

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни

«Теорія формування виливків»

для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка»
освітньої програми «Обладнання та технології ливарного
виробництва» та 136 «Металургія» освітньої програми

«Ливарне виробництво чорних та кольорових
металів і сплавів» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання

2023

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Теорія формування виливків» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Обладнання та технології ливарного виробництва» та 136 «Металургія» освітньої програми «Ливарне виробництво чорних та кольорових металів і сплавів» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання / Укл.: В.В.Наумик, О.Ф.Кузовов, Є.М. Парахневич, Я.А.Василевська – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023. - 36 стор.

Укладачі: В.В.Наумик, професор, д-р техн. наук
О.Ф.Кузовов, доцент, канд. техн. наук
Є.М.Парахневич, доцент, канд. техн. наук
Я.А.Василевська, зав. навч. лабораторії

Рецензент: В.В.Кудін, доцент, канд. техн. наук

Відповідальний

за випуск: В.Г.Іванов, доцент, 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.....	5
1 Лабораторна робота № 1. Визначення критичних температур кристалізації та розрахунок константи твердіння ливарного сплаву.....	6
1.1 Теоретична частина.....	6
1.2 Обладнання, прилади і матеріали.....	7
1.3 Порядок виконання роботи.....	8
1.4 Аналіз експериментальних даних.....	11
1.5 Зміст звіту.....	11
1.6 Питання для самоконтролю.....	11
2 Лабораторна робота № 2. Вплив температури заливки на рідинотекучість ливарного сплаву.....	12
2.1 Теоретична частина.....	12
2.2 Конструкція ливарної форми для визначення рідинотекучості.....	15
2.3 Обладнання, прилади і матеріали.....	16
2.4 Порядок виконання роботи.....	16
2.5 Зміст звіту.....	16
2.6 Питання для самоконтролю.....	16
3 Лабораторна робота № 3. Вплив температури заливки на об'єм усадкових раковин.....	18
3.1 Теоретична частина.....	18
3.2 Обладнання, прилади і матеріали.....	20
3.3 Порядок виконання роботи.....	20
3.4 Зміст звіту.....	24
3.5 Питання для самоконтролю.....	24
4 Лабораторна робота № 4. Вплив умов охолодження на величину залишкової напруги у виливках.....	25
4.1 Теоретична частина.....	25
4.2 Конструкція технологічної проби.....	26
4.3 Обладнання, прилади і матеріали.....	28
4.4 Порядок виконання роботи.....	28
4.5 Зміст звіту.....	29
4.6 Питання для самоконтролю.....	29
5 Лабораторна робота № 5. Визначення коефіцієнту витрати ливникової системи шляхом моделювання процесу за допомогою	

прозорої ливарної форми	30
5.1 Теоретична частина.....	30
5.2 Опис установки.....	32
5.3 Порядок проведення роботи.....	34
5.4 Розрахунок коефіцієнта μ на основі отриманих експериментальних даних.....	34
5.5 Теоретичний розрахунок коефіцієнта	34
5.6 Зміст звіту.....	35
5.7 Питання для самоконтролю.....	35
Література.....	36

ВСТУП

За тривалий період свого розвитку ливарне діло поступово переросло в ливарне виробництво, а ливарне мистецтво та ремесло - в науку про ливарне виробництво. Створення теоретичних основ ливарного виробництва спричинилося вимогами практики, швидким ростом об'єму випуску виливків та удосконалюванням методів їх виготовлення на базі широкого використання фундаментальних та точних наук.

При розгляді теорії ливарних процесів треба враховувати, що у виробництві, як правило, інженер мав справу з нестационарними процесами та невривноваженими системами. Поглиблення і розвиток уяв фундаментальних наук повинні бути систематизовані в єдиній логічній ланцюг, який і зробить таким чином закономірний характер цілісності науки.

Як і всяка теоретична дисципліна, що формує науково-технічні закони матеріального виробництва, теорія ливарних процесів та формування виливків повинна сприяти науково обґрунтованому призначення параметрів конкретних технологічних процесів і прогнозуванню результатів цих процесів.

В методичних вказівках використані розробки кафедри «Машина та технологія ливарного виробництва» Національного університету «Запорізька політехніка». Розвиток теорії ливарних процесів та формування виливків сприяє підвищенню якості та зниженню їх вартості.

Техніка безпеки при проведенні лабораторних робіт повинна враховувати такі моменти, як підготовка шихтових матеріалів при їх подрібнюванні, виготовлення ливарних форм, проведення плавки в плавильному агрегаті, розлив рідкого металу, вибивку виливків з форми, приготування зразків для вивчення властивостей металу, поводження з провідниками електричного струму.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ТЕМПЕРАТУР КРИСТАЛІЗАЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК КОНСТАНТИ ТВЕРДІННЯ 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 врізаються 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.

Швидкість кристалізації або швидкість потовщування стінки відливка в першому наближенні підпорядковується закону «квадратного кореня» і характеризується константою твердіння:

$$x = K \cdot \sqrt{\tau} - K_n \cdot t_n, \quad (1.1)$$

де x – товщина затверділого шару, мм за час $\Sigma \tau$, с;

K – константа твердіння, $\text{мм/с}^{0.5}$;

K_n – коефіцієнт, що враховує вплив перегріву при заливці, мм/град ;

t_n – температура перегріву на ліквідусом, $^{\circ}\text{C}$.

