

# МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни  
**«Основи ливарної гідравліки»**  
для студентів спеціальності 136 «Металургія»  
освітньої програми «Ливарне виробництво чорних  
та кольорових металів і сплавів» та 131 «Прикладна механіка»  
освітньої програми «Обладнання та технології ливарного  
виробництва» всіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Основи ливарної гідравліки» для студентів спеціальності 136 «Металургія» освітньої програми «Ливарне виробництво чорних та кольорових металів і сплавів» та 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Обладнання та технології ливарного виробництва» всіх форм навчання / Укл.: О.Ф.Кузовов, Є.М.Парахневич, Я.А.Василевська. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023. - 27 стор.

Укладачі: О.Ф.Кузовов, доцент, канд. техн. наук  
Є.М.Парахневич, доцент, канд. техн. наук  
Я.А.Василевська, асистент

Рецензент: В.В.Наумик, професор, д-р техн. наук

Відповідальний

за випуск: В.Г.Іванов, зав. кафедри, д-р техн. наук

Затверджено  
на засіданні кафедри  
«Машини і технологія  
ливарного виробництва»

Протокол № 8  
від 31 березня 2023 р.  
Рекомендовано до видання  
НМК Інженерно-фізичного  
факультету

Протокол № 8  
від 11 квітня 2023 р.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота № 1. Вплив перегріву розплаву на критичні температури ливарного сплаву .....	5
1.1 Теоретична частина.....	5
1.2 Обладнання, прилади і матеріали .....	6
1.3 Порядок виконання роботи .....	6
1.4 Аналіз експериментальних даних.....	9
1.5 Зміст звіту .....	9
1.6 Питання для самоконтролю.....	10
Лабораторна робота № 2. Вплив температури заливки на рідинотекучість ливарного сплаву.....	11
2.1 Теоретична частина.....	11
2.2 Конструкція ливарної форми для визначення рідинотекучості.....	14
2.3 Обладнання, прилади і матеріали .....	15
2.4 Порядок виконання роботи .....	15
2.5 Зміст звіту .....	15
2.6 Питання для самоконтролю.....	15
Лабораторна робота № 3. Визначення коефіцієнту витрати ливникової системи .....	17
3.1 Теоретична частина.....	17
3.2 Теоретичне визначення величини $\mu$ .....	20
3.3 Опис експериментальної установки .....	20
3.4 Порядок проведення роботи і вказівки по техніці безпеки.....	21
3.5 Вимоги до звіту .....	22
3.6 Запитання для самоконтролю.....	22
Лабораторна робота № 4. Визначення коефіцієнту витрати ливникової системи шляхом моделювання процесу за допомогою прозорої ливарної форми .....	23
4.1 Теоретична частина.....	23
4.2 Опис установки.....	24
4.3 Порядок проведення роботи.....	24
4.4 Розрахунок коефіцієнта $\mu$ на основі отриманих експериментальних даних.....	25
4.5 Теоретичний розрахунок коефіцієнта .....	25
4.6 Аналіз отриманих результатів.....	25
4.7 Питання для самоконтролю.....	26
Література .....	27

## ВСТУП

Ливарна гідравліка – один із розділів технічної науки – теорії ливарних процесів. Її основна ціль – створення науково обґрунтованих методів розрахунку режимів заливки форм, проектування ливникових систем та заливочних пристроїв.

В основу вибору оптимальних режимів заливки ливарних форм перегрітим розплавом повинен бути покладений показник якості - відсутність дефектів у виливку, які виникають на стадії заповнення форми, тобто у рідкому та рідко-твердому стані. Указана проблема є однією з центральних проблем науки технології лиття. Розглядаючи цю проблему, можна відмітити, що вибір часу заповнення форми для кожного конкретного виливка повинен мати обґрунтування з точки зору фізичних і технологічних процесів.

Для рішення дуже складних задач процесів з багатьма перемінними за короткий проміжок часу ливарники все частіше використовують принципи, методи та засоби фундаментальних та технічних наук. Найбільш плідними являються кількісні дослідження методами подібності та розмірностей. Вони дозволяють за допомогою безрозмірних комплексів встановити внутрішні фізичні зв'язки, які характеризують досліджувані процеси, і одержати потрібні результати. На базі цих комплексів можуть бути побудовані математичні моделі, які дозволяють знайти найкращий варіант заливки ливарної форми по відношенню до прийнятого критерію оптимальності.

В методичних вказівках використані розробки кафедри «Машина та технологія ливарного виробництва» Національного університету «Запорізька політехніка». Розвиток теорії ливарних процесів, в тому числі її такого розділу, як ливарна гідравліка, сприяє підвищенню якості та зниженню вартості виливків.

Техніка безпеки при проведенні лабораторних робіт повинна враховувати такі моменти, як підготовка шихтових матеріалів при їх подрібненні, виготовлення ливарних форм, проведення плавки в плавильному агрегаті, розлив рідкого металу та поводження з провідниками електричного струму.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### ВПЛИВ ПЕРЕГРІВУ РОЗПЛАВУ НА КРИТИЧНІ ТЕМПЕРАТУРИ ЛИВАРНОГО СПЛАВУ

**Мета роботи:** вивчити теоретичні положення, пов'язані з формуванням структури і ливарними властивостями сплавів у залежності від інтервалу кристалізації; навчитися визначати критичні температури кристалізації, робити математичну обробку експериментальних даних і використовувати їх для практичного призначення.

