікокальцій на струмінь металу, а фероцерій – у ківш.

Зміст роботи

Вивчити теоретичні відомості щодо плавки сталі в електричних дугових печах з кислою футеровкою і конструкцію печі. Виконати роботу і підготувати звіт.

Порядок виконання роботи

Робота виконується в діючому ливарному цеху.

1. Вивчити правила техніки безпеки під час роботи на дуговій електропечі в умовах ливарного цеху.
2. Ознайомитись із будовою електричної дугової печі.
3. Ознайомитися з шихтовими матеріалами для наведення шлаку.
4. Записати масу завалки, її масовий і хімічний склад.
5. Записати всі періоди плавки і провести їх хронометраж (табл. 2.2).
6. За даними хронометражу виконати аналіз технології плавки, показати недоліки і внести пропозиції для поліпшення технології плавки.

Таблиця 2.2 – Хронометраж плавки

Технологічні операції	Тривалість хв	Параметри плавки			Хімічний склад сталі, %				
		I, A	U, B	cos φ	C	Si	Mn	P	S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Завантаження шихти і включення печі									
Плавлення шихти									
Нагрівання розплаву (доводка за температурою і хімічним складом)									
Розкислення і випуск сталі									
Загальна тривалість плавки									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Витрата електроенергії на плавку, кВт·год									
Питома витрата електроенергії, кВт·год/кг									

Запитання для самоконтролю

1. Правила техніки безпеки.
2. Порядок завантажування шихти у дугову електричну піч.
3. Заправка печі і як вона виконується?
4. Переваги і недоліки плавки сталі в електричній дуговій печі з кислою футеровкою порівняно з основною.
5. Періоди плавки сталі і процеси, що протікають у кожному періоді.
6. Розкислювання сталі і яка його роль у формуванні якості сплаву?

Робота №3

ПЛАВКА СТАЛІ В ДУГОВІЙ ПЕЧІ З ОСНОВНОЮ ФУТЕРОВКОЮ (4 години)

Мета роботи – вивчити технологічний процес плавки легованої сталі в електричній дуговій печі з основною футеровкою; засвоїти його переваги і недоліки порівняно з іншими процесами плавки сталі.

Матеріали та обладнання: плавильна піч типу ДСП із основною футеровкою; необхідні шихтові матеріали, феросплави, матеріали для утворення шлаку; інструмент для обслуговування печі; інструкція з техніки безпеки.

Загальні відомості

У дугових печах (рис. 2.1) з основною футеровкою виплавляють високоякісні спеціальні сталі і сплави. Головна перевага основної футеровки – можливість проведення глибокої дефосфорації і десульфурації, а також дифузійного розкислення білим шлаком, який практично не містить заліза ($FeO < 0,5\%$).

Футеровку основних печей виконують із магнезитової і хромомagneзитової цегли, а подину набивають магнезитовим порошком з 10% кам'яновугільної смоли і 1% пеку. Для утворення шлаку застосовують свіжовипалине вапно, або вапняк, плавиковий шпат, шматки шамотної цегли, кварцит або пісок. Окислювальні шлаки утворюються присадками залізної руди або продувкою ванни киснем. Для відновлювальних шлаків використовують порошки коксу, молотого феросиліцію і алюмінію. В шлак частково переходить оксид магнію із подини і укосів. Кінцевий шлак повинен мати приблизно такий склад, %: 45-55 CaO , 15-25 SiO_2 , 8-12 MgO , 5-7 Al_2O_3 , 8-12 CaF_2 ; приблизно 1% FeO ; приблизно 1% MnO [4, 6, 8].

В основних печах сталь виплавляють двома способами: з повним окисленням домішок і методом переплавки.

Періоди плавки з окисленням домішок такі:

- 1) заправка печі після випуску попередньої плавки;
- 2) завантаження шихти;
- 3) плавлення шихти;
- 4) окислювальний період, під час якого виконується дефосфорація, кипіння, нагрівання розплаву і скочування окислювального шлаку;
- 5) відновлювальний період – розкислення металу і шлаку, десульфурція і доводка сталі за хімічним складом.
- 6) кінцеве розкислювання і випуск сталі.

Для прискорення плавки деякі етапи можна поєднувати, наприклад плавлення і дефосфорацію. Деякі етапи протікають одночасно, наприклад розкислення, десульфурція і доводка сталі за хімічним складом.

