

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для студентів напряму підготовки
6.050402 „Ливарне виробництво”

Рекомендовано Вченою радою ІФФ НТУУ «КПІ»

Київ
НТУУ «КПІ»
2012

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Теоретичні основи ливарного виробництва”
для напрямку підготовки 6.050402 “Ливарне виробництво”/ укладачі: В.М. Дробязко, О.С. Хасан.

*Гриф надано Вченою радою ІФФ НТУУ «КПІ»
(Протокол №04/12 від 25.04.2012 р.)*

Навчальне видання

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для студентів напрямку підготовки
6.050402 „Ливарне виробництво”

*Укладачі: Дробязко Володимир Миколайович
Хасан Ольга Сергіївна*

Рецензент: *Л.М. Сиропоринєв*, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний редактор: *Г.Є. Федоров*, канд. техн. наук, доцент

*За редакцією укладачів
Надруковано з оригінал-макета замовника*

Темплан 2012 р.

ВСТУП

Методичні вказівки призначені для студентів напрямку підготовки 6.050402 „Ливарне виробництво“.

На формування властивостей виливка впливає значна кількість факторів, число яких досягає декількох сотень. Знання цих факторів та вміння керувати їх дією і сприяє отриманню високоякісних виливків.

Курс лабораторних робіт спрямовано на засвоєння експериментальних методів визначення температурного та часового інтервалів кристалізації металів і сплавів, коефіцієнтів твердіння, залишкових внутрішніх напружень, визначення величини вільної, утрудненої та об'ємної усадки ливарних сплавів та ін.

В кожній лабораторній роботі наведені мета, основні теоретичні положення, методика проведення досліджень і розрахунку експериментальних даних.

Виконання кожної лабораторної роботи передбачає ознайомлення з теорією процесу і устаткуванням; набуття вміння провести експеримент, обробити експериментальні дані і по отриманим результатам зробити правильні висновки.

Після ознайомлення з правилами роботи в лабораторії студент з дозволу викладача може приступити до роботи на лабораторному устаткуванні.

До початку лабораторного заняття студент повинен підготувати протокол виконання лабораторної роботи.

Лабораторні роботи включають в себе послідовність технологічних операцій:

1. Виготовлення і складання ливарної форми.
2. Заливання розплавом форми.
3. Вибивання форми після затвердіння і охолодження виливка.
4. Фінішне оброблення виливків (відокремлення ливникової системи, видалення стрижнів із виливків, зачищення виконується навчальними майстрами)
5. Використання приладу для визначення лінійної усадки.
6. Використання обладнання для визначення об'ємної усадки.
7. Використання установки для запису кривих охолодження.

Загальні правила з безпеки.

- огляд місця виконання роботи: на робочому місці не повинно бути зайвих предметів. Модельне оснащення, опоки та інструмент мають знаходитися в справному стані;

- під час формоутворення і маніпулювання опоками маса вантажу не повинна перевищувати 10...15 кг на одну особу (чоловічої статі);

- форми слід збирати на сухій підлозі та навантажувати вантажем;

- під час складання форм виключати можливість проривання металу по розніму форми;

- відстань між зібраними під заливання формами має бути в межах 200-400 мм;

- під час вимірювання температури металу в печі необхідно одягати каску, захисні окуляри, спецодяг. Вимірювання температури металу слід здійснювати при відімкненій від струму печі;

- під час спостереження за режимом роботи печі необхідно одягати каску, спецодяг.

- заливання проводити в спецодязі, рукавицях і захисних окулярах. Якщо маса ковша з металом перевищує 15 кг необхідно використовувати дворучний ківш;

- особи, які не приймають безпосередньої участі у виконанні операції пов'язаних із рідким металом мають знаходитися на безпечній відстані від печі та місця заливання рідкого металу і не менше 3м;

- вибивання виливків з форм здійснювати при температурі форми не вище 40°C у спеціально відведеному місці. Виливок необхідно брати щипцями;

- при роботі слід бути уважним і дисциплінованим.

Усі роботи виконуються з дозволу і під наглядом викладачів і навчальних майстрів, що проводять лабораторні роботи.

По кожній лабораторній роботі оформлюється звіт. Звіт повинен мати відповідні розрахунки, таблиці, графіки та висновки. Звіт оформляється згідно ДСТУ 3008-95.

