

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни

**"Основи теорії плавки та виробництва виливків
(кольорові метали)"**

для студентів за напрямом підготовки 6.050402 "Ливарне
виробництво" всіх форм навчання для підготовки бакалаврів

2015

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Основи теорії плавки та виробництва виливків (кольорові метали)" для студентів за напрямом підготовки 6.050402 "Ливарне виробництво" всіх форм навчання для підготовки бакалаврів / Укладачі: Є.М. Парахневич, В.М. Сажнев, С.В. Тирса. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. – 38 с.

Укладачі: Є.М. Парахневич, доцент, к.т.н.
В.М. Сажнев, доцент, к.т.н.
С.В. Тирса, старший викладач

Рецензент: В.І. Мінакова, доцент, к.т.н.

Відповідальний
за випуск: В.В. Луньов, професор, д.т.н.

Затверджено
на засіданні НМР
Фізико-технічного інституту ЗНТУ

Затверджено
на засіданні кафедри
“Машини і технологія
ливарного виробництва”

Протокол № 4 від 12.03.2015 р.

Протокол № 7 від 04.03.2015 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Лабораторна робота №1. Ливарні сплави кольорових металів, їх мікроструктура.....	5
2 Лабораторна робота №2. Рафінування металевих розплавів та контроль якості рафінування металу.....	13
3 Лабораторна робота №3. Визначення ступеня газонасиченості кольорових сплавів за допомогою газоміру типу LGT.....	29
Список літератури.....	38

ВСТУП

Задача проведення лабораторних робіт полягає в наданні студентам допомоги у вивченні структури та властивостей конструкційних кольорових сплавів. Особливу увагу при проведенні робіт приділено рафінуванню та модифікуванню сплавів, як основним напрямом підвищення службових характеристик машинобудівного литва.

Перед початком робіт з усіма студентами проводиться вступна бесіда, а також загальний та індивідуальний інструктаж по техніці безпеки.

Студенти приступають до кожної роботи тільки після ознайомлення з літературою по питанням, які необхідно вивчити. Пропущені лабораторні роботи виконуються у додатковий час згідно розкладу, складеному кафедрою та затвердженому деканом факультету.

При розробці методичних вказівок використовувалися матеріали доц. Сажнева В.М., доц. Федькова В.О. і доц. Івахненко Є.І.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ЛИВАРНІ СПЛАВИ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ, ЇХ

МІКРОСТРУКТУРА

1.1. Мета роботи

Вивчити макроструктуру в зламах і мікроструктуру олов'яної і безолов'яної бронзи, ливарної латуні, алюмінієвого, цинкового, магнієвого і титанового сплавів.

1.2 Загальні відомості

Алюмінієві ливарні сплави. До алюмінієвих ливарних сплавів відносять сплави, що мають у структурі легкоплавку евтектику, яка покращує їх ливарні властивості, підвищуючи рідинотекучість, зменшуючи усадку і схильність до утворення гарячих тріщин.

Алюмінієві ливарні сплави залежно від основного легуючого елемента поділяються на такі системи: алюміній - кремній, алюміній - кремній – мідь, алюміній - мідь, алюміній - магній і складні сплави. Хімічний склад ливарних сплавів регламентує ДСТУ 2685 – 75.

Дуже широко застосовують сплави систем алюміній - кремній, алюміній - мідь, де кремній - основний легуючий елемент (4 - 13%) - це сплави АК7, АК9 та ін., і мідь (4 - 11%) - це сплави АК4М4, АК5М2, АК5М7 та ін. Міцність алюмінієвих сплавів можна підвищувати термічною обробкою.

Сплави системи алюміній - кремній (силуміни) - найпоширеніші з ливарних алюмінієвих сплавів. Вони мають хороші ливарні та механічні властивості. З цих сплавів можна отримати деталі всіма відомими способами литва, будь - якої складності з товщиною стінок до 2 мм. Структура сплавів складається з α - твердого розчину кремнію в алюмінії і евтектики алюміній – кремній (рис. 1.1). Чим більший вміст кремнію (вище 5%), тим крупніше первинне зерно і нижчі механічні властивості сплаву. У заевтектичних сплавах (більше 11,6% кремнію) на фоні крупнозернистої алюміній - кремнієвої евтектики з'являються включення первинного кремнію. Для подрібнення зерна алюмінієвих сплавів застосовують модифікування [1].

Виливки виготовляють із доєвтектичних (до 9% кремнію), евтектичних або близьких до евтектики (10 - 14% кремнію) і заєвтектичних (до 25% кремнію) сплавів.

Із сплавів на основі системи алюміній — мідь поширені сплави з вмістом міді біля 4,5%. Сплави системи алюміній - мідь мають вищі механічні властивості, ніж алюмінієво - кремнієві сплави, проте нижчі ливарні властивості. Структура цих сплавів складається із α -твердого розчину міді в алюмінії і евтектики $\alpha + \text{CuAl}_2$.

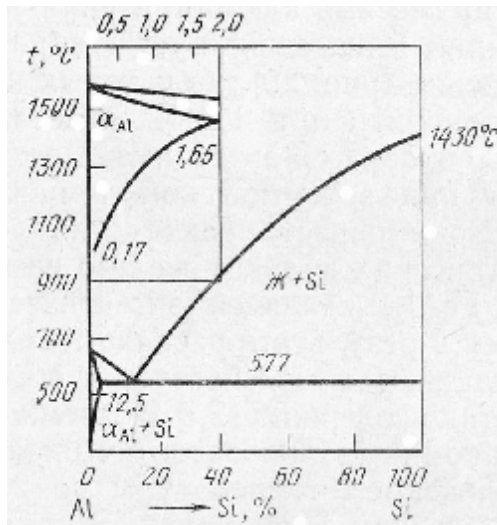


Рисунок 1.1 - Діаграма стану сплавів Al - Si

Ливарні сплави на основі міді. Найпоширеніші ливарні сплави на основі міді - це олов'яні і безолов'яністі бронзи.

Олов'яні бронзи - це мідні сплави, у яких основним легуючим елементом є олово. Крім олова в склад олов'яних бронз входять цинк, свинець, фосфор, нікель, які додають для підвищення властивостей бронзи. Промислові олов'яні бронзи містять олова не більше 10 - 12% і рідко 18 - 20%. Властивості бронз залежать, в основному, від вмісту олова. У разі збільшення кількості олова до 5 - 7% пластичність бронз підвищується і їх можна обробляти тиском. При подальшому збільшенні кількості олова пластичність бронз швидко зменшується і

при 15 - 16% олова стає мінімальною. Стандартні бронзи містять до 10% олова. Хімічний склад олов'яних ливарних бронз регламентується ДСТУ 613 – 79.

Структура олов'яних бронз з вмістом олова до 8% становить собою α - твердий розчин дендритної будови з нерівномірним розподіленням компонентів внаслідок дендритної ліквідації (рис. 1.2.). Структура сплавів з вмістом олова більше 8% складається із α - фази і евтектоїда $\alpha + \delta$ (світлі кристали δ - фази $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ з темними включеннями α - фази). Тверда інтерметалева фаза $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ підвищує міцність і твердість сплаву, але зменшує пластичність.

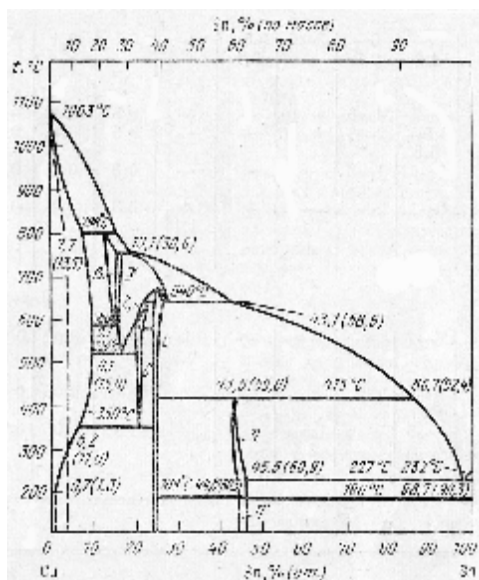


Рисунок 1.2 - Діаграма стану сплавів Cu - Sn

Безолов'яні бронзи - це замітники олов'яних бронз. Називаються вони відповідно до основного легуючого елемента: алюмінієва, свинцева, кремнієва, марганцева та ін. Широко використовується алюмінієва бронза з вмістом алюмінію 5 - 12%. Міцність алюмінієвої бронзи залежить від вмісту в ній алюмінію. Механічні властивості цих бронз можна підвищувати термообробкою - нормалізацією або гартуванням з відпуском.