По даним Б.Б.Гуляєва для виливків із вуглецевих сталей, що твердіють у піщаних формах, $K = 1,3 \text{ см/хв}^{0.5} = 1,68 \text{ мм/с}^{0.5}$; $K_n = 0,02 \dots 0,03 \text{ мм/град}$.

Швидкість росту твердого шару, а отже і константа твердіння, можуть визначатися різними методами: виливанням рідкого залишку металу, безпосереднього фіксування фронту кристалізації за допомогою термопар і багатокрапкових записуючих вторинних приладів, а також за часом повного твердіння відливка. В даній лабораторній роботі використовується останній з перерахованих. Робота виконується за допомогою комплексної технологічної проби (рисунок 1.1), що розроблена на кафедрі «Машини та технологія ливарного виробництва».

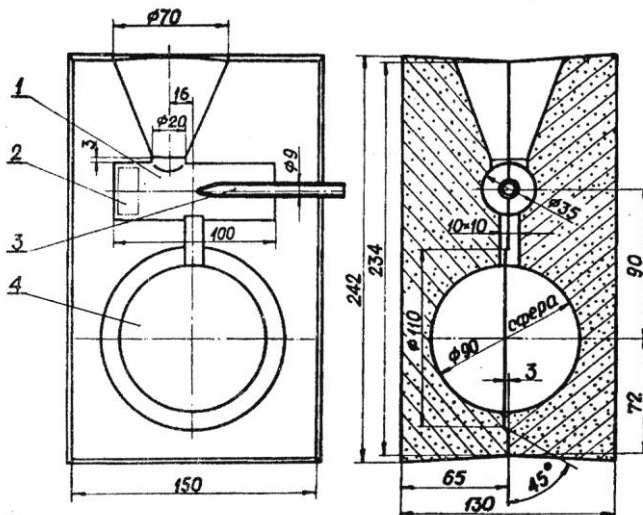


Рисунок 1.1 – Форма комплексної технологічної проби

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.

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 термомпари 3, з'єднаної з потенціометром для автоматичного запису кривої кристалізації. Циліндричний зразок служить також для одержання темплету 2 розміром 7×8×15 мм для визначення фізичної густин 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.

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 кожен отриману криву кристалізації – визначити температури перегріву при заливці сплаву, ліквідусу, солідусу, розбити криву на етапи кристалізації і визначити тривалість етапів (рис.1.2), враховуючи швидкість руху стрічки потенціометру.

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

1.3.5 Одержані результати записати відповідно табл.1.1.

1.3.6 Провести математичну обробку результатів експерименту. Установити 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:

$$y = a + bx, \quad (1.2)$$

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

a, b - коефіцієнти;

x - незалежна перемінна (температура перегріву t_n).

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

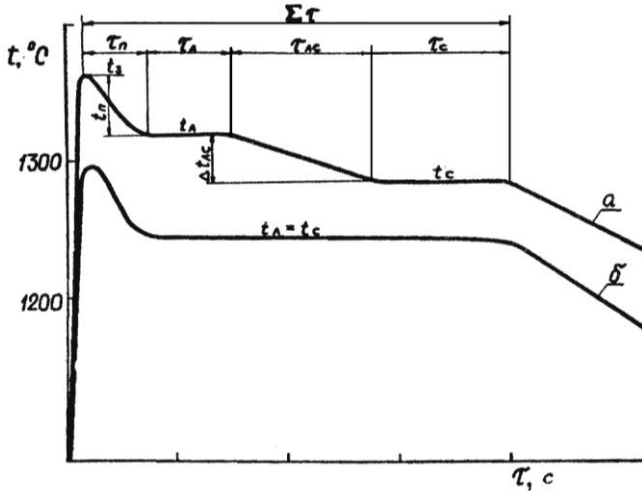


Рисунок 1.2 – Типові криві кристалізації сплавів до- і заевтектичних (а) і евтектичних (б)

Таблиця 1.1 – Результати експерименту по визначенню критичних точок кристалізації (чавун 300Х28Н2)

Номер досліджу	Температура металу, °С			Час кристалізації, с					
	в формі	t_n	t_l	t_c	τ_n	τ_l	$\tau_{лс}$	τ_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

Коефіцієнт кореляції

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

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 (τ)	$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$	$(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})$
1							
2							
·							
·							
8							
N=8	$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$	$\bar{y} = \frac{\sum y}{N}$			$\sum (x - \bar{x})^2$	$\sum (y - \bar{y})^2$	$\sum (x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})$

Коефіцієнт рівняння

$$b = r \cdot \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{\sum (x - \bar{x})^2}}, \quad (1.4)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (1.5)$$

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.

1.3.8 Розрахувати константу твердіння. Одержаний експериментально-функціональний зв'язок, час повного твердіння зразка циліндра діаметром 35 мм ($x = 17,5$ мм) від температури перегріву для чавуну 300X28H2, с.

$$\text{Наприклад: } \sum \tau = 125 + 0,26 \cdot t_n. \quad (1.6)$$

За допомогою формули (1.1) отримуємо

$$1,75 = K \cdot \sqrt{125 + 0,26 \cdot t_n} - K_n \cdot t_n \quad (1.7)$$

при перегріві $t_n = 0^\circ\text{C}$, знаходимо $K = 1,56 \text{ мм/с}^{0,5}$.