У процесі виробництва сталі методом переплавки відсутні окислювальний період і дефосфорація, а тому в шихті не повинно бути фосфору і вона має бути чистою від оксидів.

Метод окислення домішок. При цьому методі шихту складають з таким розрахунком, щоб після її розплавлення вміст вуглецю у сплаві був більше на 0,2-0,5% верхньої межі для заданої марки сталі. Для кращої дефосфорації, яку починають під час розплавлення, додають в завалку до 3% вапна (або вапняку) і 2% залізної руди. Перед розплавленням на шлак додатково вносять порції вапняку і залізної руди. За наявності окислювального шлаку з надлишком вапна протікає окислення фосфору оксидом заліза і зв'язування утвореного при цьому фосфорного ангідриду у міцні сполуки тетракальцієвого фосфору:



Це досить сильна екзотермічна реакція і тому вона найактивніше протікає в холодній ванні на поверхні контакту метал-шлак і до кінця розплавлення вміст P_2O_5 підвищується до 1,5%. При цьому в шлак із металу видаляється не менше

50% фосфору. Після повного розплавлення шихти шлак, насичений фосфором, видаляють, додають у піч вапно, залізну руду і виконують окислювальний період.

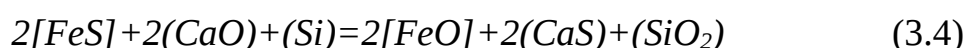
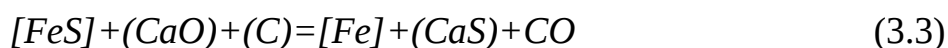
В процесі окислення ванни метлу продовжується дефосфорація, а хімічний склад і температура сталі наближаються до заданих. Прискорення окислювального процесу можна досягти введенням у розплав кисню через сталні футеровані трубки. Швидкість окислення підвищується до 1,5% за годину у порівнянні з 0,3-0,6% під час застосування залізної руди. З підвищенням температури сталь закипає:



Бульбашки оксиду вуглецю, проходячи через шлак, вспінюють його. Для подальшої дефосфорації металу в процесі кипіння потрібне безперервне оновлення шлаку шляхом його вільного стікання у шлаківню і періодичної присадки вапна і залізної руди. Вміст фосфору в кінці процесу окислення має бути не більше 0,02%.

Окислювальний період закінчують, коли сталь добре нагріта і вміст вуглецю відповідає потрібному.

Відновлювальний період плавки передбачає максимальну десульфуріацію сталі, доведення її за хімічним складом і температурою і кінцеве розкислення. Відновлювальний шлак наводять із вапна, плавикового шпату і битої шамотної цегли або піску у співвідношенні 5:1:1. Після розплавлення шлак обробляють (розкислюють) молотим феросіліцієм (75%). Кількість шлаку становить 3-5% від маси сталі. При зменшенні оксиду заліза у шлаку протікає активна дифузія кисню і сірки із металевої ванни в шлак. Процеси дифузійного розкислення і десульфуріації протікають одночасно за реакціями



Ці реакції необоротні, оскільки оксид вуглецю випаровується, а оксид кремнію в основному шлаку зв'язується у силікати кальцію.

Для прискорення відновлювального періоду дифузійне розкислення поєднують з осадковим. Для цього на початку відновлювального періоду у сталь додають алюміній чи інші сильні розкислювачі, які сприяють видаленню кисню із металевій ванни (до 80%), швидкому наведенню білого шлаку (не містить заліза) і тим самим прискорюють десульфурацію сталі.

Водночас з розкислюванням і десульфурацією у відновлювальному періоді сталь доводять до заданого хімічного складу присадкою відповідних феросплавів. Ферохром, феромарганець і феровольфрам у підігрітому стані вводять у метал на початку відновлювального періоду, а легкоокислювані – ванадій і титан наприкінці, перед випуском металу. Нікель і молібден практично не окислюються і тому нікель вводять у завалку, а молібден у розплав під час окислювального періоду.

За наявності білого шлаку (на повітрі розсипається у порошок), з вмістом не більше 1% оксиду заліза і заданою температурою рідкої сталі, виконують кінцеве розкислення алюмінієм і сталь випускають із печі. Тривалість відновлювального періоду залежно від марки сталі і місткості печі становить 30-120 хв. При сумісному виливанні із печі сталі із білим шлаком у ківші додатково видаляється із сталі до 50% сірки, яка залишилась до кінця плавки.