#### 1.1 Теоретична частина

Властивості ливарного сплаву в значній мірі визначається положенням його критичних точок на діаграмі стану сплаву в період кристалізації і, в першу чергу, інтервалом між температурами ліквідусу і солідусу, так званому «ефективному інтервалі кристалізації». Інтервал кристалізації суттєво впливає на дендритну структуру сплаву. Так, для сплавів з широким інтервалом кристалізації, коли різниця складу рідкої і твердої фаз велика, дендрити швидко розгалужуються по окремим напрямкам, але внаслідок зміни складу рідини не можуть потовщуватися. Внаслідок формуються тонкостовбурні, майже голчасті і в той же час розгалужені дендрити, які вриваються в рідину, залишаючи за собою ділянки незакристалізованого рідкого металу, збільшуючи тим самим об'єм розсіяних пор.

З інтервалом кристалізації сплаву пов'язані й інші важливі ливарні властивості - рідинотекучість, схильність утворювання гарячих тріщин та внутрішніх напруг у виливках. З цієї точки зору мають перевагу сплави з вузьким інтервалом кристалізації або евтектичні.

Критичні температури кристалізації визначаються внаслідок аналізу термограм (кривих кристалізації), що отримують експериментально для кожного сплаву.

В даній лабораторній роботі використовується останній з перерахованих способів. Робота виконується за допомогою комплексної технологічної проби (рисунок 1.1), що розроблена на кафедрі «Машини та технологія ливарного виробництва» ЗНТУ.

## 1.2 Обладнання, прилади і матеріали

Плавильна індукційна піч місткістю 60 кг, потенціометр КСП-4 або ЕПП-09, термопари платино родій-платинові, ливарні форми комплексної технологічної проби, шихтові матеріали, мікрокалькулятор.

## 1.3 Порядок виконання роботи

1.3.1 Підготувати форму технологічної проби.

В 1976 р. на кафедрі «Машини та технологія ливарного виробництва» О.Ф.Кузововим була розроблена технологічна проба (рис. 1.1), що складається із циліндричного зразка 1 для вимірювання температури рідкого і твердіючого металу за допомогою платино родій-платинової термопари 3, з'єднаної з потенціометром для автоматичного запису кривої кристалізації. Циліндричний зразок служить також для одержання темплету 2 розміром  $7 \times 8 \times 15$  мм для визначення фізичної густини металу і інших досліджень. Сферична частина проби 4 служить для визначення усадкової раковини. Проба формується в стержнях із суміші на рідкому склі і скріплюється при зборці струбцинами.

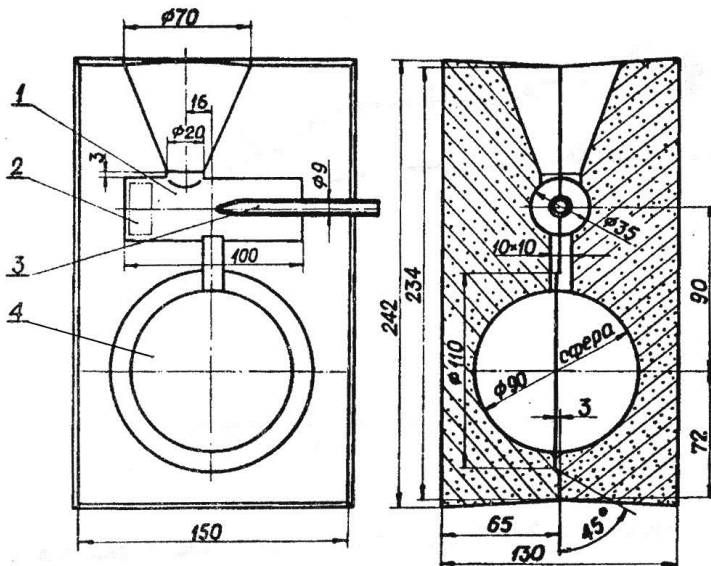


Рисунок 1.1 – Форма комплексної технологічної проби

1.3.2 Розрахувати шихту і приготувати ливарний сплав заданого складу.

1.3.3 Залити технологічну пробу, записати на автоматичному потенціометрі криву кристалізації.

1.3.4 Обробити кожну отриману криву кристалізації – визначити температури перегріву при заливці сплаву, ліквідусу, солідусу, розбити криву на етапи кристалізації і визначити тривалість етапів (рис.1.2). Швидкість руху стрічки потенціометру 0,903 мм/с.

Позначення на кривих рис.1.2:  $t_n, t_l, t_c$  - відповідно температури перегріву при заливці, ліквідусу, солідусу, °C;  $\tau_n, \tau_l, \tau_{lc}, \tau_c$  - відповідно час зняття перегріву, час кристалізації сплаву при температурі солідусу, с;  $\Sigma \tau$  - сумарний час кристалізації, с.

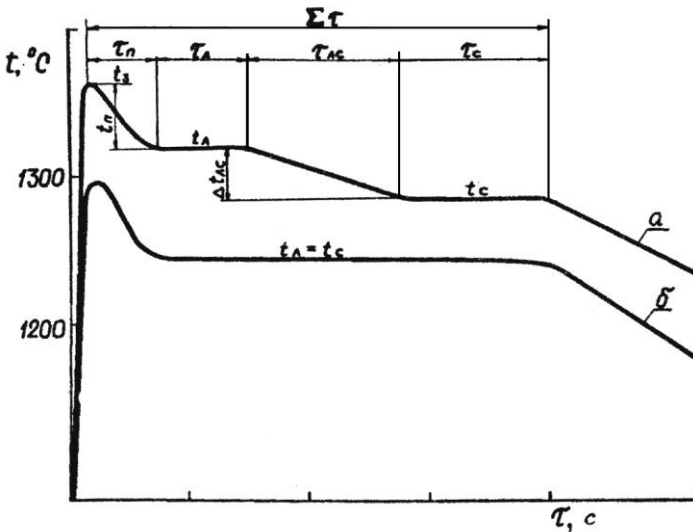


Рисунок 1.2 – Типові криві кристалізації сплавів до- і заевтектичних (а) і евтектичних (б)