Структура бінарних алюмінієвих бронз з вмістом алюмінію до 9,4% складається із α - твердого розчину алюмінію в міді, а бронзи з вмістом алюмінію більше 9,4% - δ - твердого розчину і γ - фази твердого розчину на основі сполуки Cu_3Al , яка надає сплаву крихкості.

З алюмінієвих бронз виготовляють щільні виливки з концентрованою усадковою раковиною. Лінійна усадка цих бронз дорівнює 2,2%, а рідинотекучість вища, ніж у олов'яних.

Другою різновидністю сплавів на основі міді є латуні - подвійні (сплави міді з цинком) і складні або спеціальні (сплави міді з цинком та іншими елементами). Для виготовлення виливків застосовують тільки складні латуні, назва яких визначається основним легуючим елементом, крім цинку, наприклад латунь ЛЦ40Мц1,5 - латунь марганцева. Механічні властивості латуні визначаються, в основному, вмістом цинку. Хімічний склад ливарних латуней регламентується ДСТУ 17711 - 93.

Для додаткового легування використовують залізо, марганець, нікель, кремній та ін.

Структура латуней складається з α - фази твердого розчину цинку в міді (світлі ділянки на шліфі) і β - фази - твердого розчину міді у цинкові (темні ділянки на шліфі).

Цинкові ливарні сплави. Цинкові сплави широко використовують для виготовлення деталей, які працюють під тиском і для антифрикційних деталей. Основними легуючими елементами для цинкових сплавів є алюміній, мідь і магній. Цинк з алюмінієм і алюміній з цинком утворюють тверді розчини, а із розчинів утворюється евтектика з вмістом 5% алюмінію і 95% цинку, яка складається з α - твердого розчину алюмінію в цинкові і β - твердого розчину цинку в алюмінії. Отже, структура цинкових сплавів складається із твердих розчинів, евтектики і первинних фаз.

Механічні властивості сплавів підвищуються зі збільшенням вмісту алюмінію до 4,5%, а далі починають знижуватися.

Добавки міді і магнію підвищують механічні властивості і зменшують міжкристалічну корозію сплавів.

Магнієві ливарні сплави. Основна група промислових сплавів відноситься до трьох систем: магній - алюміній - цинк (найпоширеніша), магній - цинк - цирконій, магній - РЗМ - цирконій. Крім того, знаходять обмежене застосування сплави: магній -

марганець (корозійностійкі) і магній - торій (жароміцні).

Сплави системи магній - цинк (МЛ4, МЛ5, МЛ6) містять 5 - 10% алюмінію, 1 - 3% цинку. Структура сплавів у литому вигляді складається із зерен твердого розчину і великої кількості евтектики, яка виділяється на межах зерен і надає сплаву великої крихкості. За термічної обробки евтектика розчинюється і переходить у твердий розчин, що сприяє його пересиченню. В цьому разі значно збільшується пластичність металу.

У сплавах системи магній - цинк - цирконій (МЛ8, МЛ12) міститься цинку 4 - 9%, цирконію 0,6 - 1,1%. Цирконій підвищує ливарні властивості, роздрібнює зерно, що сприяє підвищенню механічних властивостей сплавів.

Титанові ливарні сплави. Відомі дві структурні алотропічні модифікації титану: α - модифікація, яка має гексагональну щільноупаковану структуру і β - модифікація із структурною об'ємноцентрованою куба. Відповідно до цього титанові сплави розділяють на три основні групи: однофазні α і β і двофазні $\alpha + \beta$ сплави.

Легуючі елементи розділяють відповідно до впливу на ці фази:

1. α - стабілізатори - алюміній (головний легуючий елемент 5 - 6%), азот, кисень, вуглець.

2. β - стабілізатори - ванадій (1,6 - 4%), молібден (2 - 3%), хром (до 2%), кремній (до 0,3%), ніобій, кобальт, нікель.

3. Нейтральні зміцнювачі - цирконій (до 1,4%), германій. Найсильніше підвищують міцність і знижують пластичність азот, кисень, вуглець.

Можливі такі структури титанових сплавів: однофазний - α - сплав (світле поле шліфа пластинчастої будови); β - сплав (темне поле шліфа); $\alpha + \beta$ - сплави - світлі включення α -фази на полі темної β -фази.

Для виявлення структури кольорових металів і сплавів застосовують реактиви, які наведені в табл. 1.1.

Без обробки шліфа реактивами неможливо побачити структурні складові будь - якого сплаву. Травлення шліфа проводять нанесенням відповідного реактиву на поверхню металу, витримкою певного часу для протравлення структури і після цього реактив змивається. Протравлений шліф слід зберігати в ексікаторі (ємність з щільно притертою кришкою) для запобігання окислення поверхні шліфа. Для якісного протравлення металу слід використовувати свіжі реактиви.

Таблиця 1.1 - Реактиви для хімічного травлення кольорових металів і сплавів

Реактив	Засіб використання	Область використання
1	2	3
Для алюмінію і його сплавів		
Плавикова кислота - 0,5 мл, вода - 99,5 мл	Травлення втиранням 15с, промивання, сушіння	Для видалення деформованого поверхневого шару і чіткого проявлення фаз усіх алюмінієвих сплавів: сполуки $FeAl_3$ і $MnAl_6$ темніють, α ($AlCuFe$) і $AlCuMg$ чорніють, $NiAl_3$ і $AlCuMn$ стають коричневими, α ($AlCuSi$) брудно-коричневими, α ($AlMnSi$) і β ($AlMnSi$) від світло-коричневого до чорного
Азотна кислота – 25 мл, вода - 75 мл	Травлення занурюванням 40 с при температурі $70^\circ C$, охолодження у воді	Для окреслення меж фаз, крім $MnAl_6$, особливо у сплавах $Al-Cu$ та $Al-Mg$ і для виявлення структури
Азотна кислота 20 мл, плавикова кислота - 20 мл, гліцерин - 60 мл	Травлення занурюванням на 1 – 10 с, при виявленні меж зерен чергуванням поліровки і травлення	Для виявлення меж зерен усередині кристалічної ліквідації в сплавах
Для магнію і його сплавів		
Азотна кислота -1 мл, діетіленгліколь – 75 мл, вода - 24 мл	Травлення занурюванням або втиранням 10 - 15 с, промивання гарячою водою	Універсальний реактив, особливо ефективний для травлення ливарних сплавів
Азотна кислота 2 – 8 мл, спирт до 100 мл	Травлення змочуванням, витримка 3 - 5 с, промивання спиртом	Універсальний реактив
Для міді і її сплавів		
Хлорне залізо 11 грам на 100 мл води.	Нанести реактив на поверхню шліфа, витримати 15 - 20 с, промити	Основний реактив для травлення міді, латуні, бронзи, сплавів міді з нікелем, алюмінієвої бронзи та ін., β - фаза темніє. У сплавах міді з алюмінієм, фосфором темніє α - фаза.
Аміак - 50 мл, вода - 50 мл, 3% - й перекис водню – 2 - 5 мл	Травлення занурюванням або втиранням протягом 5 - 10 с.	Для травлення міді, латуні, бронзи, однофазних і багатофазних сплавів. У олов'яних бронзах евтектоїд світлий, багаті міддю дендрити - темні.

Для титану і його сплавів		
1 Плавикова кислота – 4 - 10 мл, вода до 100 мл	Травлення занурюванням або втиранням протягом 10 - 20 с, промивання теплою водою. Щоб запобігти появі плям, у реактив добавити до 4% 30% - вого перекису водню	Для виявлення структури

1.3 Устаткування, інструмент та матеріали

1. Підготовлені шліфи кольорових сплавів.
2. Металографічний оптичний мікроскоп МИМ - 8.
3. Реактиви для травлення.
4. Витяжна шафа.
5. Комплект захисних пристосувань.