Лабораторна робота № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ КРИВИХ ОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

1.1 Мета роботи та об'єкт дослідження

Мета роботи: експериментально дослідити роботу засобів визначення температурних кривих охолодження металів і сплавів; визначити температурний та часовий інтервали кристалізації.

Робоче завдання: засвоїти метод запису температурних кривих охолодження металів і сплавів. Поставити і провести експерименти визначення температурних кривих охолодження металів і сплавів. На підставі аналізу одержаних кривих охолодження дати характеристику сплаву.

Об'єкт дослідження – ливарні сплави.

1.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1.2.1. Загальні відомості

Процес твердіння виливків вивчають із застосуванням прямих та непрямих методів. До прямих належать методи виливання рідкого залишку та вимірювання температури в тверднучому виливку, до непрямих - методи складання теплового балансу на основі вимірювання температури в різних точках форми, уведення в рідку частину виливка індикаторів і моделювання процесу твердіння на ЕОМ.

При застосуванні методу вимірювання температури в тверднучому виливку в порожнину ливарної форми на різній відстані від поверхні виливка встановлюють термопари, за допомогою яких після заповнення форми рідким металом контролюють зміну температури в цих точках виливка. При запису температури за допомогою самопишучих вимірювальних приладів отримують температурні криві охолодження металу чи сплаву.

Загальний вигляд температурної кривої охолодження чистого металу показано на рис. 1.1.

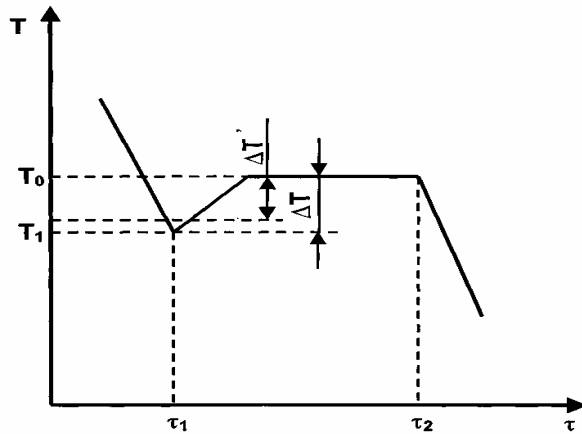


Рисунок 1.1 Загальний вигляд кривої охолодження чистого металу

При охолодженні рідкого металу на протязі часу τ_1 температура його знижується до температури T_1 нижчої за температуру рівноважної кристалізації T_0 . Різницю температур $T_0 - T_1$ називають переохолодженням рідкого металу ΔT . Коли величина ΔT перевищує величину інтервалу метастабільності ΔT^1 , починається процес кристалізації. Унаслідок того, що при цьому виділяється теплота кристалізації, температура металу підвищується до T_0 і далі залишається незмінною до закінчення процесу кристалізації, що відповідає моменту часу τ_2 . Після закінчення процесу кристалізації починається процес охолодження твердого металу.

Загальний вигляд температурної кривої охолодження сплаву, що має евтектичне перетворення, показано на рис. 1.2.

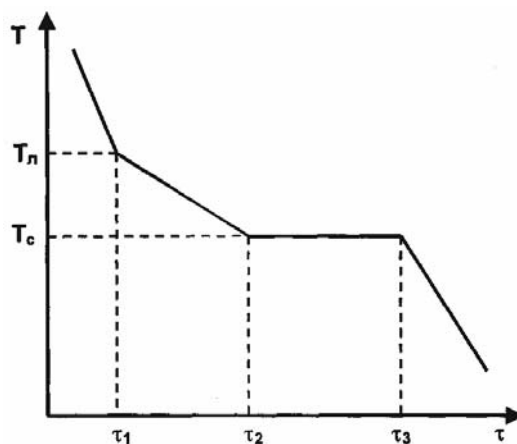


Рисунок 1.2 Загальний вигляд кривої охолодження сплаву

При зниженні температури сплаву за час τ_1 до температури ліквідусу $T_{\text{л}}$ починають виділятися кристали твердої фази, що супроводжуються виділенням

теплоти кристалізації. Унаслідок цього швидкість зниження температури сплаву зменшується. У момент часу τ_2 рідка фаза з температурою T_c досягає евтектичного складу і починається кристалізація евтектики, що протікає при сталій температурі солідуса T_c унаслідок виділення теплоти кристалізації евтектики.

У момент часу τ_3 кристалізація сплаву повністю закінчується і далі відбувається процес охолодження твердого сплаву.