1.3.9 З використанням отриманого значення K визначаємо величину K_n шляхом підстановки у рівняння (1.7) довільного значення

температури перегріву – наприклад, $t_n = 100^\circ\text{C}$. Знаходимо, що для даного сплаву і умов твердіння $K_n = 0,017$ мм/град.

1.4 Аналіз експериментальних даних

Одержані значення константи твердіння і коефіцієнта впливу перегріву для високохромистого чавуну порівняти з аналогічними характеристиками вуглецевої сталі.

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

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.

2 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 утворюється деяка кількість 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 діаграми стану) з оптимальною рідинотекучістю за мінімальної температури перегріву.

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, так як перегрів рідкого металу буде різний для сплавів.

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

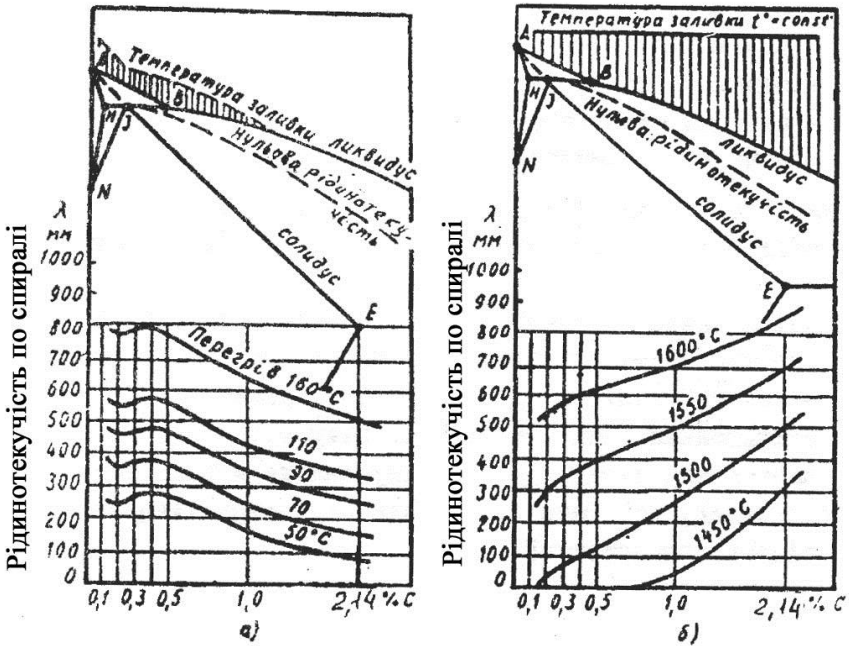


Рисунок 2.1 – Вплив вуглецю і температури на дійсну (а) і практичну (б) рідинотекучість

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.

На рідинотекучість (λ) впливають різні фактори (формула 2.1)

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

де F - площа поперечного перетину каналу проби, м²;

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

γ - густина рідкого металу, кг/м³;

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

t_p - температура заливки рідкого металу, °C;

t_0 - температура нульової рідинотекучості, °C;

L - прихована теплота кристалізації, кДж/кг;

α - середній коефіцієнт тепловіддачі з поверхні металу, кДж/(м²·г·°C);

P - периметр поперечного перетину каналу проби, м;

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

t_ϕ - 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 Торічеллі 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-істинну рідинотекучість,

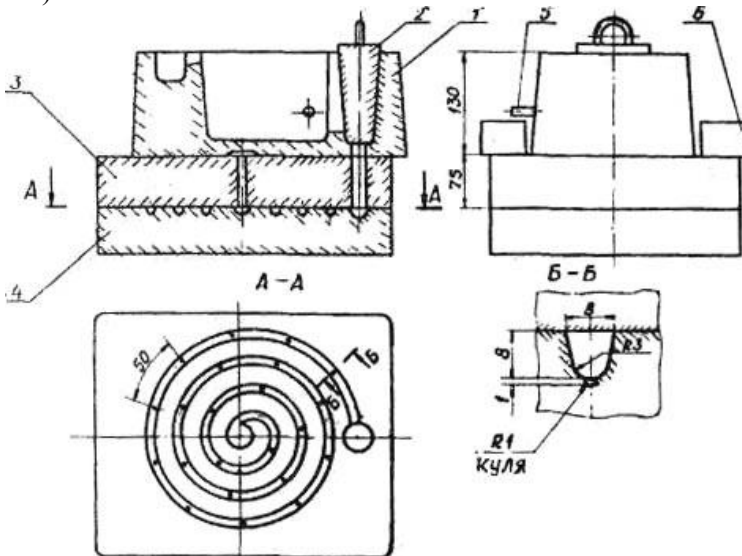
ніж не евтектичні, що пояснюється різницею в характері твердіння.

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 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 металоприймачеві 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 три 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 за допомогою шаблону.

2.4.6 Побудувати графічну залежність рідинотекучості від температури перегріву металу.

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.

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЛИВКИ НА ОБ'ЄМ УСАДКОВИХ РАКОВИН

Мета роботи: вивчити причини утворення усадкових раковин при твердінні сплаву, вплив технологічних факторів і властивостей сплаву на об'єм усадкових порожнеч у виливках, механізм формування усадкової раковини, термінологію питання, що вивчається, мати уявлення про складові частини повної об'ємної усадки; вміти проводити експеримент по вивченню схильності сплаву до утворення усадкових раковин; виконати необхідні розрахунки.