1.4 Порядок проведення роботи

1. Вивчити властивості, структуру, призначення та маркування кольорових ливарних сплавів на основі алюмінію, міді, магнію, титану, цинку.

2. Підготувати до вивчення злами, нетравлені і травлені шліфи зазначених сплавів.

3. Вивчити макроструктуру сплавів візуально і під бінокулярним мікроскопом.

4. Вивчити під металографічним мікроскопом мікроструктуру сплавів.

5. Замалювати структури для звіту і визначити хімічний склад сплавів.

6. Підготувати звіт.

1.5 Оформлення звіту

1. Викласти мету роботи.
2. Зробити короткий опис технології вивчення структурних складових сплавів, які вивчаємо.
3. Вивчити структури та їх складові частини у кольорових сплавах на основі алюмінію, міді, магнію, титану, цинку.
4. Промити водою зразки, які вивчаємо, та просушити.
5. Замалювати характерні структурні особливості сплавів.
6. Зробити висновки по роботі.

1.6 Питання для контролю

- 1.Класифікація кольорових сплавів на основі алюмінію, міді, магнію, титану, цинку.
- 2.Методи вивчення структури металів і сплавів.
- 3.Складові частини структур кольорових сплавів.
- 4.Правила користування мікроскопом і методика приготування шліфів.
5. Техніка безпеки при роботі з кислотними матеріалами.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 РАФІНУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ РОЗПЛАВІВ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ РАФІНУВАННЯ МЕТАЛУ

2.1 Мета роботи

1. Вивчити основи технології плавки та рафінування кольорових сплавів.
2. Вивчити методи контролю сплавів на наявність газів та неметалевих включень.

2.2 Загальні відомості

Розробка технології плавки кольорового сплаву включає в себе вибір плавильного агрегату, виду енергії, вибір матеріалу футеровки печі, визначення необхідного складу атмосфери в печі при проведенні плавки. В першу чергу при розробці технології плавки потрібно визначити склад сплаву, який включає основу, легуючі компоненти і домішки, і заданий рівень механічних, експлуатаційних та інших властивостей сплаву у виливку. Вид плавильної печі, вид енергії, матеріал футеровки вибирають в залежності від температури плавлення основного компонента сплаву і хімічної активності як його, так і усіх легуючих компонентів і найбільш шкідливих домішок. Місткість печі вибирають в залежності від потреби в розплаві за одиницю часу. Крім того, розробляючи технологію плавки, вирішують питання про способи попередження можливого забруднення розплаву і способи очищення його від домішок, тобто рафінування.

Для захисту металевих розплавів від взаємодії з газами використовуються шлаки, флюси і інші захисні покриття, також проводять плавку в атмосфері захисних і нейтральних газів, а також проводять плавку у вакуумі [2].

В більшості випадків плавку проводять на повітрі. Якщо взаємодія з повітрям обмежується утворенням на поверхні нерозчинних з'єднань і плавка цих з'єднань суттєво уповільнює подальшу взаємодію, то звичайно не застосовують будь-яких заходів для подавлення такої взаємодії. Плавку в такому випадку ведуть при прямому контакті розплаву з атмосферою. Таким чином поступають при приготуванні більшості алюмінієвих і олов'яно-свинцевих

сплавів.

Захисні шлаки і флюси являть собою складні сплави оксидів і солей, які завантажуються на поверхню розплаву. Для захисту від взаємодії з газовим середовищем деяких алюмінієвих і всіх магнієвих сплавів використовують сплави солей, які називають флюсами. Флюси складаються майже виключно з хлоридів лужних і лужноземельних металів з добавками фторидів тих же металів. Крім рідких шлаків і флюсів для захисту розплавів від взаємодії з газами використовують тверді покриття – деревне вугілля і іноді бій графітових електродів, якими захищають мідь і її сплави від окислення киснем повітря.

Атмосферу захисних і інертних газів застосовують в тих випадках, коли неможливо або небажано використовувати шлак або флюс (при приготуванні складних сплавів з хімічно активними добавками, вміст яких потрібно витримати у вузьких межах а також при небезпеці роз'їдання футерівки і забруднення розплаву домішками і шлаковими включеннями). В аргоні часто проводять плавку складних нікелевих і мідних сплавів. Для багатьох мідних сплавів нейтральними газами є азот і оксиди вуглецю, тому при плавці міді і латуней застосовують генераторний газ, який складається з суміші N_2 , CO і CO_2 .

Плавка у вакуумі є найбільш надійним засобом отримання чистих сплавів. Але при цьому при плавці в вакуумі суттєві втрати металу на випаровування, особливо багато ускладнень вносить неоднакове випаровування компонентів сплаву, що призводить до зміни його хімічного складу.

Але, незважаючи на захист, металеві розплави забруднюються різними домішками вище припустимої межі. Часто в шихтових матеріалах має місце велика кількість домішок. Тому майже завжди при проведенні плавки кольорових сплавів проводять рафінування розплавів - очистку від домішок.

Домішки в розплавах присутні у наступних виглядах. По-перше, це домішки металів і елементів, які знаходяться в розчиненому вигляді. По – друге, це домішки, які знаходяться в розплаві у вигляді нерозчинних чужорідних частинок, які називаються неметалевими включеннями. Подібними частинками можуть бути оксиди основного і легуючих компонентів сплаву, їх карбіди і нітриди, а також частинки шлаків, флюсів, вогнетривкої футеровки. І, по - третє, це домішки

газів, які теж знаходяться в розчині.

Рафінування розплавів від розчинених домішок може бути виконане окисленням, хлоруванням, обробкою флюсами, вакуумуванням.

Окислення застосовується у випадках, коли сплав може розчиняти кисень. Цим методом можна очищати розплав від домішок, які мають більшу спорідненість до кисню, ніж основний компонент сплаву і при умові, що оксиди домішок не розчиняються в розплаві. Такий метод застосовують для очищення міді від свинцю, миш'яку, вісмуту, сурми і нікелю - від кремнію, магнію, марганцю. Окислення домішок проводять продувкою повітря крізь розплав, або подачею повітря на поверхню розплаву. Інколи для цієї мети в розплав вводять окислювачі - оксиди або з'єднання, що легко віддають кисень. Після проведення окислювального рафінування видаляють збиток розчиненого кисню розкисленням.

Хлорування - продувка розплавів газоподібним хлором - застосовується для видалення домішок, які мають більшу спорідненість до хлору, ніж основний і головні легуючі компоненти сплаву. Хлоруванням можна видаляти домішки натрію і магнію з алюмінієвих сплавів.

Обробка розплаву флюсами застосовується у випадку, коли домішок розчиняється у флюсі або взаємодіє з ним з утворенням летючих з'єднань, які не розчиняються в основному металі. Прикладом такого способу рафінування є очищення алюмінієвих сплавів від магнію кріолітом.

Вакуумування використовують для видалення тих домішок, які мають більший тиск пари, ніж основний метал. Цей спосіб широко застосовують при рафінуванні алюмінієвих сплавів від магнію і цинку.

Рафінування розплавів від нерозчинених домішок є одною з найважливіших задач при проведенні плавки кольорових сплавів, тому що неметалеві включення рішучим чином впливають на технологічні і робочі властивості металів. Як правило, вони знижують пластичні властивості металу, особливо при ударних навантаженнях і низьких температурах, суттєво знижують корозійну стійкість металів.

Неметалеві включення, які потрапили в розплав з зовні називають екзогенними. Це частинки футеровки, матеріалу ливарної форми, шлаку, флюсу та інших чужорідних матеріалів. Другу частину неметалевих включень називають ендогенними. Це включення, що

з'явилися в результаті фізико - хімічних процесів в самому розплаві, який вміщує розчинені домішки, при його охолодженні і кристалізації. Найбільша частина ендегенних неметалевих включень - це продукти розкислення розплавів.

Нерозчинні домішки можна видаляти відстоюванням, продувкою газами, вакуумуванням, обробкою флюсами і шлаками, фільтруванням.