1.3.5 Одержані результати записати відповідно табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Результати експерименту по визначенню критичних точок кристалізації (чавун 300X28H2)

Номер досліджу	Температура металу, °C				Час кристалізації, с				
	в формі	$t_n$	$t_l$	$t_c$	$\tau_n$	$\tau_l$	$\tau_{lc}$	$\tau_c$	$\Sigma\tau$
1	1418	106	1312	1308	26	47	33	38	144
2	1492	118	1311	1308	34	49	25	47	155
3	1395	83	1312	1308	25	42	49	35	151
4	1320	10	1310	1307	9	31	35	40	105
5	1392	80	1312	1308	26	37	27	58	148
6	1460	143	1317	1309	34	42	38	48	162
7	1361	41	1312	1308	16	44	36	45	141
8	1494	184	1312	1308	46	52	24	39	161

1.3.6 Провести математичну обробку результатів експерименту. Установити функціональні зв'язки між тривалістю етапів кристалізації і температурою перегріву над ліквідусом. Побудувати графічні залежності.

Математична обробка результатів експерименту зводиться до визначення коефіцієнту кореляції  $r$  і виведенню рівняння першого порядку:

$$y = a + bx, \quad (1.1)$$

де  $y$  - параметр, що вивчається ( $\tau_n, \tau_l, \tau_{lc}, \tau_c, \Sigma\tau$ );

$a, b$  - коефіцієнти;

$x$  - незалежна перемінна.

Для розрахунку коефіцієнта кореляції  $r$  і коефіцієнтів  $a, b$  для кожного параметру, що вивчається, використовуємо розрахункову таблицю 1.2.

Коефіцієнт кореляції

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \cdot \sum (y - \bar{y})^2}}, \quad (1.2)$$

де  $\bar{x}, \bar{y}$  - відповідно середньоарифметичні значення  $x$  та  $y$ .

Таблиця 1.2 – Розрахункова таблиця математичної обробки результатів експерименту

Номер досліджу	$x$ ( $t_n$ )	$y$ ( $\tau$ )	$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$	$(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})$
1							
2							
·							
·							
8							
N=8	$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{N}$	$\bar{y} = \frac{\Sigma y}{N}$			$\Sigma(x - \bar{x})^2$	$\Sigma(y - \bar{y})^2$	$\Sigma(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})$

Коефіцієнт рівняння

$$b = r \cdot \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{\sum (x - \bar{x})^2}}, \quad (1.3)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (1.4)$$

1.3.7 Одержані експериментальні дані оформити у вигляді графічних залежностей. Для цього нанести експериментальні точки і провести лінію згідно з одержаним рівнянням для кожного параметру, що вивчається.

#### 1.4 Аналіз експериментальних даних

Дати коментарій зв'язку часу різних періодів твердіння відливків ( $\tau_n, \tau_l, \tau_{lc}, \tau_c, \Sigma\tau$ ) з величиною  $t_n$ .

#### 1.5 Зміст звіту

1.5.1 Короткий опис теоретичної частини.

1.5.2 Методика визначення критичних температур кристалізації.  
Рисунок технологічної проби.

1.5.3 Рисунок кривої кристалізації з позначенням основних точок та етапів кристалізації.

1.5.4 Таблиця результатів експерименту.

1.5.5 Таблиці математичної обробки результатів експерименту.

1.5.6 Графіки залежностей  $(\tau_n, \tau_l, \tau_{лс}, \tau_c, \Sigma\tau) = f(t_n)$ .

1.5.7 Висновки.

### **1.6 Питання для самоконтролю**

1.6.1 Що називають ефективним інтервалом кристалізації сплаву?

1.6.2 Конструкція технологічної проби для даної роботи.

1.6.3 Де і як вимірюють температуру металу?

1.6.4 Що називають кривою кристалізації, як її одержують і розшифровують?

1.6.5 На що вказують горизонтальні відрізки на кривій кристалізації?

1.6.6 Який зміст має коефіцієнт кореляції?

1.6.7 Як впливає температура перегріву рідкого металу на різні періоди твердіння відливка?

1.6.8 Основні правила техніки безпеки при виконанні роботи.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЛИВКИ НА РІДИНОТЕКУЧІСТЬ ЛИВАРНОГО СПЛАВУ

**Мета роботи:** з'ясувати діючі методи визначення рідинотекучості, термінологію питання, що вивчається, вплив параметрів технології литва і властивостей сплаву на рідинотекучість; навчитися проводити експеримент по вивченню рідинотекучості, аналізувати одержані експериментальні дані, регулювати рідинотекучість.

#### 2.1 Теоретична частина

Рідинотекучість - це ливарна властивість сплаву, що характеризує схильність рідкого сплаву текти в ливарній формі. Рідинотекучість являється однією з головних складових частин заповнювання ливарної форми і відтворювання точного відбитку ливарної порожнини.

В той же час заповнення рідким сплавом порожнини ливарної форми - це складний процес, який можна розділити на три групи факторів. До першої групи відносять такі властивості сплаву: поверхневий натяг, в'язкість, теплоємність, теплоту та інтервал кристалізації та ін. Другу групу факторів становлять властивості ливарної форми: теплопровідність, газопроникність, шорсткість поверхні та ін. Третя група факторів – це умови заливання форми: метало статичний напір, додатковий тиск на розплав, температура заливки та ін.

Можуть визначатися такі види рідинотекучості:

Нульова рідинотекучість настає тоді, коли метал чи сплав перестав текти, перебуваючи під дією тільки сил гравітації. Для сплавів нульова рідинотекучість настає в інтервалі ліквідус-солідус в момент, коли в'язкість різко зростає через утворення деякої кількості твердої фази. Лінія температури нульової рідинотекучості розміщена між лініями температур ліквідус і солідус.