Ще більшого ефекту досягають під час обробки сталі у ковші синтетичним шлаком. При цьому після видалення окислювального шлаку короткий відновлювальний період проводять в основному для доводки металу за хімічним складом, а рафінування – у ковші. Високоосновний синтетичний шлак складу: 53-55% CaO і 43-45% Al_2O_3 виплавляють в окремій шлакоплавильній печі, футерованій вуглецевими блоками. Шлак у кількості 5-6% від маси металу виливають на дно ковша і потім наповнюють ківш сталлю. Шлак роздрібнюється на дрібні краплини і емульгується у метал, внаслідок чого площа контакту метал-шлак зростає до 100 м²/т проти 0,3-0,7 м²/т в печі. Процеси розкислення і десульфурації протікають значно швидше і повніше, ніж за дифузійного

розкислення в печі. Коефіцієнт розподілу сірки між металом і шлаком досягає 100-200, в той час як в процесі рафінування відновлювальним шлаком він не перевищує 30-50. Протягом 1-3 хв незалежно від початкової концентрації вміст сірки в сталі знижується до 0,01-0,05%, а кисню – до 0,003-0,004%. Тривалість відновлювального періоду різко скорочується, і продуктивність печей підвищується на 15-20%.

Метод переплавки. Цим методом виплавляють переважно леговані і високо-леговані сталі і сплави з метою максимального використання легуючих елементів, що додаються в шихту. Кількість легованих відходів у шихті може досягати 100%. Шихта має бути не окислена і з низьким вмістом фосфору.

Плавку ведуть без окислення, або з частковим окисленням рідкої сталі киснем. Після короткої (10-15 хв) продувки ванни киснем і за вмісту вуглецю на нижній межі марки сталі виконують дифузійне розкислення шлаку з метою відновлення із нього оксидів марганцю, хрому, вольфраму чи ванадію. Шлак розкислюють порошками 75%-го феросиліцію, силікохрому, а в окремих випадках алюмінію (для високохромистих сплавів).

Зміст роботи

Вивчити теоретичні основи плавки сталі в основній печі з окисленням і без окислення домішок, а також конструкцію печі. Виконати роботу і підготувати звіт.

Порядок виконання роботи

Робота виконується в діючому ливарному цеху.

1. Вивчити правила техніки безпеки під час роботи на дуговій печі в умовах ливарного цеху.
2. Вивчити будову плавильної печі.
3. Ознайомитися з шихтовими матеріалами і матеріалами для утворення шлаку.

4. Виконати плавку і записати хронометраж (табл. 3.1) технологічних операцій та електричних режимів.
5. Підготувати звіт, виконати аналіз технології плавки, показати недоліки і внести пропозиції для поліпшення технології плавки.

Таблиця 3.1 – Хронометраж плавки

Технологічні операції	Тривалість хв	Параметри плавки			Хімічний склад сталі, %				
		I, A	U, B	cos φ	C	Si	Mn	P	S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Завантаження шихти і включення печі									
Плавлення шихти									
Нагрівання розплаву (доводка за температурою і хімічним складом)									
Розкислення і випуск сталі									
Загальна тривалість плавки									
Витрата електроенергії на плавку, кВт·год									
Питома витрата електроенергії, кВт·год/кг									

Запитання для самоконтролю

1. Правила техніки безпеки.
2. Порядок завантажування шихти у дугову електричну піч.
3. Заправка печі; як вона виконується?
4. Періоди плавки в основній печі з окисленням і без окислення домішок.
5. Переваги і недоліки плавки сталі в електричних печах з основною футеровкою порівняно з кислою та іншими видами плавки.
6. Рафінування сталі. Як воно виконується?

Робота №4

ПЛАВКА СТАЛІ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ІНДУКЦІЙНІЙ ПЕЧІ (4 години)

Мета роботи – вивчити технологічний процес плавки сталі в електричній індукційній печі; засвоїти його переваги і недоліки порівняно з іншими процесами плавки сталі.

Матеріали та обладнання: індукційна плавильна піч; сталевий брухт, феросплави, кокс молотий, відходи електродів, розкислювачі; плавильний інструмент; форми для заливання проб.