Отже, аналізуючи температурні криві охолодження, можна встановити рівноважну температуру кристалізації металу або сплаву евтектичного складу, температуру ліквідусу сплаву, наявність евтектичного перетворення, тривалість кожного етапу охолодження за умов експерименту.

1.2.2 Устаткування, прилади та матеріали

Установка складається з шахтної печі опору 4 (рис. 1.3), що закривається кришкою 6. Температуру нагрівання печі контролюють за допомогою термопар 10 та потенціометра 9 типу ПСР-1. Досліджуваний метал або сплав 5 міститься в алундовому тиглі 3, який утримується в металевому стакані 1. У центрі об'єму металу розміщується спай термопар 2, яка фіксується за допомогою гвинта 7 та підімкнена до самопишучого потенціометра 8 типу КСП-4.

При знятті температурних кривих піч 4 розігрівають до необхідної температури залежно від складу сплаву. У стакані 1 встановлюють тигель 3 з досліджуваним сплавом 5. Термопару 2 підмикають до потенціометра 8. Після цього стакан разом з тиглем встановлюють у робочий простір печі 4, який закривають кришкою 6. Після розплавлення та перегрівання сплаву піч вимикають, стакан із тиглем виймають з неї і встановлюють на вогнетривку підставку для охолодження, увімкнувши при цьому потенціометр 8 для запису кривої охолодження.

1.2.3 Заходи безпеки

При виконанні досліджень треба виконувати загальні правила з техніки безпеки, що викладені у вступі.

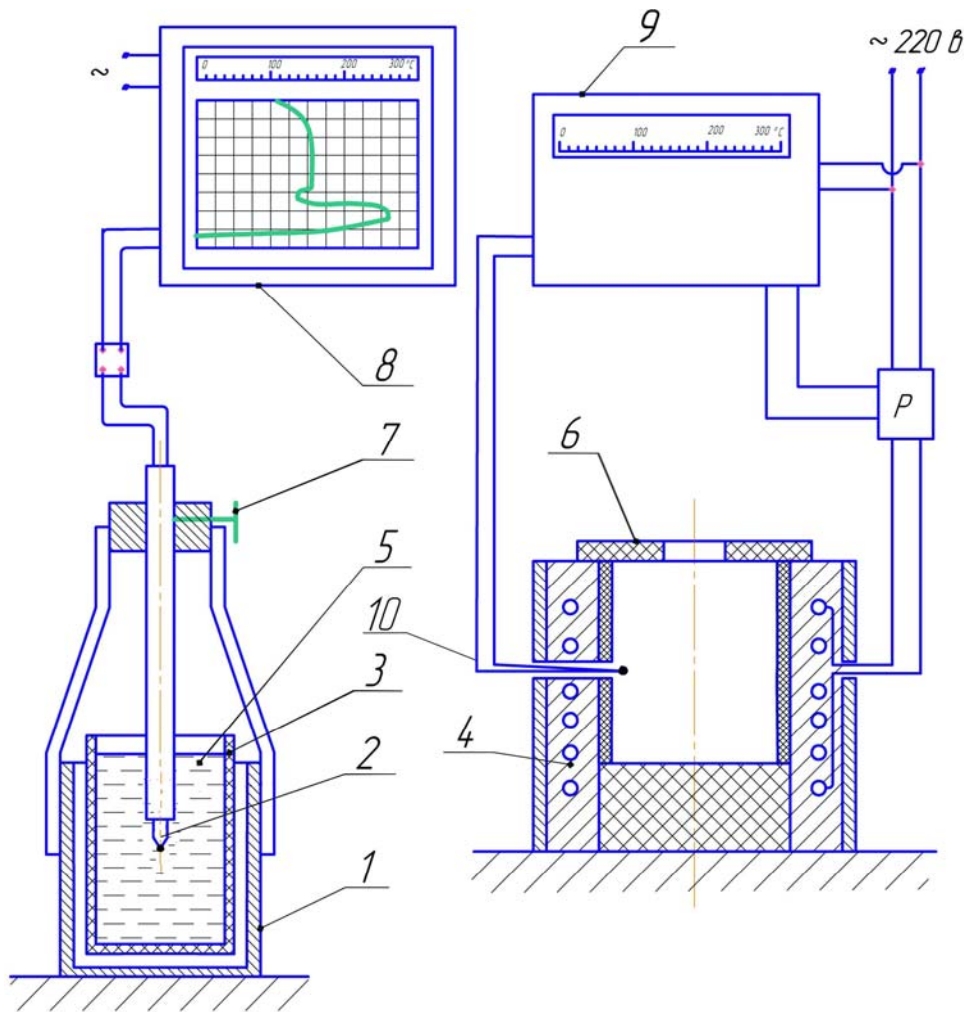


Рисунок 1.3 Схема експериментальної установки для зняття температурних кривих охолодження металів:

1 – стакан; 2 – термопара; 3 – тигель; 4 – плавильна піч; 5 – метал;
6 – кришка; 7 – гвинт; 8 та 9 – потенціометр; 10 – термопара

1.2.4 Контрольні запитання та завдання

1. Що покаже крива охолодження металу чи сплаву?
2. За рахунок чого кристалізація евтектики протікає при сталій температурі?
3. Охарактеризуйте криву охолодження чистого металу.
4. Які характеристики сплаву можна встановити за кривими охолодження?
5. Що таке переохолодження рідкого металу?
6. Наведіть послідовність проведення досліджень.

1.3 Порядок виконання роботи

Отримати у викладача 3-5 проб металів і сплавів досліджуваної системи (Mg-Sn; Pb-Sn; Al-Zn та ін.).

Почергово зняти криві охолодження кожної проби металу чи сплаву.

1.4 Опрацювання результатів експерименту

На кривих охолодження позначити точки початку та закінчення кристалізації, початку евтектичного перетворення та відповідні їм температури.

Занести отримані результати в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Результати експериментів

№ проби	Температура ліквідуса, °C	Температура солідуса, °C	Інтервал кристалізації, °C
1			
2			
3			

На діаграмах стану зазначених викладачем систем (рис. 1.4 і 1.5) визначити положення досліджуваних сплавів та їх орієнтовний склад.

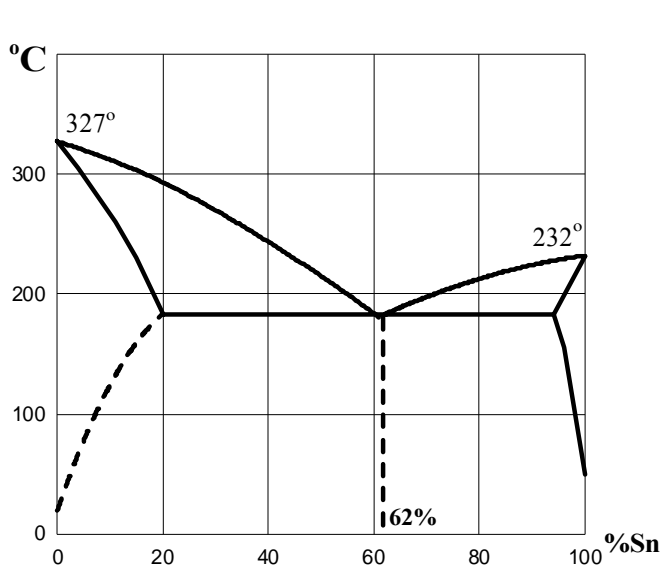


Рисунок 1.4 Діаграма стану Pb-Sn

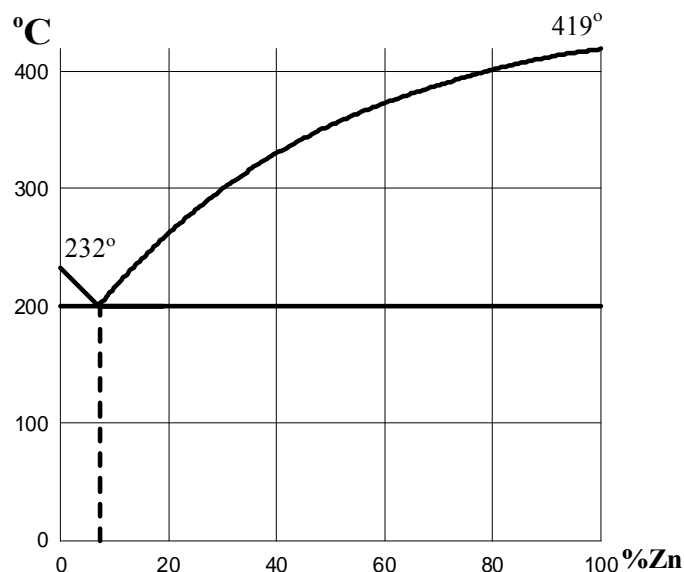


Рисунок 1.5 Діаграма стану Sn-Zn

1.5 Зміст звіту

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- порядок виконання роботи та схему установки;
- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиць та графіків;
- висновки;

Лабораторна робота № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ ЛИВАРНОЇ ФОРМИ НА КІНЕТИКУ ТВЕРДІННЯ ВИЛИВКА

1.1 Мета роботи та об'єкт дослідження

Мета роботи: експериментально дослідити вплив теплофізичних властивостей матеріалу ливарної форми на кінетику твердіння виливка.