3.1 Теоретична частина

Звичайно під усадкою розуміють відносну величину, що виражається у відсотках відповідно до зміни об'єму або довжини:

$$\Delta V = \frac{V_0 - V_1}{V_1} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

$$\Delta l = \frac{l_0 - l_1}{l_1} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

де V_0, V_1 – відповідно, початковий і кінцевий об'єми;

l_0, l_1 – відповідно, початкова і кінцева довжина відливка.

Повна об'ємна усадка

$$\Delta V = \Delta V_p + \Delta V_{me} + \Delta V_m, \quad (3.3)$$

де $\Delta V_p, \Delta V_{me}, \Delta V_m$ – об'ємна усадка, відповідно, в рідкому стані, при твердінні металу, в твердому стані при охолодженні відливка

Складові рівняння (3.3) можна представити у вигляді наступних рівнянь:

$$\Delta V_p = \alpha_p \cdot (t_3 - t_l); \quad (3.4)$$

$$\Delta V_{me} = \alpha_{me}; \quad (3.5)$$

$$\Delta V_m = \alpha_m \cdot (t_c - t_n), \quad (3.6)$$

де $\alpha_p, \alpha_{me}, \alpha_m$ – коефіцієнти об'ємної усадки відповідно в рідкому, твердіючому і твердому стані;

t_3, t_l, t_c, t_n – відповідно, температура сплаву при заливці, температура ліквідусу і солідусу, навколишнього середовища.

Повну об'ємну усадку прямими методами визначити досить важко внаслідок значної погрішності при вимірюванні початкового об'єму металу. В даній роботі визначаються перші дві складові рівняння (3.3), що в сумі дають величину усадкової раковини.

Усадка рідкого сплаву ΔV_p збільшується з підвищенням температури перегріву над ліквідусом (див. формулу (3.4)). При малій швидкості охолодження усадка в рідкому стані в вигляді усадкової раковини не реалізується, а характеризується тільки зниженням рівня рідкого металу у виливку. В реальних виливках ця складова переходить в усадкову раковину внаслідок утворення тонкої кірки твердого металу в початковий період твердіння.

Усадка твердіння ΔV_{me} – головна причина утворення усадкової раковини і для кожного сплаву являється величиною постійною.

За теоретичними уявленнями професора П.М.Бідулі формування усадкової раковини у відливку обумовлено значною різницею коефіцієнтів об'ємної усадки рідкого і твердого металів, внаслідок чого створюється роз'єднання (раковина) між твердою і рідкою фазами твердіючого об'єму. При закінченні твердіння всього відливка об'єм усадкової раковини досягає своєї найбільшої величини і її формування закінчується. І якщо внаслідок подальшого охолодження абсолютний об'єм усадкової раковини трохи зменшується, її відносний об'єм (по відношенню до об'єму виливка) залишається без змін. Таким чином, можна рахувати, що відносний об'єм усадкової раковини формується тільки в період твердіння виливка.

Формула Ю.О.Нехенді і М.Г.Гіршовича для відносного об'єму усадкової раковини приймає вигляд

$$\Delta V_p = \alpha_p \cdot (t_3 - t_l) + \Delta t_{me}. \quad (3.7)$$

Експериментальні дані, одержані в даній лабораторній роботі, дозволяють визначити не тільки величину ΔV_p , але першу і другу складові рівняння (3.7).

3.2 Обладнання, прилади і матеріали

Плавильна індукційна піч місткістю 60 кг; потенціометр ЕПП або КСП-4; платинородій-платинова термопара; форми комплексної технологічної проби (рис.1.1); ваги аналітичні і технічні; мікрокалькулятор, термометр; плавильно-залівний інструмент; шихтові матеріали; дистильована вода.

3.3 Порядок виконання роботи

3.3.1 Підготувати форми технологічної проби (5-10 шт.).

3.3.2 Розрахувати шихту і підготувати ливарний сплав заданого складу.

3.3.3 Відповідно з параметрами, що вивчаються, підготувати фракції сплаву з одним перемінним параметром (склад, модифікування, температура) і залити технологічні проби.

3.3.4 Вибити виливки після їх охолодження, очистити, нанести маркіровку.

3.3.5 Вирізати з виливків кожного вивчаемого варіанту темплет розміром $7 \times 8 \times 15$ мм для визначення фізичної густини металу.

3.3.6 Визначити фізичну густину металу:

$$\rho_m = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \cdot \rho_v, \quad (3.8)$$

де m_1, m_2 – маса зразку відповідно на повітрі і в дистильованій воді, г;

ρ_v – густина води при температурі випробування, г/см^3 (табл.3.1).

3.3.7 Визначити масу зразка кулі на повітрі P_k зважуванням на технічних вагах з точністю до 10^{-2} г.

3.3.8 Визначити об'єм концентрованої раковини $V'_{к.р.}$ залівкою порожнини кулі дистильованою водою (гасом) із мірної бюретки з точністю до 10^{-1} см^3 .

Таблиця 3.1 – Густина дистильованої води в залежності від її температури

Температура, °C	Густина води, г/см ³
16	0,99897
17	0,00880
18	0,99862
19	0,99843
20	0,99823
21	0,99802
28	0,99668

3.3.9 Визначити масу кулі у воді P_p зважуванням на технічних вагах з точністю до 10^{-2} г.