Дійсна рідинотекучість – рідинотекучість, що вимірюється за однакової величини перегріву над температурою нульової рідинотекучості. Дійсна рідинотекучість дає можливість визначити склад сплаву із даної системи сплавів з оптимальною рідинотекучістю за мінімальної температури.

Умовно-дійсна рідинотекучість – рідинотекучість, що вимірю-

ється за однакової величини перегріву над температурою ліквідусу. Вона не потребує визначення нульової рідинотекучості.

Практична рідинотекучість – рідинотекучість, що вимірюється за однакової температури заливки. Вона може дати досить суттєву помилку при визначенні рідинотекучості перегріву металу над ліквідусом і температурою нульової рідинотекучості.

На рисунку 2.1 показані зміни дійсної та практичної рідинотекучості вуглецевої сталі.

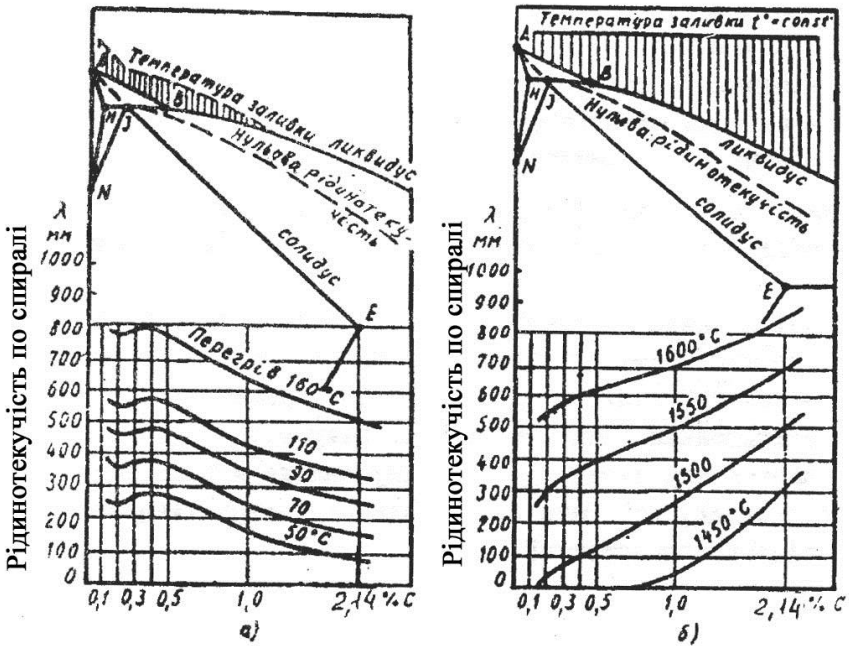


Рисунок 2.1 – Вплив вуглецю і температури на дійсну (а) і практичну (б) рідинотекучість

Рідинотекучість вимірюють шляхом заливання сплаву в спеціальні ливарні форми – проби, для яких є властивим високий гідравлічний опір. Головне в будові цих форм – створення постійних умов заливання сплаву – гідростатичного напору розплаву в формі, властивостей форми, розмірів і конфігурації порожнини ливарної форми.

Мірою рідинотекучості є довжина шляху, який проходить рід-

кий метал по каналу технологічної проби.

Теоретична рідинотекучість

$$\lambda = \frac{F \cdot v \cdot \gamma \cdot \left[ c \cdot (t_p - t_0) + L \right]}{\alpha \cdot P \cdot (t_m - t_\phi)}, \quad (2.1)$$

де  $F$  - площа поперечного перетину каналу проби, м<sup>2</sup>;

$v$  - середня швидкість руху металу по каналу за час заливки, м/г;

$\gamma$  - густина рідкого металу, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  - питома теплоємність рідкого металу, кДж/(кг·°C);

$t_p$  - температура заливки рідкого металу, °C;

$t_0$  - температура нульової рідинотекучості, °C;

$L$  - питома теплота кристалізації, кДж/кг;

$\alpha$  - середній коефіцієнт тепловіддачі з поверхні металу, кДж/(м<sup>2</sup>·г·°C);

$P$  - периметр поперечного перетину каналу проби, м;

$t_m$  - середня температура металу за період заливки, °C;

$t_\phi$  - початкова температура ливарної форми, °C.

Таким чином, рідинотекучість можна посилити:

- збільшенням площі перетину каналу, по якому проходить метал;
- збільшенням лінійної швидкості руху металу по каналу (відомо, що швидкість функціонально пов'язана з феростатичним напором – законом Торічелі і законом безперервності потоку);
- збільшенням температури перегріву металу;
- зменшенням периметру перетину каналу в разі постійної його площі (наприклад, периметр кола менше периметру квадрату);
- підігрівом ливарної форми.

При інших умовах кращу рідинотекучість мають сплави з більш високими значеннями густини, питомої теплоємності та теплоти кристалізації, а також з більш низьким коефіцієнтом тепловіддачі з поверхні металу.