Відстоювання ґрунтоване на різниці густини розплаву і матеріалу, який складає нерозчинні частинки. Кінетика цього процесу спрощено описана формулою Стокса. Для видалення неметалевих включень потрібен час, який вираховується десятками хвилин. Крупні частинки спливають за кілька хвилин, дрібні (менші за 5 мкм) практично неможливо видалити відстоюванням. Тому їх важливо укрупнити. Це може бути досягнуто при помірних (10 - 50 см/с) швидкостях перемішування.

Рафінування розплавів продувкою газами засноване на флотуючій дії бульбашок газу по відношенню до неметалевих включень. Бульбашки газу прилипають до включень і виносять їх на поверхню. Для продувки звичайно використовують аргон і азот. Застосовують також хлор, який додають до азоту або аргону при рафінуванні алюмінієвих сплавів. Хлор руйнує оксидну плівку, яка утворюється на внутрішній поверхні газової бульбашки, що забезпечує краще прилипання домішок.

Замість газів використовують також летючі тверді з'єднання - хлориди алюмінію і марганцю, гексахлоретан (для алюмінієвих сплавів), хлористий цинк (для алюмінієвих сплавів з цинком), хлористий амоній (для цинкових і свинцево - олов'яних сплавів).

Рафінування розплаву від нерозчинних домішок при вакуумуванні засноване на флотуючій дії бульбашок газу, що видаляються з розплаву. Вакуумування проводять при остаточному тиску 500 - 1000 Па.

Рафінування розплавів обробкою флюсами і шлаками засноване на переміщенні нерозчинних домішок в шлак або флюс в результаті їх розчинення або змочування. Для підвищення хімічної активності в склад шлаків і флюсів вводять підвищену кількість фтористих солей і оксиду натрію (у вигляді соди Na_2CO_3), при цьому розплав активно перемішують. Рафінуюча дія флюсу визначається величиною роботи адгезії включень до флюсу.

Рафінування фільтруванням є одним з найбільш дієвих способів

видалення з розплаву частинок нерозчинних домішок. Фільтрування проводиться крізь сітчасті, зернисті і пористі фільтри. Сітчасті фільтри виготовляють з склотканини або з металевої сітки (розмір клітинок 0,2 мм і більше). Робота сітчастих фільтрів заснована на механічному утриманні частинок, які більші за клітинку.

Зернисті фільтри - це шар зерен розміром 5 - 15 мм з шамоту, магнезиту, фториду магнію і кальцію, графіту товщиною 100 - 150 мм. Робота такого фільтра заснована на утриманні тонкодисперсних включень за рахунок механічної дії і поверхневих явищ. Утримання тим більше, чим більше робота адгезії включення до матеріалу фільтра.

Пористі фільтри - це спечений керамічний матеріал на основі Al_2O_3 і Cr_2O_3 з відкритими порами розміром у долі міліметра. З цього матеріалу виготовляють спеціальні фільтруючі блоки, які встановлюють в металопроводі або в формі.

Рафінування розплавів від розчинених газів називається дегазацією. Дегазація означає видалення з розплаву водню, азоту, оксиду вуглецю. Видалення розчиненого в металевих розплавах кисню виконується розкисленням.

Дегазація може бути виконана "виморожуванням", продувкою нерозчиненими газами, вакуумуванням, обробкою флюсами, різними фізичними діями на розплав.

"Виморожування" засновано на зменшенні розчинності газів при зниженні температури. При повільному охолодженні розплаву, впритул до часткової кристалізації, розчинені гази можуть видалятися крізь відкриту поверхню в атмосферу, а також у вигляді бульбашок в об'ємі розплаву. Таким чином значна частина розчинених газів буде видалена з метала. Після цього метал знову підігрівають з максимально можливою швидкістю.

Продувка нерозчиненими газами заснована на тому, що в бульбашці такого газу розплаву метала парціальний тиск розчиненого газу дорівнює нулю. Тому розчинений газ переходить в бульбашку з розплаву. Використовують аргон (для будь-яких сплавів), азот (для мідних і алюмінієвих сплавів), хлор (для алюмінієвих сплавів). Можна використовувати замість газів летючі з'єднання: хлористий марганець (для мідних і алюмінієвих сплавів), хлористий цинк і гексахлоретан (для алюмінієвих сплавів).

Вакуумування дозволяє найбільш надійно дегазувати металеві розплави. Зниження загального тиску над розплавом при

вакуумуванні призводить до виділення розчинених газів не тільки крізь дзеркало розплаву, але й до утворення в розплаві бульбашок різного розміру на поверхні твердих домішок, в їх тріщинах і порах. Поступове зниження загального тиску над розплавом викликає збільшення газових бульбашок, збагачення їх розчиненим газом і спливання до відкритої поверхні. Разом з газовими бульбашками спливають і частинки нерозчинених домішок.

Обробка розплавів флюсами також є засобом їх дегазації, хоча механізм дії флюсів ще до кінця не з'ясовано.

Можлива також дегація шляхом введення ультразвукових коливань в розплав, або обробкою розплавів постійним електричним струмом. Під дією ультразвукових коливань в розплаві виникають кавітаційні порожнини з дуже малим тиском газу. В ці порожнини починається перехід розчиненого газу, який утворює молекули, а кавітаційні порожнини перетворюються в газові бульбашки, які можуть спливати.

Пропусканням крізь насичений воднем розплав постійного струму супроводжується перерозподілом газу. Звичайно вміст водню збільшується біля катода і він видаляється у вигляді бульбашок.

Застосування того чи іншого способу рафінування визначається в першу чергу вимогами до властивостей матеріалу виливків, виходячи з конкретних умов експлуатації. Тому необхідно вміти оцінювати ефективність рафінування розплавів від різних, видів забруднень. Розглянемо деякі з цих методів.

Вміст розчинених домішок металів і елементів в розплавах кольорових сплавів контролюється методами хімічного і спектрального аналізів.

Газонасиченість розчиненими газами може контролюватися як безпосереднім визначенням вмісту газів, так і оцінкою пористості виливків. Це пов'язано з тим, що насичення розплавів газами призводить до розвитку у виливках газової пористості, яка викликає зниження їх механічних і службових властивостей. Особливо помітно вплив пористості на якість виливків з алюмінієвих сплавів.

Для безпосереднього визначення водню в рідких алюмінієвих сплавах у виробничих умовах широке розповсюдження отримав метод першої бульбашки (метод Дарделла - Гудченко). Цей метод заснований на рівності парціальних тисків газу у металі та оточуючому середовищі в умовах рівноваги системи. Для визначення

вмісту розчиненого водню пробу рідкого металу вміщують у вакуумну камеру та витримують її при постійній температурі з поступовим зниженням зовнішнього тиску над розплавом (створення розрідження) до появи першої бульбашки газу, який видаляється з розплаву. Момент видалення першої бульбашки, при умові наявності на розплаві щільної оксидної плівки (така плівка утворюється на алюмінії та його сплавах), яка затримує дифузію водню, відповідає рівності парціальних тисків газу у середині розплаву та поза ним. Знаючи залишковий тиск у приладі та температуру розплаву в момент видалення першої бульбашки, визначають вміст водню у розплаві (S_{H_2}) по рівнянню:

$$\text{Lg } S_{H_2} = -\frac{A}{T} + B + \frac{1}{2} \text{Lg } P_{H_2} \quad (2.1)$$

де P_{H_2} - тиск водню, Па.

Значення коефіцієнтів А та В в залежності від вмісту магнію в сплаві наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Значення постійних коефіцієнтів для розрахунку вмісту водню у алюмінієвих сплавах

Вміст магнію, %(мас)	Коефіцієнт	
	А	В
<0,4	2760	1,356
0,4-1,0	2750	1,295
1,1 - 1,7	2730	1,454
1,8 - 2,6	2714	1,484
2,9 - 4,0	2682	1,521
4,1 - 5,5	2640	1,549
від 6,5 і більше	2606	1,590

В цехових умовах для проведення прискореного аналізу попередньо розробляють номограми, за якими по значенням Т та P_{H_2} визначають вміст водню в алюмінієвих розплавах (рис. 2.1).

Газонасиченість через оцінку пористості виливків проводять по мікрошліфах, рентгеноконтролем і по густині сплавів.