3.3.10 Розрахувати об'єм розсіяних пор (незаповнених водою)

$$V_{p.n.} = \left(1 - \frac{\rho_k}{\rho_m} \right) \cdot 100\% , \quad (3.9)$$

де ρ_k – середня густина кулі, г/см³;

ρ_m – густина матеріалу кулі без усадкових пор (густина темплетів розміром $7 \times 8 \times 15$ мм для чавуну 300X28H2 $\rho_m = 7,6$ г/см³).

$$\rho_k = \frac{P_k}{P_k - P_p} \cdot \rho_v . \quad (3.10)$$

3.3.11 Перевести одержані абсолютні об'єми концентрованої усадкової раковини ($V'_{к.р.}$) в відносний об'єм

$$V_{к.р.} = \frac{V'_{к.р.}}{V'_{к.р.} + V_k} \cdot 100\% , \quad (3.11)$$

де V_k – середній об'єм кулі, см³.

$$V_k = \frac{P_k - P_p}{\rho_v} . \quad (3.12)$$

3.3.12 Сумарний об'єм усадкових раковин

$$\sum V_p = V_{к.р.} + V_{р.н.} \quad (3.13)$$

3.3.13 Записати одержані результати в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати експерименту (чавун 300X28H2)

Індекс варіанту	Перегрів t_n , °C	Густина металу ρ_m , г/см ³	Маса кулі на повітрі P_k , г	Маса кулі у воді P_p , г	Абсолютний об'єм усадкових раковин $V_{к.р.}$, см ³	Відносний об'єм усадкових дефектів, %		
						$V_{р.н.}$	$V_{к.р.}$	ΣV_p
1	106	7,549	2550,03	2212,74	11,95	0,03	3,40	3,43
2	181	7,558	2528,03	2192,95	12,01	0,35	3,45	3,80
3	83	7,554	2533,73	2198,31	10,77	0,18	3,09	3,27
4	10	7,553	2603,18	2258,21	8,05	0,27	2,28	2,55
5	80	7,553	2530,43	2195,71	11,74	0,09	3,38	3,47
6	143	7,550	2524,54	2189,96	13,83	0,19	3,96	4,15
7	49	7,590	2594,63	2252,61	9,58	0,25	2,72	2,97

3.3.14 Математична обробка результатів експерименту. Встановити зв'язки між параметрами, що вимірюються, і побудувати графічні залежності.

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

$$y = bx + a, \quad (3.14)$$

де y – параметр, що вивчається ($V_{р.н.}$, $V_{к.р.}$, ΣV_p);

a, b – коефіцієнти;

x – незалежна змінна (t_n).

Коефіцієнт кореляції

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \cdot \sum (y - \bar{y})^2}}, \quad (3.15)$$

де \bar{x} – середньоарифметична $\Sigma x / N$ (N – число дослідів);

\bar{y} – середньоарифметична $\Sigma y / N$.

Коефіцієнт рівняння

$$b = r \cdot \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{\sum (x - \bar{x})^2}}, \quad (3.16)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}. \quad (3.17)$$

Розрахунки по (3.14)-(3.16) зручно виконувати за допомогою таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахункова таблиця математичної обробки результатів експерименту

Індекс варіанту	x $t_n, ^\circ\text{C}$	y $V_{p.n.}, V_{к.п.},$ $\Sigma V_p, \%$	$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$	$(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})$
1							
2							
·							
·							
7							
$N=7$	$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{N}$	$\bar{y} = \frac{\Sigma y}{N}$			$\Sigma(x - \bar{x})^2$	$\Sigma(y - \bar{y})^2$	$\Sigma(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})$

Отримані експериментальні дані оформити у вигляді графічних залежностей $V_{p.n.} = f(t_n)$; $V_{к.п.} = f(t_n)$; $\Sigma V_p = f(t_n)$.

3.3.15 Аналіз експериментальних даних:

а) описати залежність між температурою заливки (t_n) і об'ємом концентрованої усадкової раковини ($V_{к.п.}$);

б) описати залежність між температурою заливки (t_n) і об'ємом усадкових пор ($V_{p.n.}$);

в) описати залежність між температурою заливки (t_n) і об'ємом усадкових дефектів (ΣV_p);

г) порівняти одержану функціональну залежність, наприклад:

$$\Sigma V_p = 0,012t_n + 2,37 \quad (3.18)$$

з аналогічною формулою Ю.О.Нехедзі і М.Г.Гіршовича (3.7), що дозволяє рахувати:

$$\alpha_p \cdot (t_3 - t_n) = 0,012t_n \quad (3.19)$$

Тоді коефіцієнт усадки сплаву в рідкому стані $\alpha_p = 0,012$ (%/град); усадка кристалізації $\Delta V_p = 2,37$ (%).

3.3.16 На розрізі зразка-кулі вивчити розміщення концентрованої усадкової раковини і розсіяних пор, зробити їхній рисунок.

3.4 Зміст звіту

Коротко описати теоретичну частину і методику проведення роботи; ескіз технологічної проби (рисунок 1.1), ескіз зразка-кулі після розрізу; розрахувати на одному прикладі показники по формулах (3.9)-(3.13); розрахувати коефіцієнти кореляції для залежності $\Sigma V_p = f(t_n)$; побудувати для неї графічну залежність; визначити α_p і ΔV_p ; зробити висновки по роботі.