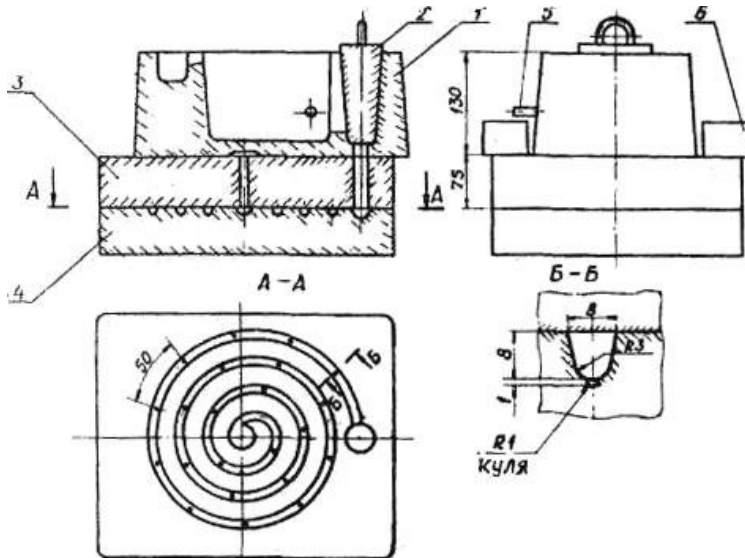
Рідинотекучість в значній мірі залежить від інтервалу кристалізації – сплави евтектичні мають кращу умовно-істину рідинотекучість, ніж не евтектичні, що пояснюється різницею в характері твердіння.

Збільшення в'язкості і поверхневого натягу сплаву зменшує рідинотекучість. Сплави, що мають вузький інтервал кристалізації мають і більшу рідинотекучість, ніж сплави з широким інтервалом кристалізації.

На рідинотекучість впливають такі технологічні фактори, як шорсткість стінок ливарної форми. Інтенсивність газовиділення під час заливки рідкого металу, інтенсивність поверхневого окислення металу, конструкції форми і ливникової системи, умови заливки металу у форму.

## 2.2 Конструкція ливарної форми для визначення рідинотекучості

В роботі використана стандартна ливарна форма технологічної спіральної проби з каналом постійного перетину площею  $50 \text{ мм}^2$  (рис.2.2).



- 1 – ливникова чаша; 2 – пробка; 3 – верхня напівформа;  
4 – нижня напівформа; 5 – термопара; 6 – вантаж

Рисунок 2.2 – Ливарна форма спіральної проби у зібраному вигляді

Особливість ливарної форми – наявність спеціальної ливникової чаші. Така конструкція чаші дозволяє заливати форму за умовами постійного феростатичного напору. Знаходження термопари безпосередньо в метало приймачеві чаші дозволяє вимірювати температуру рідкого металу перед надходженням його в канал проби, що значно збільшує точність експерименту.

### **2.3 Обладнання, прилади і матеріали**

Плавильна індукційна піч місткістю 30 кг; автоматичний потенціометр КСП-4; термопари ПП або ХА; лінійка вимірювальна; шихта алюмінієвого сплаву; ливарні форми спіральної проби.

### **2.4 Порядок виконання роботи**

2.4.1 Розрахувати шихту і підготувати шихтові матеріали згідно з вимогами технології плавки.

2.4.2 Підготувати чотири форми технологічної проби.

2.4.3 Виплавити сплав заданого складу у відповідності з вимогами плавки. Вимірювати температуру металу в печі термопарою занурення.

2.4.4 Залити форми при різних температурах перегріву над ліквідусом: 20, 50, 100 °С.

2.4.5 Вибити форми, охолодити виливки, виміряти довжину спіралей.

2.4.6 Побудувати графічну залежність рідинотекучості від температури перегріву над ліквідусом.

### **2.5 Зміст звіту**

Короткий опис теоретичної частини; зробити рисунок 2.1 і дати пояснення впливу вуглецю і температури перегріву металу на рідинотекучість; ескіз технологічної проби – рисунок 2.2; результати експерименту; висновки до виконаної роботи.

### **2.6 Питання для самоконтролю**

2.6.1 Суть методики визначення рідинотекучості.

2.6.2 В яких одиницях вимірюється рідинотекучість?

2.6.3 Яким явище характеризується температура нульової рідинотекучості?

2.6.4 Що називається дійсною, умовно-дійсною та практичною рідинотекучості?

2.6.5 Як впливає інтервал кристалізації на рідинотекучість?

2.6.6 Які основні технологічні фактори найбільш суттєво впливають на рідинотекучість?

2.6.7 Як вимірюють температуру рідкого металу?

2.6.8 Конструкція технологічної проби для вимірювання рідинотекучості. Її позитивні якості.

2.6.9 Заходи по підвищенню рідинотекучості.

2.6.10 На які практичні показники якості вилівка впливає рідинотекучість сплаву?

2.6.11 За результатами роботи пояснити вплив температури перегріву сплаву на його рідинотекучість.

2.6.12 Назвати правила техніки безпеки в процесі виконання даної роботи.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

### ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ВИТРАТИ ЛИВНИКОВОЇ СИСТЕМИ

**Мета роботи:** отримання знань розрахункового і експериментального методів визначення коефіцієнта витрати ливникових систем і формування навичок у проведенні експериментів, а також вміння застосовувати отримані результати при розрахунках ливникових систем.

#### 3.1 Теоретична частина

Розрахунок площі поперечного перетину самого вузького місця ливникової системи проводиться за рівнянням

$$F_{\text{вуз}} = \frac{10000 \cdot M}{\rho \cdot \tau \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}}, \quad (3.1)$$

де  $F_{\text{вуз}}$  - площа поперечного перетину ливників для ливникової системи, що звужується, або для стояка ливникової системи, що розширюється, см<sup>2</sup>;

$M$  - сумарна маса рідкого металу, що заливається у форму, кг;

$\rho$  - густина рідкого металу, кг/м<sup>3</sup>;

$\tau$  - тривалість часу заповнення форми металом, с;

$\mu$  - коефіцієнт витрати ливникової системи – безрозмірна величина;

$g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$H_p$  - розрахунковий гідростатичний напір, м.