Макрошліфи готують із зразків, які виготовляють з виливків (перерізується один з партії виливків), або зі спеціальних приливів до

виливка. Макрошліфи травлять, причому травлення повинно бути незначним, щоб протравлена кристалічна структура не заважала визначенню пористості. Пористість на мікрошліфах виливків зрівнюють з еталонами по шкалі пористості. Для алюмінієвих сплавів така шкала розроблена по п'ятибальній системі [3]. Кількість і розміри пор, які приходяться на 1 см^2 поверхні шліфа наведені у таблиці 2.2.

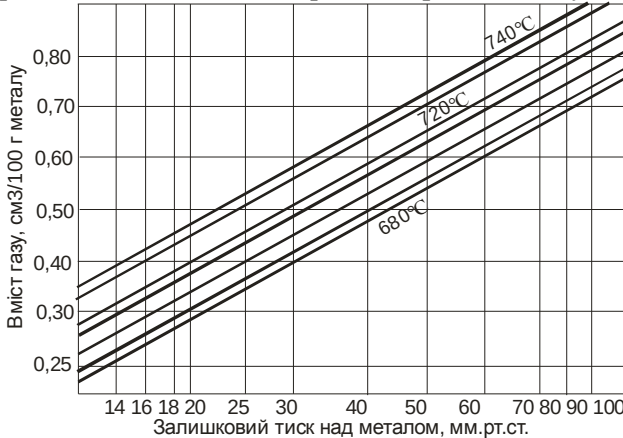


Рисунок 2.1 - Номограма для визначення вмісту водню в алюмінієвих сплавах методом Дарделла – Гудченко.

Таблиця 2.2 - Кількість і діаметри пор в еталонах пористості для алюмінієвих сплавів

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

Примітка. В дужках наведена кількість пор даного діаметра у відсотках.

Порівнюючи макрошліфи з еталонами пористості, можна оцінювати якість металу на окремих ділянках виливків.

При проведенні оцінки пористості рентгенівським контролем проводять зрівняння рентгенівських знімків виливків або зразків, які вирізають із спеціальної технологічної проби, з еталонами пористості.

Між еталонами пористості (бали), газонасиченням алюмінієвих сплавів (V) і густиною (ρ) встановлено взаємозв'язок, який наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Взаємозв'язок між балами пористості, газонасиченням і густиною алюмінієвих сплавів

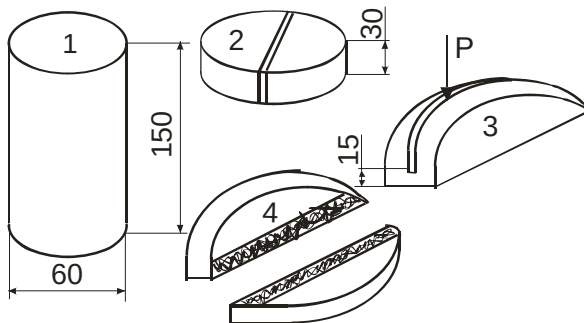
Показники	Значення показників				
	I	II	III	IV	V
Бал пористості					
$\gamma, 10^{-3} \text{ кг/м}^3$	2,658 - 2,669	2,656 - 2,658	2,642 - 2,645	2,632 - 2,640	2,556 - 2,589
$V, \text{ см}^3/100\text{г}$	0,35 - 0,40	0,40 – 0,65	0,65 - 1,0	1,0 – 1,3	1,3 - 1,6

В останній час для оцінки вмісту газів по пористості знайшла застосування так звана вакуум - проба. Для вакуум - проби прожареним графітошамотним тиглем марки 02 відбирають невелику порцію рідкого сплаву при температурі 720 - 730°C. Метал охолоджують при зниженому тиску під вакуумним ковпаком до повної кристалізації. Зменшення зовнішнього тиску сприяє більш повному виділенню розчинених газів. Під дією тиску газів, які виділяються, поверхня металу у тиглі набуває випуклого обрису; у перерізі затверділого зливка спостерігаються газові раковини. Переріз вакуум - проби порівнюють з еталонами, які виготовляють по показникам газонасичення, вказаним вище.

Оцінку забруднення кольорових розплавів нерозчинними (неметалевими) включеннями проводять методами хімічного аналізу або відбором технологічних проб. Зважаючи на складності та трудомісткість хімічного методу кількісного визначення неметалевих включень, його застосовують тільки при розробці технології рафінування. Для поточного контролю в цехових умовах використовують технологічні проби.

Так, для оцінки насиченості крупними оксидними включеннями та плівками алюмінієвих розплавів використовують пробу В.І. Добаткіна і В.К. Зінов'єва (рис. 2.2). Для цього із досліджуваного

розплаву виливають (або вирізають із зливка) заготовку діаметром 60 мм, довжиною 150 мм. Заготовку в нагрітому стані осаджують по довжині в "галету" товщиною 30 мм (п'ятикратне осадження). Після цього по площині, перпендикулярній напрямку осадження, "галету" надрізають і ламають. По кількості та площі неметалевих включень у зламі судять про чистоту розплаву. Задовільним вважається такий розплав, кількість неметалевих включень в якому по технологічній пробі не перевищує $0,05 \text{ мм}^2$ на 1 см^2 площі зламу [4].



1 – початкова заготовка; 2 – заготовка після осадження; 3 – проба до зламу; 4 – злам проби.

Рисунок 2.2 – Технологічна проба В.І. Добаткіна і В.К. Зінов'єва на вміст оксидних плівок.

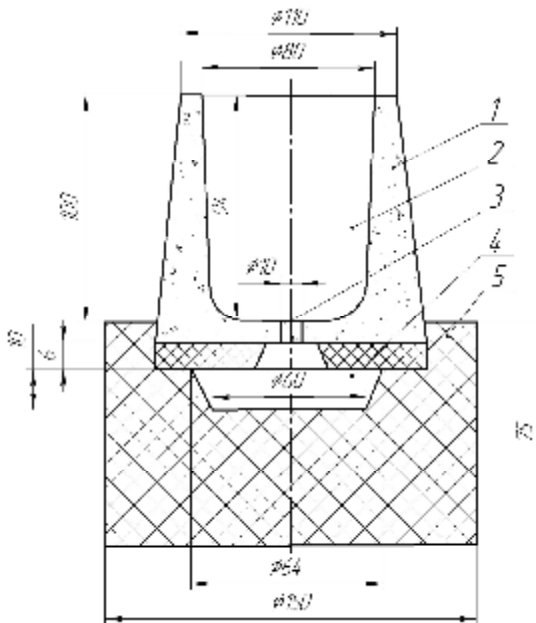
Якісну оцінку забрудненості розплавів тонкодисперсними зависями здійснюють за допомогою технологічної проби, яку називають структурною пробю О.Г. Спаського і Є.М. Кулагіної. Ця проба дозволяє також проводити якісну і кількісну оцінку забруднення розплаву воднем.

Для цього невелику порцію розплаву заливають у підігріту до $150 - 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ форму, яка складається з двох частин: піщаної і графітової (або кокілью). Схема заливки структурної проби наведена на рисунку 2.3.

Забрудненість тонкодисперсними зависями оцінюється розмірами макрозерна на поверхні нижньої частини проби. Низькому вмісту зависей відповідає крупне зерно. Ступінь забрудненості знаходять порівнянням структурної проби з еталонами.

Якісну оцінку забруднення розплаву розчиненим воднем проводять по верхній частині проби. При кристалізації на поверхні верхньої частини проби проходять крапкові розриви оксидної плівки, що є наслідком виділення бульбашок газу. По кількості розривів, порівнюючи пробу з еталонами, оцінюють ступінь газонасиченості.

Кількісну оцінку пористості проводять зрівнянням густини зразка, вирізаного з верхньої частини проби, яка була залита в піщану форму з густиною еталонного зразка нижньої частини проби і відображенням цього співвідношення у відсотках. Швидке охолодження нижньої частини проби, яка кристалізується в кокіль, виключає бульбашкове газовиділення і її густина досягає максимального значення. Повільне охолодження розплаву у верхній частині проби піщаної форми забезпечує повноту бульбашкового газовиділення, викликає зниження густини цієї частини проби.