Загальні відомості

У сталеливарному виробництві широко використовуються індукційні тигельні печі (рис. 1.1) [6]. Нагрівання і плавлення сталі в цих печах виконується за рахунок змінного струму, індуктованого у шихті. Процес індукції вихревих струмів у шихті відомий давно і полягає у тому, що змінний струм, який подається до первинної обмотки (котушки) – індуктору, створює навколо неї змінне магнітне поле. У свою чергу змінний магнітний потік наводить у вторинному колі (металевій шихті) електрорушійну силу, під впливом якої у шихті з'являється змінний струм. Шихта являє собою опір при проходженні цього струму. В результаті, згідно закону Джоуля-Ленца [7], виділяється теплота, яка нагріває і розплавляє шихту. Рідкий метал під дією змінного магнітного поля інтенсивно переміщується. У шлаку струм практично не індуктується і він нагрівається від рідкого металу.

Індукційні тигельні печі мають ряд переваг перед дуговими. Відсутність графітних електродів дає змогу виплавляти сталь з дуже низьким вмістом вуглецю. Густий з низькою температурою шлак добре захищає рідкий метал від окислення і дозволяє отримати сталь з низьким вмістом газів.

Обмежений розвиток реакції між металом і шлаком зумовлює незначні втрати елементів і добре засвоєння легуючих добавок. Електромагнітне перемішування металу і незначний угар елементів сприяють отриманню сталі із стабільним хімічним складом. У табл. 4.1 наведено порівняння властивостей сталі 35Л, виробленої в різних печах.

Таблиця 4.1 – Якісні показники сталі 35Л, виплавленої в різних печах після термообробки: нормалізація при 900 °С, відпуск 680 °С

Тип печі	Вміст газів			Механічні властивості		
	O_2 , %	N_2 , %	H , $см^3/100$	σ , МПа	δ , %	Ψ , %
Індукційна	0,0032	0,0076	3,6	609	21,9	34,8
Дугова	0,0040	0,0106	4,8	595	21,6	27,5
Мартенівська	0,0047	0,0078	5,4	591	21,5	28,4

Низькі температура і активність шлаку в індукційній печі укладнюють проведення процесів окислення, дефосфорації і десульфурзації, тому плавку в цих печах проводять переважно методом переплавки.

Зазвичай у ливарних цехах для плавки сталі застосовують індукційні печі з кислою футеровкою. Кисла футеровка набивається із чистого кварцового піску ($SiO_2 > 90\%$) з добавкою 2% борної кислоти.

Шихтовими матеріалами для кислих печей служать відходи вуглецевої і легованої сталі, власні відходи ливарного цеху, куплений брухт, відходи електродів для дугових печей або ливарний кокс, феромарганець, феросиліцій та інші легуючі добавки і розкислювачі.

Для наведення шлаку використовують сухий кварцовий пісок - 65%, свіжовипалене вапно - 25% і молотий плавиловий шпат - 10% (можна також наводити шлак із битого скла). При цьому кінцевий шлак зазвичай має такий склад, %: 45-55 SiO_2 , 10-25 CaO , 3-5 Al_2O_3 , 10-20 MnO , 5-15 FeO . Засвоєння вуглецю із електродних відходів становить 90%; із коксу – 70%.

Плавка сталі в кислій індукційній печі складається із таких періодів: завантаження шихти, плавлення, доводка за хімічним складом, кінцеве розкислення і випуск. Під час виробництва середньовуглецевої сталі із чистої

шихти швидкість окислення вуглецю становить 0,001% за 1 хв; марганцю – 0,004-0,007 за 1 хв. Вміст марганцю після розплавлення шихти не перевищує 0,15%. Пригар кремнію через протікання процесу його відновлення становить приблизно 0,003% за 1 хв. Вміст сірки і фосфору в процесі плавки практично не змінюється.

Засвоєння феросплавів і розкислювачів у періоді доводки становить: феросиліцію – 100%, феромарганцю – 85-90%, ферохрому – 98-100%, алюмінію – 35-45%.

При проведенні плавки з основною футеровкою для виготовлення тиглів використовують молоту відпрацьовану хромомагnezитову цеглу з величиною зерна 1-4 мм (98%) і 2% плавикового шпату. В основних індукційних печах з низької продуктивності для набивки тиглів застосовують також магнезитовий порошок із молотою термостійкою магнезито-хромистою цеглою у співвідношенні 1:1. Загалом стійкість основних тиглів нижча від стійкості кислих.