Теоретична швидкість потоку металу на виході із ливників за умови відсутності витрат на тертя базується на формулі Торічелі

$$V_m = \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}. \quad (3.2)$$

За наявністю витрат на тертя дійсна швидкість складає

$$V_d = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}. \quad (3.3)$$

Коефіцієнт витрат ливникової системи складає відношення дійсної до теоретичної швидкості потоку

$$\mu = \frac{V_{\partial}}{V_m}. \quad (3.4)$$

Коефіцієнт витрати, значення якого лежать у межах  $0 < \mu < 1$ , характеризує сумарні гідравлічні втрати напору при русі розплаву по каналах ливникової системи і в формоутворюючій порожнині ливарної форми. Чим складніше за конфігурацією ливникова система і чим більше вона має заворотів і різних місць, що чинять опір, тим менше величина коефіцієнта витрати і навпаки, чим простіше ливникова система, тим більше величина  $\mu$ .

До факторів, що зменшують значення  $\mu$ , відносяться: підвищення в'язкості розплаву, шорсткість стінок ливникових каналів, протитиск повітря, газів і водяної пари у формоутворюючій порожнині ливарної форми. Наявність у формі відкритих ливарних надливків і випорів, висока газопроникненість і в той же час низька газоутворююча здатність формувальних і стержневих сумішей, а також висока температура заливки сплаву сприяють збільшенню коефіцієнта  $\mu$ .

Коефіцієнт витрати, який має важливе значення у розрахунках ливникових систем, може визначатися розрахунковим і експериментальним методами. Для розрахункового визначення коефіцієнта витрати для ливникової системи, яка звужується, використовується рівняння

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum C_i}}. \quad (3.5)$$

У таблиці 3.1 приведені середні значення коефіцієнтів витрат  $C_i$  для основних елементів ливникових систем.

Значення  $C_i$  визначаються за допомогою даних таблиці 3.1 із рівнянь:

$$\begin{aligned} C_1 &= (K_1 + K_2) \cdot (F_{лив}/F_{см})^2 \\ C_2 &= (K_3 + K_4) \cdot (F_{лив}/F_{шл})^2 \\ C_3 &= C_5 \\ C_4 &= C_6 \end{aligned} \quad (3.6)$$

Таблиця 3.1 – Середні значення коефіцієнтів витрат  $K_i$ 

$C_i$	Елементи системи і характер опору	$K_i$	Примітки
	Вхід у стояк	$K_1 = 0,1$	Скруглений перехід між чашею і стояком
$C_1$		$K_1 = 0,7$	Перехід між чашею і стояком не скруглений
	Тертя у стояку	$K_2 = 0,03 \cdot l / d$	
	Поворот із стояка в шлакоуловлювач	$K_3 = 2$	Для одностороннього шлакоуловлювача
$C_2$		$K_3 = 4$	
	Тертя у шлакоуловлювачі	$K_4 = 0,05 \cdot l / d$	
$C_3$	Поворот із шлакоуловлювача в ливник	$K_5 = 1,5 \cdot n$	$n$ - кількість ливників
$C_4$	Тертя у ливнику	$K_6 = 0,05 \cdot l / d$	

де  $F_{ст}, F_{шл}, F_{лив}$  - площі поперечних перетинів стояка, шлакоуловлювача і ливників, відповідно, м<sup>2</sup>;

$l$  - довжина відповідного каналу, м;

$d$  - гідравлічний діаметр відповідного каналу, м, що визначається із формули

$$d = 4F / P, \quad (3.7)$$

де  $F$  - площа поперечного перетину відповідного каналу, м<sup>2</sup>;

$P$  - периметр перетину відповідного каналу, м.

Коефіцієнт витрати може визначатися експериментальним методом. Метод базується на рівнянні (3.4). Якщо чисельник і знаменник цього рівняння помножити на  $(F_{лив} \cdot \tau \cdot \rho)$ , то отримаємо формулу

$$\mu = \frac{V_d \cdot F_{лив} \cdot \tau \cdot \rho}{V_m \cdot F_{лив} \cdot \tau \cdot \rho} = \frac{M_d}{M_m}, \quad (3.8)$$

де  $\tau$  - відрізок часу, с;

$\rho$  - густина рідкого розплаву (таблиця 3.2), кг/м<sup>3</sup>;

$M_{\partial}$  - дійсна маса розплаву, що витікає із ливника за відрізок часу  $\tau$ , кг;

$M_m$  - теоретична маса розплаву, що витікає із ливника за той же відрізок часу  $\tau$  за умови відсутності гідравлічних витрат ( $\mu = 1$ ), і визначається по формулах (3.2) і (3.8).

Таблиця 3.2 – Густина розплавів при температурі близькій до ліквідусу, кг/м<sup>3</sup>

Алюміній технічно-чистий	Силумін евтектичний	Залізо технічно-чисте	Чавун сірий
2380	2300	6900	6800

Експериментальний метод дозволяє визначити вплив на величину  $\mu$  типа сплаву, що заливають, його складу і температури заливки, введення додаткових елементів ливникових систем. Наприклад, встановлення фільтруючої сітки із склотканини знизило значення  $\mu$  з 0,32 до 0,50. Це означає, що доля гідравлічного опору складає 0,12 одиниць.

### 3.2 Теоретичне визначення величини $\mu$

Розрахунки проводяться за формулами (3.5), (3.6), (3.7) і даними таблиці 3.1. У розрахунках використовувати такі дійсні значення: для стояка  $F_{ct} = 531 \text{ мм}^2$ , довжина  $l_{ct} = 105 \text{ мм}$ , периметр  $P_{ct} = 83 \text{ мм}$ ; для шлакоуловлювача  $F_{шл} = 454 \text{ мм}^2$ , довжина  $l_{шл} = 170 \text{ мм}$ , периметр  $P_{шл} = 84 \text{ мм}$ ; для ливника  $F_{лив} = 375 \text{ мм}^2$ , довжина  $l_{лив} = 125 \text{ мм}$ , периметр  $P_{лив} = 76 \text{ мм}$ .