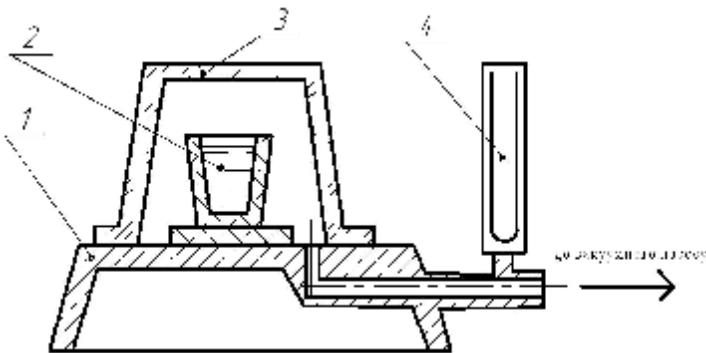


1 - піщана форма; 2 - верхня частина проби; 3 - ливник; 4 - нижня частина проби; 5 - графітова виливниця (кокіль).

Рисунок 2.3 - Виливниця - форма для відливання структурної проби.

2.3 Устаткування, інструмент та матеріали

1. Плавильна піч з графітошамотним тиглем.
2. Апаратура для контролю та регулювання температури металу.
3. Пристосування для одержання вакуум - проб (рис. 2.4).
4. Графітова форма - виливниця для виливання структурної проби.
5. Графітова виливниця для виливання проби діаметром 60 і висотою 150 мм.
6. Набір плавильно - заливального інструменту.
7. Опоки, моделі проб та набір формувальних матеріалів та інструментів.
8. Копер для осаджування проб.
9. Набір слюсарного інструменту (ножівка, кувалда, кліщі, молоток, зубило).
10. Матеріали для плавки: силумін марки СИЛ - О або СИЛ - 1 (ДСТУ 1583 - 89), вторинні сплави АК7п, АК7 (ДСТУ 1583 - 89), хлористі сполуки NaCl , KCl , MgCl_2 , MnCl_2 , C_2Cl_6 , фтористі солі Na_3AlF_6 , K_3AlF_6 , K_2SiF_6 , CaF_2 , NaF .
11. Набір інструментів та матеріалів для виготовлення та травлення шліфів.
12. Металографічні мікроскопи.



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

Рисунок 2.4 - Пристосування для одержання вакуум – проби

2.4 Техніка безпеки

1. При виконанні роботи необхідно керуватися правилами техніки безпеки, діючими у ливарному залі кафедри та в лабораторії контролю якості виливків.

2. При роботі з електричними приладами необхідно дотримуватись правил техніки безпеки по експлуатації електросилових установок; прилади обов'язково повинні бути заземлені.

3. При завантаженні шихти, плавленні, рафінуванні та розливі металу необхідно користуватися захисними окулярами та рукавицями.

4. У роботі слід використовувати пофарбований вапняною фарбою та просушений інструмент. Підлога біля печі повинна бути сухою і не загромодженою сторонніми речами.

5. Обробку розплаву у електропечі треба проводити при відключеній напрузі.

6. Рафінуючу обробку розплаву хлоридами слід проводити при включеній витяжній вентиляції.

2.5 Порядок проведення роботи

Зміст роботи включає приготування алюмінієвого сплаву заданого складу, проведення операцій рафінування, відбір відповідних проб та дослідження якості одержаного сплаву.

1. Перед початком практичних занять ознайомитися з метою роботи, вивчити теоретичні основи плавлення та рафінування металу.

2. Приготувати у печі розплав заданого складу.

3. При температурі 720 – 740 °С відлити пробу діаметром 60 і висотою 150 мм.

4. Відлити структурну або вакуумну пробу.

5. Провести при температурі 720 – 740 °С дегазацію сплаву однією із солей, вказаних у табл. 2.4. Наважку солі уводити на 2/3 глибини розплаву за допомогою стаканчика. Витримати розплав протягом 10 - 15 хв. та видалити з його поверхні шлак.

6. Відлити структурну або вакуумну проби.

7. Провести при температурі 720 - 740 °С рафінування сплаву одним із флюсів, приведених у табл. 2.5.

Флюс засипати на поверхню металу та замішати у розплав

ложкою. Видалити шлак.

Таблиця 2.4 - Хлориди та суміші для дегазації алюмінієвих сплавів

№	Склад дегазатора, % (по масі)	Кількість дегазатора від маси металу, %
1.	Гексахлоретан C_2Cl_6 (100%)	0,1 - 0,5
2.	90% C_2Cl_6 +10% K_2SiF_6	0,1 – 0,5
3.	Хлористий марганець $MnCl_2$ (100%)	0.1 - 0,5
4.	90% $MnCl_2$ + 10% K_2SiF_6	0,1 – 0,5

Таблиця 2.5 - Флюси для рафінування алюмінієвих сплавів

№	Склад флюсу, % (по масі)	Кількість флюсу від маси металу, %
1.	47 KCl, 30 NaCl, 23 Na_3AlF_6	0,5 - 1,0
2.	85 $MgCl_2$ *KCl, 15 CaF_2	0,5 - 1,0
3.	90 $MgCl_2$ *KCl, 10 K_3AlF_6	0,5 - 1,0
4.	45 KCl, 45 NaCl, 10 K_2SiF_6 (K_3AlF_6)	0,5 - 1,0

8. Відлити пробу розміром 60x150 мм та структурну або вакуумну пробу.

9. Встановити ступінь газонасиченості по структурній або вакуум - пробі.

Щільність вакуум - проби визначають методом гідростатичного зважування та розраховують по формулі:

$$P = \frac{P_{\Pi}}{P_{\Pi} - P_B} \times d_B \quad (2.2)$$

де P_{Π} , P_B - вага зразка відповідно у повітрі та у воді (точність зважування 0.01 г);

d_B - густина пікнометричної рідини. Зразки після зважування розрізують для підрахунку кількості пор, визначення їх розміру та оцінки балу пористості за ДСТУ 1583 - 73.

10. Встановити ступінь забрудненості сплаву неметалевими включеннями по пробі Добаткіна - Зинов'єва або структурній пробі. Травлення структурної проби проводити у розчині Келера (20 мл HNO_3 , 20 мл HCl , 5 мл HF , 55 мл води) або у розчині складу: 20 - 30% $CuCl_2$, 70 – 80 % H_2O з наступним освітленням проби концентрованою азотною кислотою.

2.6 Зміст звіту

1. Викласти мету роботи.
2. Викласти технологію виплавляння та рафінування алюмінієвих сплавів.
3. Подати результати дослідження у вигляді табл. 2.6.
4. Зробити висновки по роботі.

Таблиця 2.6 - Результати дослідження впливу рафінування на газонасиченість та забрудненість неметалевими включеннями алюмінієвого сплаву.

Вид обробки сплаву	Щільність вакуум - проби г/см ³	Пористість вакуум - проби, %(бал)	Кількість газових бульбашок на 1 см ² технологічної проби, шт.	Забрудненість сплаву неметалевими включеннями по пробі Добаткіна - Зинов'єва або структурній пробі. мм ² /см ²
1.				
2.				

2.7 Контрольні запитання

1. Способи дегазації розплавів.
2. В чому суть дегазації вакуумуванням?
3. При якому залишковому тиску здійснюють дегазацію вакуумуванням?
4. Механізм дегазації продувкою розплавів інертними або активними газами.
5. Скільки рафінуючого газу витрачається на тону розплаву?
6. В чому суть дегазації ультразвуковими коливаннями?
7. Механізм дегазації розплавів хлоридами.
8. Яку підготовку проходять хлориди перед введенням в розплав?
9. Яку кількість хлоридів уводять в розплави для дегазації?
10. Який із способів дегазації найбільш ефективний?
11. Методи очищення розплавів від неметалевих включень.
12. Який із методів очищення найбільш ефективний?

13. Які хлориди використовують для рафінування розплавів?

14. При яких температурах доцільно проводити дегазацію та очищення від неметалевих включень?

15. При яких температурах здійснюють рафінування алюмінієвих розплавів хлористим цинком та хлористим марганцем?

16. Як визначити швидкість спливання включень відомої густини та розмірів?

17. Які методи контролю застосовують для оцінки вмісту неметалевих включень?