Зміст роботи

Вивчити теоретичні основи плавки сталі в кислій і основній індукційних печах, а також конструкцію печі. Виконати роботу і підготувати звіт.

Порядок виконання роботи

Робота виконується в діючому ливарному цеху.

1. Вивчити правила техніки безпеки під час виконання плавки сталі в індукційній печі.
2. Засвоїти конструкцію індукційної печі.
3. Підготувати шихту для отримання заданої марки сталі, (наприклад, сталь 35Л).
4. Виконати плавку і записати хронометраж технологічних операцій та електричних режимів (табл. 4.2).
5. Залитя форми проб для механічних випробувань.

6. Провести термічну обробку проб, їх механічні випробування і визначити показники міцності.

7. Зробити висновки і підготувати звіт.

Таблиця 4.2 – Хронометраж плавки

Технологічні операції	Тривалість хв	Параметри плавки			Хімічний склад сталі, %				
		I, A	U, B	cos φ	C	Si	Mn	P	S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Завантаження шихти і включення печі									
Плавлення шихти									
Нагрівання розплаву (доводка за температурою і хімічним складом)									
Розкислення і випуск сталі									
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 робіт на індукційних плавильних печах.
2. Порядок завантаження шихти в індукційну піч.
3. Матеріали для виготовлення тиглю “кислої” індукційної печі.
4. Матеріали для виготовлення тиглю основної індукційної печі.

5. Переваги і недоліки плавки сталі в індукційних печах порівняно з іншими процесами плавки сталі.
6. Періоди плавки сталі в індукційній печі та операції, що виконуються в кожному з них.

Робота №5

ПЛАВКА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

(4 години)

Мета роботи – вивчити технологічний процес плавки алюмінієвих сплавів.

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 [9].

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 [10, 11].

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 вводять 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

$$W = \sigma_m \cdot \cos \Theta_m - \sigma_f \cdot \cos \Theta_f - \sigma_{mf} \quad (5.2)$$

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:

$$W_{A(M)} = W_{A(T)} - \sigma_m \cos \Theta_\sigma - \sigma_m \cos \Theta_\phi \quad (5.3)$$

де $W_{A(M)}$ – робота адгезії включень до фільтра у середовищі розплавленого металу; $W_{A(T)}$ – 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 пробною Добаткіна-Зінов'єва [9]. 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 [9]. Для цього розплав заливають у підігріту до $150\ldots 200 \text{ }^\circ\text{C}$ графітну форму (рис. 5. 1).

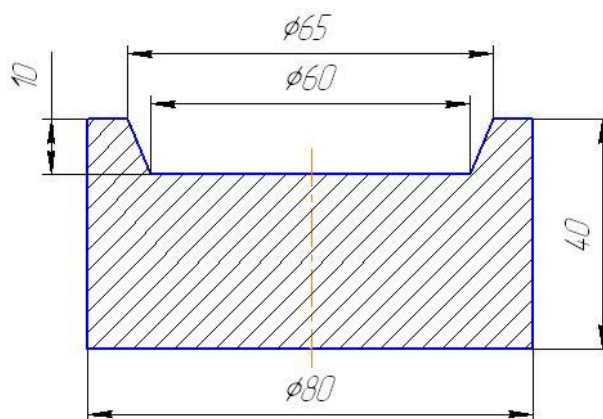


Рис. 5.1. Форма для заливки структурної проби

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 [9]. Для цього прожареним графітошамотним тиглем марки 02 відбирають невелику порцію метлу за температури $720\ldots 730 \text{ }^\circ\text{C}$. Метал охолоджують під вакуумним ковпаком до повної кристалізації (рис. 5.2). 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 [9], який заснований на рівності парціальних тисків газу в металі і оточуючому середовищі (рівновага системи).