### 3.3 Опис експериментальної установки

На рисунку 3.1 показана схема установки. Ливарна форма складається із ливникової чаші 2 з пробкою 1, стояка 4, шлакоуловлювача 3 і ливника 6.

Після заповнення ливникової чаші розплавом пробку треба підняти догори, в результаті чого розплав заповнює усі елементи ливникової системи і виливається із ливника у виливницю 7. Після того, як

режим течії стабілізується, треба зберігати постійність рівня металу в ливниковій чаші шляхом доливання в неї рідкого металу із ковша і включити секундомір. Таким чином, у виливниці 7 знаходиться дійсна маса розплаву  $M_{\delta}$ , що вилілась із ливникової системи за відрізок часу  $\tau$ . Масу  $M_{\delta}$  визначають шляхом зважування.

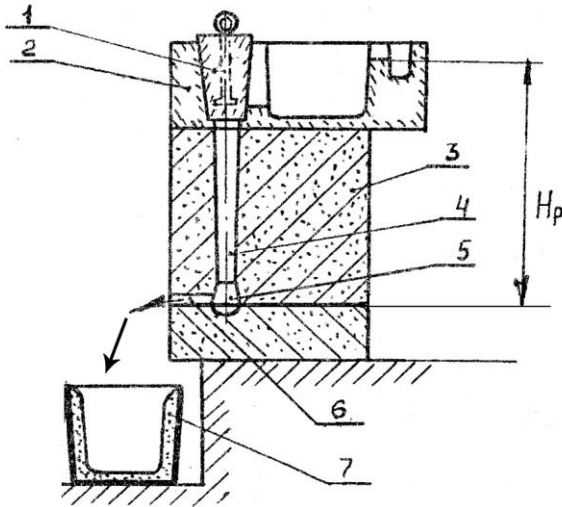


Рисунок 3.1 – Схема установки для експериментального визначення коефіцієнта втрати ливникової системи

### 3.4 Порядок проведення роботи і вказівки по техніці безпеки

3.4.1 Виготовити ливарну форму ливникової системи.

3.4.2 Підготувати експериментальну установку під заливку.

3.4.3 Виплавити в печі алюмінієвий сплав, провести його рафінування і вимірювання температури рідкого сплаву в печі і розливному ковші.

Забезпечити при цьому безпечний порядок проведення плавки. Шихтові матеріали, флюс, ківш та інструмент повинні бути перед використанням просушені і прожарені.

3.4.4 Залити метал у чашу, підняти пробку і постійно виливати метал із ковша в чашу так, щоб рівень його у чаші був стабільним.

Під час заливки студентам треба знаходитись на безпечній відстані – близько 3 м від установки. Площа навколо установки повинна бути сухою.

3.4.5 Зважити масу металу, що знаходився у виливниці 7., після його охолодження. Таким чином визначається величина  $M_{\delta}$ .

3.4.6 Визначення теоретичної маси розплаву  $M_m$ , що спроможна витікати із ливника за цей же відрізок часу, за умови відсутності гідравлічних витрат, проводиться за формулою

$$M_m = F_{лив} \cdot \tau \cdot \rho \cdot \sqrt{2g \cdot H_p}, \quad (3.9)$$

де  $H_p = 0,23$  м – розрахунковий гідростатичний напір експериментальної установки, м.

3.4.7 Визначити експериментальне значення  $\mu$  за формулою (3.8).

3.4.8 Порівняти значення величин  $\mu$ , що отримані розрахунковим і експериментальним методами, зробити висновок по роботі.

### 3.5 Вимоги до звіту

Звіт по роботі повинен вміщувати опис методик визначення коефіцієнта витрати розрахунковим і експериментальним методами, результат розрахунків і експериментальні дані, ескізи експериментальної установки і ливникової системи, висновки по роботі.

### 3.6 Запитання для самоконтролю

3.6.1 Що називається коефіцієнтом витрати ливникової системи, яка його фізична суть?

3.6.2 Яке значення має величина коефіцієнта  $\mu$  у розрахунках ливникової системи?

3.6.3 Які фактори виявляють вплив на величину коефіцієнта  $\mu$ ?

3.6.4 Розрахунковий метод визначення коефіцієнта  $\mu$ .

3.6.5 Експериментальний метод визначення коефіцієнта  $\mu$ .

3.6.6 Який виявляє вплив на величину коефіцієнта  $\mu$  складність конфігурації ливникової системи?

3.6.7 Який виявляють вплив на величину коефіцієнта  $\mu$  наявність і відсутність округлень в переходах між елементами ливникової системи?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ВИТРАТИ ЛИВНИКОВОЇ СИСТЕМИ ШЛЯХОМ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОЗОРОЇ ЛИВАРНОЇ ФОРМИ

**Мета роботи:** візуальне спостереження характеру руху рідини (води – прозорої або підфарбованої) в каналах ливникової системи, а також експериментальне визначення об'єму і часу витікання рідини, що необхідні для розрахунку коефіцієнту витрати ливникової системи.

#### 4.1 Теоретична частина

Основні засади теорії течії рідини в каналах ливникової системи і розрахункові формули викладені в попередній лабораторній роботі.

Основна формула, на якій базуються розрахунки ливникової системи – формула Торічеллі

$$V = \varphi \cdot \sqrt{2g \cdot H_p}, \quad (4.1)$$

де  $V$  - швидкість витікання рідкого металу або будь-якої іншої рідини через круглий отвір у дні посудини, м/с;

$\varphi$  - коефіцієнт швидкості, який враховує витрати напору на тертя об краї отвору. Незалежно від істоти рідини він має величину, яка дорівнює приблизно 0,97;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$H_p$  - розрахунковий гідростатичний напір, м.