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ ГАЗОНАСИЧЕНОСТІ КОЛЬОРОВИХ СПЛАВІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГАЗОМІРУ ТИПУ LGT

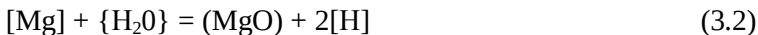
3.1 Мета роботи

Вивчити методику контролю ступеня газонасиченості рідкого металу перед випуском і навчитись визначати його придатність для отримання виливків необхідної щільності.

3.2 Загальні відомості

Під час плавки металів в неконтрольованій атмосфері мають місце три основні форми взаємодії їх з газами: хімічна взаємодія, розчинення газу в металі, відсутність будь - якої взаємодії. Найбільш небезпечним газом є волога атмосфери, з якою в розплавленому стані взаємодіють майже всі метали. Якщо метал розчиняє в собі газ, але хімічно з ним не взаємодіє, то при кристалізації, внаслідок зменшення розчинності він буде інтенсивно виділятися, утворюючи у виливках газові раковини та пори.

З вологою атмосфери алюміній та магній взаємодіють за формулами:



Нікель та мідь в зволоженій атмосфері окислюються та розчиняють в собі і власні оксиди і водень за формулами:



Основними джерелами надходження вологи в пічну атмосферу є газоподібні продукти згорання палива, не просушені флюси та шихтові матеріали, футеровка та інструмент. Якщо перед випуском із

рідкого металу не видалити розчинений водень до безпечного рівня, то це може призвести до браку виливків через втрату ними герметичності внаслідок утворення пор та погіршення інших експлуатаційних властивостей [5].

Для алюмінію безпечним рівнем газонасиченості для лиття в піщані форми є вміст газу в кількості до $0,1 \text{ см}^3$ на 100 г металу; для міді - до $1 \text{ см}^3/100 \text{ г}$.

Основними способами дегазації розплавів є: продувка інертними нейтральними, активними газами або кип'ятіння, накладання на розплав вібрації або ультразвукових коливань, витримка в вакуумі, обробка флюсами, повільне охолодження сплаву з наступним швидким нагріванням до температури випуску. Останній спосіб рафінування оснований на зменшенні розчинності газів у рідкому металі при зниженні температури та виділенні їх у молекулярному стані. Повторюючи декілька разів процес повільного охолодження металу до температури ліквідусу з наступним швидким нагріванням до необхідної технологічної температури випуску можна досягти заданої глибини дегазації і отримати герметичні виливки. Цей спосіб дегазації розплавів перед випуском досить широко застосовується у виробництві, завдяки своїй простоті та економічності.

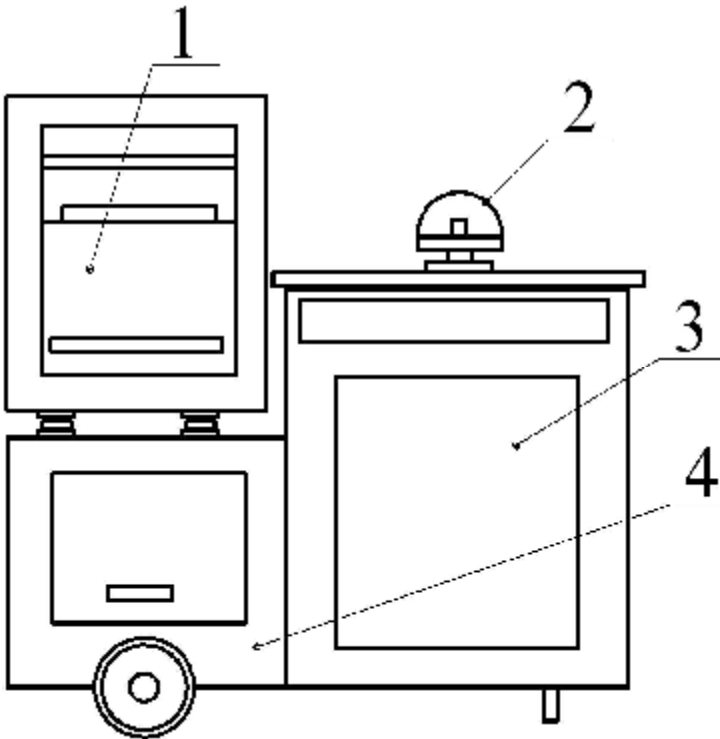
3.3 Будова та принцип роботи апарата для визначення ступеня загазованості рідкого металу

Газомір типу LGT (рис. 3.1) призначений для контролю газонасиченості рідкого металу і визначення його придатності для отримання герметичних виливків та проведення термічного аналізу металів з температурою плавлення до 1400°C .

Технічна характеристика газоміра:

- а) об'єм вакуумного бака - 27 дм^3 ;
- б) вимірювальний тиск в камері застигання:
 - для алюмінієвих сплавів - 8 кПа ;
 - для мідних сплавів (за винятком латуні) - $1,3\text{--}2,7 \text{ кПа}$;
- в) потужність вакуум - насоса - $0,37 \text{ кВт}$;
- г) кінцевий тиск, забезпечуваний насосом - $0,0266 \text{ Па}$;
- д) температурна область термокомпенсатора - $800\text{--}1200^\circ\text{C}$;
- е) температурна область корекційного містка - $300\text{--}900^\circ\text{C}$;

- ж) матеріал термоелементів – Ni - Cr - Ni;
- з) габаритні розміри - 1020х430х1000 мм;
- і) маса апарата – 160 кг.



1 - реєстраційний вузол; 2 - камера застигання металу; 3 - вакуумний бак; 4 - вузол вакуумування.

Рисунок 3.1 – Схема газоміру типу LGT

Камера застигання апарата з спеціальним притискним ковпаком на гумовій прокладці сполучена з вакуумним баком через триходовий клапан. До бака через клапан приєднаний вакуумметр.

Вакуум - насос і вирівнюючий бак з'єднані між собою за допомогою гумового шланга через триходовий клапан. Термокомпенсатор в реєстраційному вузлі з'єднаний з контактами термоелементів і термостатом компенсаційними проводами.

Вимірювання газовмісту рідкого металу полягає у визначенні об'єму газів, що виділяються застигаючим металом при зниженні тиску. Швидкість застигання і тиск в камері регулюються так, щоб газ встиг виділитись із розчину і залишився в металі у вигляді бульбашок. Термічний аналіз полягає в реєстрації за допомогою вимірювальної системи кривої охолодження застигаючого металу в графітовій формі - виливниці та у визначенні на цій основі температури ліквідусу, солідусу або інших фазових перетворень в сплаві.

Вміст газів в металі за допомогою апарата визначають наступними методами:

а) оціночним, тобто шляхом спостереження за ходом процесу застигання металу; зростання об'єму зразка металу, виникнення бульбашок та тріщин на поверхні застигаючого металу є свідченням його високої газонасиченості;

б) розрахунковим за допомогою формул:

$$P = \frac{g_t - g_p}{g_t} \times 100\% \quad (3.5)$$

$$LG = \frac{g_p}{g_t} = \frac{m_p}{(m_p - m_w) \times g_t} \quad (3.6)$$

$$G = 29300 \frac{P_K}{T_K} \times V_p - V_t + \frac{V_g}{m_p} \times \frac{P_3}{10 \times T_3} \quad (3.7)$$

де P , LG - критерії, які характеризують кількість газів, що залишилися в металі у вигляді пор та раковин (ці показники газовмісту застосовують для малозагазованих сплавів з щільною оксидною плівкою на поверхні);

G - критерій, який характеризує повну кількість газів, тобто суму газів і тих, що виділились до початку твердіння металу і тих, що залишились у вигляді пор та раковин;

γ_t та γ_p - відповідно теоретична та дійсна густина зразка дослідного металу, г/см³;

m_p та m_w - маса зразка металу зваженого в повітряному середовищі і у воді відповідно, г;

T_K - температура солідуса сплаву, К;

P_K - тиск при застиганні сплаву, МПа;

V_p - питомий об'єм зразка металу, $\text{см}^3/\text{г}$;

V_t - теоретичний питомий об'єм дослідного зразка металу, $\text{см}^3/\text{г}$;

V_g - сума ємкості вакуумного бака і камери застигання з графітовою виливницею, см^3 ;

P_3 - тиск в камері застигання після повного затвердіння зразка металу, МПа;

T_3 - температура ковпака під час заміру P_3 , К.