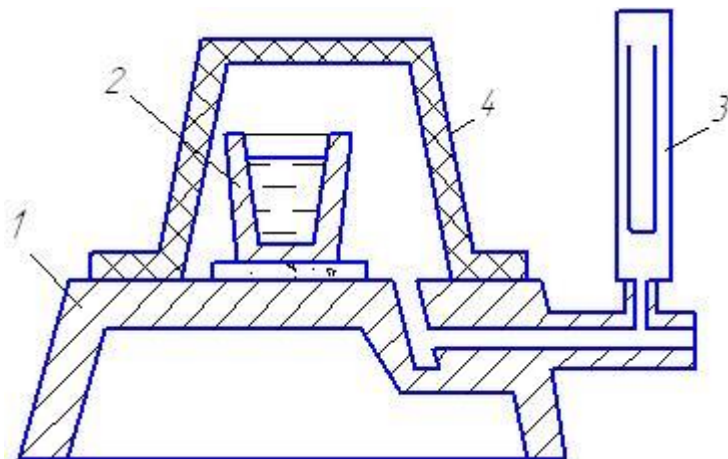


Рис. 5.2. Пристрій для кристалізації у вакуумі

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 умов наявності на розплаві оксидної 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

$$\lg S_H = -A/T + B + 1/2(\lg P_H) \quad (5.4)$$

де S_H – кількість водню у розплаві; A і B – коефіцієнти, які залежать від типу сплаву (табл. 5.1); T – температура; P_H – тиск водню у приладі.

Для прискореного визначення вмісту водню за значеннями T і P_H рівняння (5.4) подають у вигляді номограми (рис. 5.3).

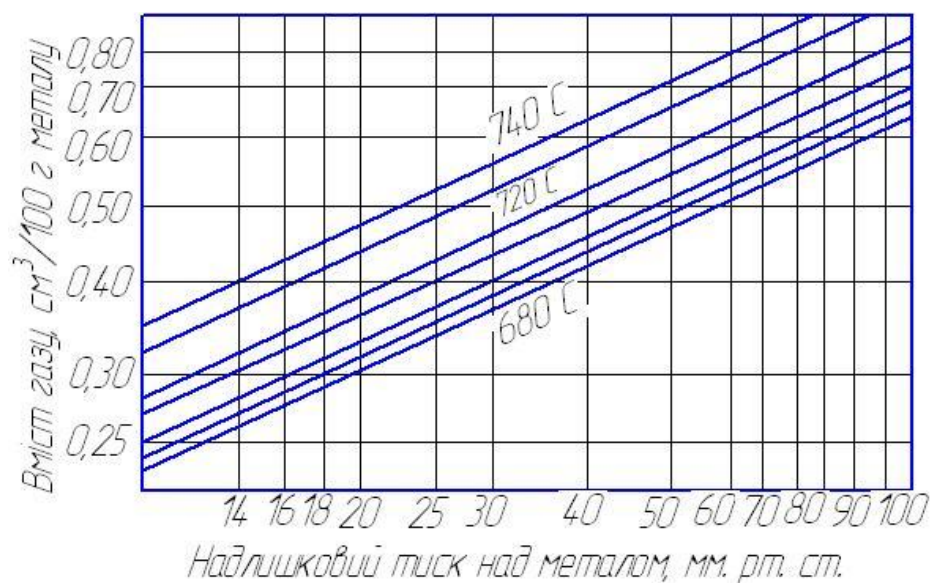


Рис. 5.3. Номограма для розрахунку вмісту водню в алюмінієвих сплавах

Таблиця 5.1 – 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 МЛВ.

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. 5.2) при температурі 720...740 °С. Флюс засипати на поверхню металу, замішати у розплав, злити шлак.

Таблиця 5.2 – 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. 5.3

14. Результати роботи занести до табл. 5.4. Зробити висновки. Підготувати звіт.

Таблиця 5.3 – 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 5.4 – 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?

Робота №6

ПЛАВКА І МОДИФІКУВАННЯ МАГНІЄВИХ СПЛАВІВ

(4 години)

Мета роботи – вивчити технологічний процес плавки і модифікування магнієвих сплавів.

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 [12].

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 металі 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. 6.1) у кількості до 10% від маси шихти. Під розплавлений флюс завантажують підігріту металеву шихту, розплавляють, нагрівають до 700 °С і за допомогою "дзвоника" вводять 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 6.1 – Склад флюсів для магнієвих сплавів, %

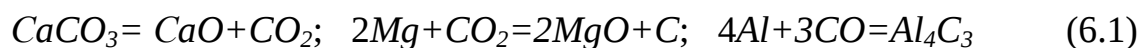
Флюс	$MgCl_2$	KCl	$NaCl+CaCl_2$	$BeCl_2$	CaF_2	MgO
B12	38-46	32-40	10	8	3-8	до 2
B13	38-46	32-40	10	-	15-20	-

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, аргонном 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 МЛВ.