Найважливішим заключенням, яке ґрунтується на цьому рівнянні, являється те, що швидкість витікання не залежить від істоти рідини. Таким чином, гідравлічні процеси, які протікають у каналах ливникової системи можна вивчати, а, головне, спостерігати за допомогою прозорої форми, використовуючи воду.

## 4.2 Опис установки

Прозора форма ливникової системи являється копією у натуральну величину ливникової системи, яка використовується у попередній лабораторній роботі і складається з тих же самих елементів: ливникової чаші, пробки, стояка, шлакоуловлювача і ливника.

Слід звернути увагу на конструкцію пробки, яка імітує установлений у ливарну форму піщаний стрижень, що самопривантажується рідким металом. Пробка порожниста, тобто її середня густина значно нижче густини рідини, однак пробка не спливає, тому що на неї не діє підйомна сила рідини.

Основні розміри ливникової системи:

- площа поперечного перетину стояка  $F_{ст} = 5,31 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ;

- площа перетину шлакоуловлювача  $F_{шл} = 4,54 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ;

- площа перетину ливника  $F_{лив} = 3,79 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ;

тобто це система, яка звужується -  $F_{лив} : F_{шл} : F_{ст} = 1,0 : 1,2 : 1,4$ ;

- висота гідростатичного напору  $H_p = 0,23 \text{ м}$ ;

- маса води у ливниковій чаші  $M_0 = 2,324 \text{ кг}$ .

## 4.3 Порядок проведення роботи

Встановити прозору ливарну форму на горизонтальну площадку. Під ливником розмістити приймальну ємкість для води. Закрити пробкою вихідний отвір із чаші. Наповнити чашу водою до верхнього рівня зливної перебірки.

Підняти догори пробку із отвору, водночас з цим включити секундомір. Виключити секундомір після витікання рідини із стояка. Записати отримане значення часу витікання води -  $\tau$ . Експеримент повторити не менше трьох разів, водночас треба спостерігати характер руху рідини в каналах ливникової системи.

#### 4.4 Розрахунок коефіцієнта $\mu$ на основі отриманих експериментальних даних

Із відомої формули

$$F_{лив} = \frac{M_{\partial}}{\rho \cdot \tau \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}}, \quad (4.2)$$

знайдемо величину  $\mu$  шляхом підстановки у формулу отриманого значення  $\tau$  - (секунди),  $F_{лив}$  - (м<sup>2</sup>),  $\rho$  - (кг/м<sup>3</sup>),  $g$  - (м/с<sup>2</sup>),  $H_p$  - (м).

#### 4.5 Теоретичний розрахунок коефіцієнта

Цей розрахунок виконаємо за допомогою формули і табличних значень її складових із попередньої лабораторної роботи:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \Sigma C_i}}, \quad (4.3)$$

де  $C_1 = (K_1 + K_2) \cdot (F_{лив} / F_{ст})^2$

$$K_1 = 0,1$$

$$K_2 = 0 \text{ (відсутність тертя у стояку)}$$

$$C_2 = (K_3 + K_4) \cdot (F_{лив} / F_{шл})^2$$

$$K_3 = 2$$

$$K_4 = 0 \text{ (відсутність тертя у шлаковловлювачі)}$$

$$C_3 = K_5 = 1,5$$

$$C_4 = K_6 = 0 \text{ (відсутність тертя у ливнику).}$$

#### 4.6 Аналіз отриманих результатів

Значення коефіцієнта витрат ливникової системи, які були отримані різними методами зводимо у таблицю 4.1.

Зробити висновок по отриманих результатах, порівняти їх з літературними даними, що приводять значення коефіцієнта  $\mu$ .

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнта  $\mu$ 

Метод отримання результату	$\mu$
1 Експеримент із заливкою алюмінієвого розплаву у піщану форму (попередня лабораторна робота).	
2 Експеримент з заливкою води у прозору форму.	
3 Розрахунковий – з попередньої роботи.	
4 Розрахунковий з даної роботи.	

#### 4.7 Питання для самоконтролю

- 4.7.1 Що таке моделювання процесу лиття?
- 4.7.2 На якій формулі базуються розрахунки ливникової системи?
- 4.7.3 Що враховує коефіцієнт швидкості  $\varphi$ ?
- 4.7.4 Конструкція прозорої форми.
- 4.7.5 Що визначає величина коефіцієнту  $\mu$ ?

## ЛІТЕРАТУРА

- 1 Ливарна гідравліка: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / В.М. Дробязко, А.М. Фесенко, Р.В. Лютий, М.А. Фесенко. – Краматорськ: ДДМА, 2010. – 108 с.
- 2 Гідравліка: навчальний посібник / Л.В. Возняк, П.Р. Гімер, М.І. Мердух, О.В. Паневник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. — 327 с.
- 3 Лисенко Т. В. Теоретичні основи формування виливків : навч. посіб. для студентів вищ. техн. навч. закл., які навчаються за спец. "Ливарне виробництво чорних та кольорових металів і сплавів" та "Обладнання та технології ливарного виробництва" / Т. В. Лисенко [та ін.]; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : НТУ "ХП", 2014. – 191 с.
- 4 Практикум з теорії ливарних сплавів та процесів : навч. посіб. / [Бялік Г. А., Наумик В. В., Цивірко Е. І. та ін.]. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2013. – 98 с.
- 5 Ветишка А.И. и др. Теоретические основы литейной технологии. Киев: Вища школа, 1981. – 320 с.