3.5 Питання для самоконтролю

- 3.5.1 Які складові має повна об'ємна усадка сплаву?
- 3.5.2 Які основні елементи має технологічна проба для даної роботи?
- 3.5.3 Як вимірювалась температура металу, що заливався?
- 3.5.4 Як визначається об'єм концентрованої усадкової раковини?
- 3.5.5 Як знаходиться об'єм розсіяних пор?
- 3.5.6 Як знайдено густину «здорового» металу?
- 3.5.7 Як визначалася середня густина зразка-кулі?
- 3.5.8 Як впливає температура перегріву металу на розвиток усадкових дефектів?
- 3.5.9 Як в цій роботі визначали коефіцієнт усадки рідкого металу (α_p) і відносний об'єм усадкової раковини (ΔV_p)?
- 3.5.10 Для яких практичних цілей потрібно знати величину усадкових дефектів в сплавах?
- 3.5.11 Основні правила техніки безпеки.

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВПЛИВ УМОВ ОХОЛОДЖЕННЯ НА ВЕЛИЧИНУ ЗАЛИШКОВОЇ НАПРУГИ У ВИЛИВКАХ

Мета роботи: вивчити класифікацію напружень, що виникають у виливках, методику визначення внутрішніх напружень, методи зниження внутрішніх напружень; вміти проводити експеримент по вивченню внутрішніх напружень у виливках, одержати наглядне уявлення по впливу умов охолодження на величину внутрішніх напружень.

4.1 Теоретична частина

Якщо виливок під час охолодження зазнає вільної усадки, то внутрішні напруження в ньому відсутні. У тому разі, коли у відливку під час охолодження у формі протікає утруднена усадка, після закінчення охолодження виливок буде мати внутрішню напругу і, можливо, деформацію. Під час утрудненої усадки відбувається взаємодія відливка і форми або окремих частин виливка між собою, внаслідок чого виливок не може отримати розміри, які можна дістати за вільної усадки. Це призводить до виникнення внутрішньої напруги у виливку. В залежності від причин, що обумовлюють утруднену усадку, внутрішні напруження поділяються на три види:

- 1) термічні σ_T (температурні) – обумовлені різною температурою окремих частин виливка в процесі охолодження;
- 2) фазові σ_Φ – виникають в результаті фазових перетворень у виливку із зміною питомого об'єму в структурі металу;
- 3) механічні σ_M (усадкові) – обумовлені механічним гальмуванням усадки виливка з боку ливарної форми.

Сума всіх видів напружень складає ливарні напруги:

$$\sigma_L = \sigma_T \pm \sigma_\Phi + \sigma_M \quad (4.1)$$

Внутрішні напруження можуть бути тимчасовими і залишковими. Тимчасові – існують у виливку до того моменту, поки є причина, що їх викликає. Залишкові – не залежать від зовнішніх сил, що діють на виливок, і врівноважуються в його об'ємі.

Механізм виникнення залишкових напружень, згідно теорії Гейна, пояснюється виходячи із наступних допущень:

- сплав може пластично деформуватися а певній області температур під дією малих напружень;
- при переході сплаву із пластичного до пружного стану існує температурна межа;
- значення коефіцієнту лінійної усадки не залежить від температури.

Якщо ливарна напруга досягає границі міцності матеріалу вилівка, у ньому з'являються розриви суцільності – тріщини. Якщо ливарна напруга менша границі міцності, але достатньо висока, вона може спричинити пластичну деформацію вилівка і як її результат – жолоблення. Значення ливарної напруги вилівка залежить від фізико-механічних властивостей сплаву, конфігурації вилівка, властивостей ливарної форми, в якій виготовляється вилівок, від температури заливки форм і інших факторів.

При утрудненій усадці окремі частини вилівка можуть знаходитися як в стислому, так і в розтягнутому станах. Згідно теорії Гейна, в області температур пластичної деформації внутрішні напруження у вилівку не виникають, тому що вилівок одержує пластичну деформацію (розтягування або стискування) і напруга релаксує (знімається). Повнота релаксації напруги в області пластичної деформації залежить від темпів зростання напруги, деформації і міцності сплаву. По мірі охолодження сплав набирає все більш високу міцність і пружні властивості. Виникненні при цьому внутрішні напруження будуть залишковими, якщо вони не перевищують міцність сплаву.

Для одержання вилівоків з мінімальними внутрішніми напруженнями потрібно прагнути до створенню умов рівномірного охолодження різних частин вилівка, повільному охолодженню вилівка, для зняття внутрішніх залишкових напружень застосовується термічна обробка вилівка – відпал.

4.2 Конструкція технологічної проби

Для визначення величини термічних напружень частіше всього використовують технологічні проби (рис.4.1) – усадкові решітки (прямокутні, кільцеві, трикутні). Незважаючи на різні конфігурації, всі проби мають загальну ознаку – наявність тонких і товстих частин, взаємозв'язаних між собою.