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. 6.1), 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. 6.1) 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. 6.2 і 6.3, зробити висновки та підготувати звіт.

Таблиця 6.2 – Розрахунок кількості модифікаторів

Модифікатор і його склад	Кількість модифікатора		Модифікування	
	%	г	Температура	Тривалість

Таблиця 6.3 – 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?

Робота №7

ПЛАВКА СПЛАВІВ НА ОСНОВІ МІДІ

(4 години)

Мета роботи – вивчити технологічний процес плавки сплавів на основі міді.

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 [13].

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 °C), 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, битого 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 вводять 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 °C. 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, свинцеві 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 слабоокислювальній 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. 7.1).
5. Залити проби, перевірити якість і механічні властивості (твердість) металу.
6. Зробити висновки і підготувати звіт.

Таблиця 7.1 – 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?

5. Шкідливі домішки у мідних сплавах.

6. Чому при сильному перегріві сплаву на основі міді модифікуючий ефект знижується?

Список рекомендованої літератури

1. Сабірзянов Т.Г. Печі ливарних цехів. Навчальний посібник для студентів-ливарників вищих навчальних закладів III–IV рівнів акредитації. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 280 с. – ISBN 5-217-00850-4.
2. Бялік О.М., Черненко В.С., Писаренко В.М., Москаленко Ю.Н. Металознавство: Підручник. – 2-ге видання, перероб. і доп. – Київ: Політехніка, 2002. – 384 с. – ISBN: 966-622-090-3.
3. Пахаренко В.Л., Марчук М.М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво). Навчальний посібник. – Рівне, 2009. – 182 с.
4. Бялік Г.А., Наумик В.В., Луньов В.В., Пархоменко А.В. Теорія ливарних сплавів. Навчальний посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – 156 с. – ISBN: 978-617-529-068-2.
5. Шумихин В.С., Билецкий А.К. Физико-химические процессы электроплавки чугуна. Монография. – Киев: Наукова думка, 1989. – 168 с.
6. Чуйко Н.М., Чуйко А.Н. Теория и технология электроплавки стали. – Киев / Донецк: Головное изд-во, 1983. – 248 с.
7. Полищук В.П., Цин М.Р. и др. Магнитодинамические насосы для жидких металлов. – Киев: Наукова думка, 1989. – 256 с.
8. Макаревич О.П., Федоров Г.Є., Платонов Є.О. Виробництво виливків із спеціальних сталей. Монографія. – К.: НТУУ КПІ, 2005. – 717 с.
9. Парахнєвич Є.М., Сажнєв В.М., Тирса С.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Основи теорії плавки та виробництва виливків” (кольорові метали). – Запоріжжя: Запорізьк. нац. техн. ун-т, 2015. – 38 с.

10. Рабинович О.В. (ред.) Металургія кольорових металів. Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: НМетАУ, Журфонд, 2009. – 154 с. – ISBN: 978-966-1696-09-8.

11. Джемелінський В.В. та інш. Навчальне видання до лабораторних і практичних робіт для вивчення дисципліни "Технологія конструкційних матеріалів". Ливарне виробництво. – Київ: НТУУ- «КПІ», 2012. – 44 с.

12. Сазонова О.В., Грешта В.Л. (укл.). Конспект лекцій із дисципліни: Кольорові метали та сплави. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2005. – 98 с.

13. Червоний І.Ф. (ред.) Металургія кольорових металів. Частина 7. Вторинна металургія кольорових металів. – Запоріжжя: ЗДІА, 2009. – 454 с.

Навчальне видання

Ливарне виробництво

ПРАКТИКУМ

ПЛАВКА ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ

Навчально-методичний посібник

Укладачі:

Ломакін В.М. – к.т.н., доц.

Кропівний В.М. – к.т.н., проф.

Здано до тиражування _____. Підписано до друку _____.

Формат 60x84 1/16(A5). Ум. друк. арк. 4,0. Тираж 50 прим. Зам. № ____/2023 р.

ЦНТУ, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8.