в) порівнянням макроструктури дослідного зразка з еталонною шкалою; для цього зразок металу або розрізається для виготовлення макрошліфа, або просвічується рентгенівськими променями.

Останній метод контролю газовмісту досить поширений у виробництві. Для алюмінієвих сплавів застосовують п'ятибальну шкалу (рис. 3.2).

Схематичне зображення поверхні шліфа					
Номер еталона (бал пористості)	1	2	3	4	5
Кількість пор на 1 см^2	до 5	до 10	до 15	до 20	до 25
Діаметр пор, мм	до 0,1 ($\approx 90\%$) до 0,2 ($\approx 10\%$)	до 0,1 ($\approx 80\%$) до 0,2 ($\approx 20\%$)	до 0,3 ($\approx 80\%$) до 0,5 ($\approx 20\%$)	до 0,5 ($\approx 70\%$) до 1,0 ($\approx 30\%$)	до 0,5 ($\approx 60\%$) до 1,0 ($\approx 30\%$) >1,0 ($\approx 10\%$)
Вміст газів (сплав АК9), $\text{см}^3/100 \text{ г}$	0,3 – 0,4	0,4 – 0,65	0,65 – 1,0	1,0 – 1,3	1,3 – 2,6
Густина сплаву (сплав АК9), $\text{г}/\text{см}^3$	2,652 – 2,669	2,652 – 2,658	2,642 – 2,645	2,632 – 2,640	2,556 – 2,589

Рисунок 3.2 - П'ятибальна шкала для оцінки пористості виливків із алюмінієвих сплавів.

Якщо зразок металу по газонасиченості не укладається в еталонну шкалу, то, підрахувавши кількість пор на 1 см^2 і визначивши їхній середній розмір, можна розрахувати вміст газів в металі, виходячи з того, що кількість пор на одиниці площі шліфа і в одиниці об'єму пов'язані формулою:

$$N_{об'єм} = (\sqrt{N_{плоч.}})^3 \quad (3.8)$$

Якщо визначена густина отриманого сплаву і розрахована його теоретична густина по закону адитивності, то по цим даним теж можна розрахувати відносну щільність зразка сплаву та вміст в ньому газів.

3.4 Інструмент, пристосування, матеріали

1. Газомір типу LGT.
2. Плавильне устаткування та набір плавильно - заливного інструмента.
3. Графітові виливниці - форми для відбору проб металу.
4. Набір слюсарного інструмента для розрізання проби металу.
5. Шліфувальний та полірувальний верстат.
6. Шихта для плавки: технічний алюміній А5 - А7 або алюмінієві сплави АД1, АМц 1.
7. Універсальний реактив для алюмінієвих сплавів загального призначення - 0,5%-ний водний розчин HF; NaOH; HNO₃
8. Терези з набором важків для зважування зразків металу в повітряному середовищі і в воді (ємністю для води може слугувати склянка).
9. Лупа для дослідження макроструктури плоских зрізів зразків металу (макрошліфів).

3.5 Техніка безпеки при виконанні роботи

1. При виконанні роботи необхідно керуватися правилами техніки безпеки, діючими на ділянці плавки та лиття ливарної зали кафедри, а також в лабораторії контролю якості виливків.

2. При роботі з рідким металом мати на собі індивідуальні захисні засоби (окуляри, рукавиці, належний одяг) і користуватись підігрітими та просушеними матеріалами і інструментом.

3. Нагляд за процесами плавки та розливання металу проводити з безпечної відстані.

4. Не торкатись виливків, кусків шихти та інших речей, не пересвідчившись, що вони холодні.

5. Скляний ковпак повинен бути сухим, а накладання та знімання його необхідно здійснювати в захисних окулярах і рукавицях.

6. Вінця ковпака та гумову прокладку з боку металевої тарілки необхідно періодично покривати вакуумним мастилом.

7. Після завершення випробування струмопровід слід намотати на захвати на передній стінці кожуха апарата.

3.6 Порядок проведення роботи

1. Увімкнути апарат в електричну мережу і встановити важіль розподільного клапана (ВРК) в положення "1", що призведе до загорання зеленої лампочки.

2. Зеленою кнопкою увімкнути вакуум - насос на 20-30 хв. холостої роботи (вимикання червоною кнопкою).

3. Розплавити метал.

4. Зеленою кнопкою увімкнути електродвигун вакуумного насоса і установити ВРК в положення "О".

5. По досягненні в вакуумному бакові від'ємного тиску (8 кПа для Al або 2 кПа для Cu) вимкнути насос червоною кнопкою; записати тиск, що показує вакуумметр.

6. Встановити порцію розплавленого металу в графітовій виливниці на тарілку камери застигання і швидко накрити її скляним ковпаком.

7. Переставити ВРК в положення "1".

8. Уважно спостерігати за поверхнею металу і після повного його заспокоєння та застигання увімкнути зеленою кнопкою електродвигун насоса і переставити ВРК в положення "О".

9. Після досягнення в вакуумному бакові тиску 8 кПа (Al) або 2 кПа (Cu) вимкнути електродвигун насоса червоною кнопкою, переставити ВРК в положення "1" і записати приріст тиску, показаний

вакуумметром.

10. Встановити важіль ВРК в положення "О", зняти ковпак, перекласти тигель з зразком металу на азбестову підкладку і охолодити його.

11. Дослідити отриманий метал і визначити одним із наведених вище методів вміст в металі газів та придатність його для отримання виливків заданої герметичності; при необхідності розрізати зразки металу і зробити мікрошліфи.

3.7 Зміст звіту

1. Викласти мету роботи.
2. Дати короткий виклад по взаємодії кольорових металів з газами та способам дегазації рідких металів перед випуском.
3. Описати основні методи контролю газонасиченості рідких металів.
4. Подати результати дослідження газовмісту заданого сплаву з наведенням необхідних розрахунків.
5. Зробити ґрунтовні висновки по роботі.

3.8 Контрольні запитання

1. Як взаємодіють Cu, Ni, Al, Mg з воднем?
2. Як взаємодіють Cu, Ni, Al, Mg з киснем?
3. Допустимий рівень газонасиченості Cu та Al у виробництві герметичних виливків.
4. Які фактори зменшують вірогідність утворення у виливках газових пор?
5. Якими способами здійснюють рафінування металу від газів?
6. Як здійснюється рафінування способом охолодження?
7. Як здійснюється контроль газонасиченості металу?
8. Скільки виділилось в алюмінії газу, якщо густина його зменшилась на $0,05 \text{ г/см}^3$?
9. Які фізичні явища лежать в основі взаємодії металів з газами?
10. Який газ є найбільш небезпечним для розплавлених металів?
11. Які існують способи дегазації розплавів, розкрийте коротко фізичний зміст кожного з способів.
12. Назвіть основні переваги і недоліки дегазації продувкою

інертними газами.

13. Назвіть основні переваги і недоліки дегазації обробкою флюсами.

14. Якими методами визначають вміст газів за допомогою газоміру типу LGT?

15. Який з методів оцінки вмісту газів найбільш точний?

16. Який з методів оцінки вмісту газів найбільш швидкий?

17. Як проводити контроль газовмісту за допомогою шкал?

Список літератури

1. Курдюмов А.В. Производство отливок из сплавов цветных металлов [Текст]: учеб. пособие / А.В. Курдюмов, М.В. Пикунов, В.М. Чурсин. - М.: Металлургия. 1986.- 416 с.
2. Курдюмов А.В. Литейное производство цветных и редких металлов [Текст] / А.В. Курдюмов, М.В. Пикунов, В.М. Чурсин. - М.: Металлургия. 1986.- 352 с.
3. Орлов Н.Д. Справочник литейщика [Текст] / Н.Д. Орлов, В.М. Чурсин. - М.: Машиностроение, 1971.- 256 с.
4. Колобнев И.Ф. Справочник литейщика [Текст] / И.Ф.Колобнев и др. - М.: Машиностроение, 1974 - 416 с.
5. Цветное литье [Текст]: справочник / Н.М. Галдин, Д.Ф.Чернега, Д.Ф.Иванчук и др.; под общ. ред. Н.М. Галдина. - М.: Машиностроение, 1989. – 528 с.