A

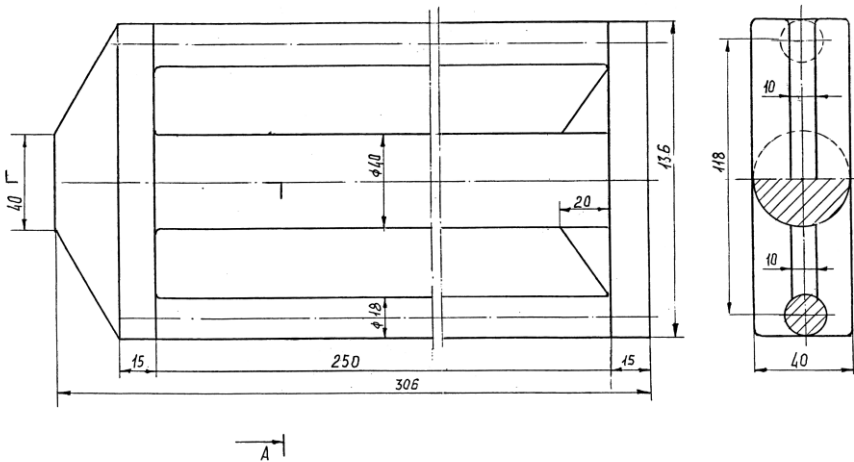


Рисунок 4.1 – Технологічна проба для визначення залишкової напруги сплаву

В даній лабораторній роботі використовується прямокутна усадкова решітка (рис.4.1), що складається з товстого центрального і двох тонких бокових брусків круглого перетину, які з'єднані між собою двома перемичками. При охолодженні решітки тонкі бруски охолоджуються скоріше товстого, внаслідок чого в якійсь момент часу він знаходиться в стиснутому стані. Товстий брусок мав більш високу температуру і пластично деформується під впливом скорочення лінійних розмірів тонких брусків. Потім охолоджується товстий брусок і йде його усадка. Проте тонкі бруски перешкоджають скороченню довжини товстого, але й самі підлягають стискуючим зусиллям під впливом усадки цього бруска. Внаслідок цього після повного охолодження решітки в системі створюються залишкові внутрішні термічні напруження: в товстому бруську – розтягуючі (зі знаком «плюс»), в тонких – стискуючі (зі знаком «мінус»). Якщо розрізати товстий брусок, то він розійдеться на величину, що показує собою алгебраїчну суму пружних напружень деформацій окремих частин решітки і характеризує напружений стан системи.

4.3 Обладнання, прилади і матеріали

Плавильна індукційна піч; мілівольтметр; термопара ХА; ливарні форми технологічних проб; шихта алюмінієвого сплаву; лупа МПБ-2 (Бринеля); ножівка.

4.4 Порядок виконання роботи

4.4.1 Розрахувати шихту і підготувати шихтові матеріали.

4.4.2 Підготувати три форми технологічної проби.

4.4.3 Виплавити сплав заданого складу відповідно вимогам технології плавки і залити форми з перегрівом рідкого сплаву до 60°C.

4.4.4 Вибити виливки із форм: першу – зразу після твердіння металу і охолодити в воді; другу – після 5 хвилин витримки у формі і охолодити на повітрі; третю – через 25 хвилин після заливки з наступним охолодженням на повітрі.

4.4.5 Після охолодження всіх решіток до кімнатної температури зачистити на товстому бруску кожної із них площадку (30×10 мм). Провести на площадці повз-дожну тонку осьову риску, потім нанести дві паралельні риски на відстані 4-6 мм перпендикулярно до осьової; виміряти відстань між цими рисками в точках перетину з осьовою за допомогою лупи МПБ-2.

4.4.6 Розпилити товстий брусок між паралельними рисками і знову виміряти відстань між ними.

4.4.7 Розрахувати внутрішні напруження в брусках по формулах, що одержані на основі закону Гука, МПа:

– для товстого стержня діаметром 40 мм

$$\sigma_2 = +(l_1 - l_2) \cdot \frac{E}{l} \cdot \frac{2 \cdot F_1}{2 \cdot F_1 + F_2}; \quad (4.2)$$

– для тонкого стержня діаметром 18 мм

$$\sigma_1 = -(l_1 - l_2) \cdot \frac{E}{l} \cdot \frac{F_2}{2 \cdot F_1 + F_2}, \quad (4.3)$$

де l_1, l_2 – відстань між рисками проби відповідно після і до розрізки, м;

E – модуль пружності, який для сірого чавуну дорівнює $(75...110) \cdot 10^3$ МПа, для сталі – $200 \cdot 10^3$ МПа, для алюмінієвих сплавів – $(70...72) \cdot 10^3$ МПа;

l – довжина товстого бруска до розрізки, м;

F_1, F_2 – площа перерізу відповідно тонкого і товстого стержнів, м².

4.4.8 Дані вимірів і розрахунків записати в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Експериментальні і розрахункові дані

Умови охолодження проб	Відстань між рисками, мм			Внутрішні напруження, МПа	
	до розрізки проби, l_2	після розрізки проби, l_1	Δl (l_1-l_2)	σ_2	σ_1
У воді					
На повітрі					
В піщаній формі					

4.5 Зміст звіту

Коротке описання теоретичної частини; ескіз технологічної проби; результати експерименту; розрахунки напружень; висновки по роботі.

4.6 Питання для самоконтролю

4.6.1 Яка загальна конструктивна ознака властива в відомих технологічних пробах для визначення схильності сплавів до утворення внутрішніх напружень?

4.6.2 Дати характеристику технологічній пробі, що використовується в даній роботі.

4.6.3 Який вид напружень утворюється в елементах даної технологічної проби?

4.6.4 В якому із брусків проби діють розтягуючі зусилля, чому?

4.6.5 На чому заснована застосована в роботі методика визначення внутрішніх напружень?

4.6.6 Як виявляються в реальних умовах пластична і пружна деформації?

4.6.7 Які потрібні практичні заходи для зниження внутрішніх напружень у виливках?