Робоче завдання: засвоїти метод визначення коефіцієнту твердіння виливка. Розрахувати для кожного матеріалу форми і матеріалу виливка коефіцієнт твердіння та порівняти його із середнім експериментальним.

Об'єкт дослідження – технологічна проба.

2.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

2.2.1. Загальні відомості

Процес твердіння рідкого металу чи сплаву, залитого в ливарну форму, протікає внаслідок відведення теплоти від металу до стінок ливарної форми і далі до навколишнього середовища. Зрозуміло, що основними факторами, які впливають на цей процес теплообміну, є теплофізичні властивості матеріалів ливарної форми та виливка, такі як теплоємність C , теплопровідність λ , густина ρ , температуропровідність a , теплоакумулююча здатність b і теплота кристалізації L металу.

На початковій стадії твердіння температурний градієнт між виливком та формою і швидкість охолодження максимальні, тому швидкість наростання товщини шару твердого металу має найбільше значення. У процесі твердіння внаслідок нагрівання ливарної форми швидкості охолодження металу і відповідно наростання товщини шару твердого металу поступово зменшуються.

Кінетика твердіння виливка характеризується зміною товщини шару твердого металу залежно від часу твердіння. На початку твердіння виливків простої конфігурації в піщаних формах ця залежність характеризується законом квадратного кореня:

$$\delta = K\sqrt{\tau} \quad (2.1)$$

де δ - товщина шару твердого металу, м;

K - коефіцієнт твердіння, м/с^{1/2};

τ - час з початку твердіння, с.

Коефіцієнт твердіння K залежить від теплофізичних властивостей матеріалів сплаву та форми. При заливанні сплаву з незначним перегріванням над лінією ліквідуса цей коефіцієнт можна обчислити за формулою:

$$K = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{b_{\phi}(T_{\text{кр}} - T_{\text{фп}})}{\rho_{\text{м}}L} \quad (2.2)$$

де b_{ϕ} - теплоакумулююча здатність матеріалу форми, Вт·с^{1/2}/(м²·К);

$T_{\text{кр}}$ - температура кристалізації металу, К;

$T_{\text{фп}}$ - початкова температура форми, К;

$\rho_{\text{м}}$ - густина металу, кг/м³;

L - теплота кристалізації металу, Дж/кг.

Значення теплоакумулюючої здатності ливарних форм b_{ϕ} наведено в табл.2.1.

Таблиця 2.1

Теплоакумулююча здатність форм

Матеріал форми	Сира піщана	Суха піщана	Теплоізоляційна суміш	Чавун
b_{ϕ} , Вт·с ^{1/2} /(м ² ·К)	1150	950	450	13000

Значення температури кристалізації, густини та теплоти кристалізації сплавів, які найчастіше використовують для виготовлення виливків, наведено в табл. 2.2.

У реальних умовах метал у форму заливають з перегріванням над лінією ліквідуса. Крім того, ступінь ущільнення матеріалу форми коливається в деякому інтервалі. Тому реальна кінетика твердіння може істотно відрізнитися від розрахованої за формулами (2.1) і (2.2).

У зв'язку з цим на практиці для розрахунку кінетики процесу твердіння

користуються значенням коефіцієнта K , визначеним експериментально.

Таблиця 2.2

Теплові властивості сплавів

Матеріал виливка	Температура, К			ρ , кг/м ³	L, кДж/кг
	ліквідуса	солідуса	кристалізації		
Маловуглецева сталь	1780	1740	1760	7500	259
Чавун 4,3% С	1473	1473	1473	7200	215
АК12 (АЛ2)	864	850	857	2500	368
АК9ч (АЛ4)	867	840	853	2500	366
АК7ч (АЛ9)	889	843	866	2500	371
АК5М7 (АЛ10)	873	773	823	2500	367

Для цього найчастіше застосовують метод виливання рідкого залишку. Суть його полягає в тому, що метал при незначному перегріванні заливають у ливарну форму, а через деякий час виливають ще рідку серцевину виливка. Вимірявши безпосередньо товщину затверділого шару металу і знаючи час твердіння, розраховують практичне значення коефіцієнту твердіння K за формулою (2.1).

Практичні значення коефіцієнта твердіння K наведено в табл.2.3.

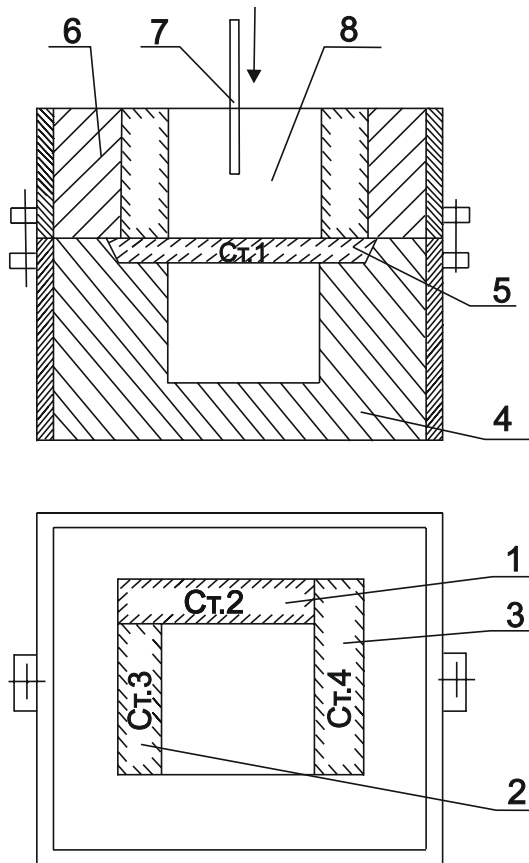
Таблиця 2.3

Практичні значення коефіцієнту твердіння K

Матеріал виливка	$K, \text{м/с}^{1/2}$, при заливанні у форму			
	Чавунну	піщану сиру	піщану суху	З тепло-ізоляційної суміші
Сталь	0,0027...0,0033	0,0013...0,0016	0,0010...0,0012	0,0004
Чавун	0,0025...0,0030	0,0008...0,0009	0,0007...0,0008	0,0003
Сплав А1	0,0038...0,0042	0,0018...0,0020	0,0015...0,0017	0,0005

2.2.2 Устаткування, прилади та матеріали

Для визначення коефіцієнту твердіння методом виливання рідкого залишку використовують форму технологічної проби (рис.2.1).



- 1 - стрижень із сухої піщаної суміші;
- 2 - чавунний стрижень;
- 3 - стрижень з теплоізоляційної суміші;
- 4, 6 - півформа відповідно нижня та верхня;
- 5 - стрижень-перемичка із сухої піщаної суміші;
- 7 – стрижень металевий для пробивання отвору в стрижні;
- 8 – робоча порожнина форми

Рисунок 2.1 Схема форми технологічної проби:

2.2.3 Заходи безпеки

При виконанні досліджень треба виконувати загальні правила з техніки безпеки, що викладені у вступі.

2.2.4 Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть основні фактори, які впливають на процес теплообміну між виливком і ливарною формою.
2. Яким експериментальним методом визначають коефіцієнт K ?
3. Від чого залежить коефіцієнт твердіння виливка?
4. За якою формулою розраховують практичне значення коефіцієнту твердіння?
5. Яке призначення стрижня №1 на рисунку 2.1?
6. Наведіть послідовність операцій при проведенні досліджень.

2.3 Порядок виконання роботи

Виготовити та скласти під заливання три-чотири форми технологічних проб

для визначення коефіцієнту твердіння методом виливання рідкого залишку.

Виплавити в плавильній печі сплав зазначеного викладачем складу. Перегріти сплав над температурою ліквідуса на 20...30 °С.

Залити в робочу порожнину технологічних проб рідкий метал, зафіксувавши час закінчення заливання кожної проби окремо.

Через зазначені викладачем інтервали часу (10, 20, 30 с і т.д.) від моменту закінчення заливання за допомогою попередньо висушеного металевого стрижня 7 пробити в стрижнях 5 проб отвори для зливання рідкого залишку.

Після повного охолодження вибити виливки з форм.