4.6.8 Причини, що приводять до виникнення залишкової напруги.

4.6.9 Види залишкової напруги.

4.6.10 Основні правила техніки безпеки при виконанні роботи.

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

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.

5.1 Теоретична частина

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

$$F_{\text{вуз}} = \frac{10000 \cdot M}{\rho \cdot \tau \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}}, \quad (5.1)$$

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

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

ρ - густина рідкого металу, кг/м^3 ;

τ - тривалість часу заповнення форми металом, с;

μ - коефіцієнт витрати ливникової системи – безрозмірна величина;

g - прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

H_p - розрахунковий гідростатичний напір, м.

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

$$V = \varphi \cdot \sqrt{2g \cdot H_p}, \quad (5.2)$$

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

φ - 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 складу рідини. Таким чином, гідравлічні процеси, які протікають у каналах ливникової системи, можна вивчати, а, головне, спостерігати за допомогою прозорої форми, використовуючи воду.

За наявності витрат на тертя дійсна швидкість складає

$$V_{\partial} = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}. \quad (5.3)$$

Коефіцієнт витрат ливникової системи складає відношення дійсної до теоретичної швидкості потоку

$$\mu = \frac{V_{\partial}}{V_m}. \quad (5.4)$$

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 μ .

До факторів, що зменшують значення μ , 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 μ .

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

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum C_i}}. \quad (5.5)$$

У таблиці 5.1 приведені середні значення коефіцієнтів витрат C_i для основних елементів ливникових систем.

Значення C_i визначаються за допомогою даних таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – 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	$K_6 = 0,05 \cdot l/d$	

5.2 Опис установки

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

На рисунку 5.1 показана схема установки. Ливарна форма складена 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 метала в ливниковій чаші шляхом доливання в неї рідкого металу із ковша і включити секундомір. Таким чином, у виливниці 7 знаходиться дійсна маса розплаву M_{δ} , що вилілась із ливникової системи за відрізок часу τ . Масу M_{δ} визначають шляхом зважування.

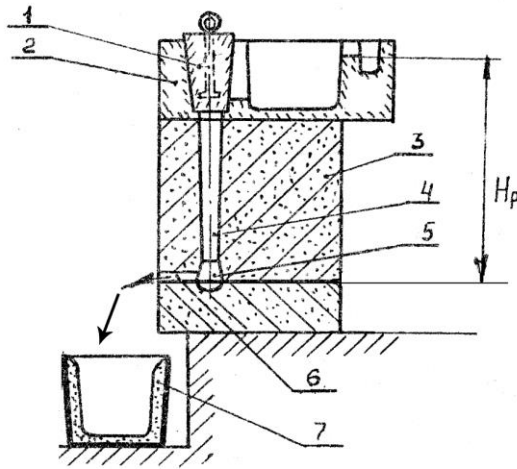


Рисунок 5.1 – Схема установки для експериментального визначення коефіцієнта втрати ливникової системи

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 $M_{\partial} = 2,324 \text{ кг}$.

5.3 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 - τ . Експеримент повторити не менше трьох разів, водночас треба спостерігати характер руху рідини в каналах ливникової системи.

5.4 Розрахунок коефіцієнта μ на основі отриманих експериментальних даних

Із відомої формули

$$F_{лив} = \frac{M_{\partial}}{\rho \cdot \tau \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}}, \quad (5.6)$$

знайдемо величину μ шляхом підстановки у формулу отриманого значення τ - (секунди), $F_{лив}$ - (м^2), ρ - ($\text{кг}/\text{м}^3$), g - ($\text{м}/\text{с}^2$), H_p - (м).

5.5 Теоретичний розрахунок коефіцієнта

Цей розрахунок виконаємо за допомогою формули (5.5) і табличних значень її складових (табл. 5.1):

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum C_i}},$$

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

$$K_1 = 0,1$$

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

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

$$K_3 = 2$$

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

$$C_3 = K_5 = 1,5$$

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

5.6 Зміст звіту

Коротке описання теоретичної частини; ескіз установки для експериментального визначення коефіцієнта втрати ливникової системи; результати експерименту; результати розрахунків експериментального і теоретичного значення коефіцієнту μ ; висновки по роботі.

5.7 Питання для самоконтролю

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

5.7.2 Яке значення має величина коефіцієнта μ у розрахунках ливникової системи?

5.7.3 Які фактори впливають на величину коефіцієнта μ ?

5.7.4 Розрахунковий метод визначення коефіцієнта μ .

5.7.5 Експериментальний метод визначення коефіцієнта μ .

5.7.6 Що таке моделювання процесу лиття?

5.7.7 На якій формулі базуються розрахунки ливникової системи?

5.7.8 Що враховує коефіцієнт швидкості φ ?

ЛІТЕРАТУРА

- 1 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.
- 2 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.
- 3 Гідравліка: навчальний посібник / Л.В. Возняк, П.Р. Гімер, М.І. Мердух, О.В. Паневник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. — 327 с.
- 4 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 "ХПІ", 2014. – 191 с.
- 5 Могилатенко В. Г. Теоретичні основи ливарного виробництва: навч. посіб. для студ. спец. "Обладнання ливарного виробництва" і "Ливарне виробництво чорних та кольорових металів" / В. Г. Могилатенко [та ін.]; Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т". – Х. : НТУ "ХПІ", 2011. – 287 с.