У центрі бокової грані кожного виливка висвердлити отвір і виміряти товщину δ шару металу. Результати експериментів занести до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Результати експериментів і розрахунків

Тривалість твердіння, с	Матеріал форми							
	чавун		піщана сира		піщана суха		теплоізоляційна	
	δ , мм	K , м/с ^{1/2}	δ , мм	K , м/с ^{1/2}	δ , мм	K , м/с ^{1/2}	δ , мм	K , м/с ^{1/2}
10								
30								
$K_{\text{ср}}$, м/с ^{1/2}								

2.4 Опрацювання результатів експерименту

Для кожної грані технологічних проб розрахувати значення коефіцієнту твердіння K і занести його до таблиці 2.4.

Обчислити середнє значення коефіцієнту твердіння $K_{\text{ср}}$ для кожного матеріалу форми та занести його до таблиці 2.4.

Розрахувати для кожного використаного матеріалу форми і матеріалу виливка розрахункове значення коефіцієнта твердіння та порівняти його із середнім експериментальним. У розрахунках використати формулу (2.2) та дані табл. 2.1 та 2.2. Початкову температуру форми взяти 293 К.

У координатах "час твердіння - товщина затверділого шару" побудувати кінетичні криві процесу твердіння для кожного матеріалу форми.

Зробити висновки на основі аналізу отриманих результатів.

2.5 Зміст звіту

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- порядок виконання роботи та схему установки;
- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиць та графіків;
- висновки;

Лабораторна робота №3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ НАПРУЖЕНЬ У ВИЛИВКАХ

3.1 Мета роботи та об'єкт дослідження

Мета роботи: експериментально дослідити залишкові температурні напруження у виливках.

Робоче завдання: засвоїти методи визначення залишкових внутрішніх напружень у виливках та дослідити вплив кінетики процесу охолодження вилівка на формування залишкових температурних напружень.

Об'єкт дослідження – усадкова решітка.

3.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

3.2.1 Загальні відомості

Внутрішні напруження у виливках утворюються через нерівномірність процесу усадки металу вилівка при його охолодженні, протидію вільній усадці (неутрудненій) металу з боку форми і стрижнів, неодночасне протікання фазових перетворень у металі. Залежно від цього напруження поділяють на температурні, або термічні σ_T , механічні σ_M та фазові σ_Φ . Як правило, усі зазначені внутрішні напруження діють у виливку одночасно. Отже, підсумкові ливарні напруження у виливку $\sigma_{лив}$ дорівнюють:

$$\sigma_{лив} = \sigma_T + \sigma_M + \sigma_\Phi$$

Ливарні напруження, що утворюються у виливку в процесі його

охолодження, називають тимчасовими, або діючими, а напруження, що є у виливку після повного охолодження його до кімнатної температури - залишковими. Як тимчасові, так і залишкові напруження призводять до зниження запасу міцності виливка, його деформації та виникнення тріщин у разі перевищення межі міцності матеріалу виливка. Тому визначення залишкових напружень у виливках має велике практичне значення.

Основною частиною залишкових внутрішніх напружень у виливках є температурні, або термічні. Для їх визначення застосовують різні технологічні проби, а найчастіше усадкову решітку (рис. 3.1).

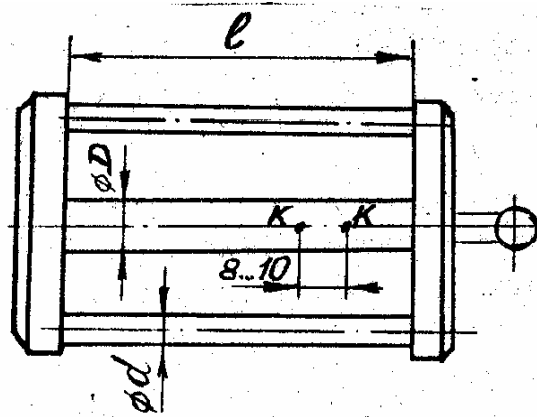


Рисунок 3.1 Схема усадкової решітки

Решітка складається з двох тонких стрижнів діаметром d та одного товстого стрижня діаметром D , зв'язаних перемичками.

Після заповнення форми рідким металом починається процес твердіння, а після його завершення - процес охолодження затверділого виливка.

При більш швидкому охолодженні тонких стрижнів їх вільній усадці протидіє товстий стрижень. Доки вилівок знаходиться в пластичному стані це призводить до пластичної деформації розтягнення тонких та пластичної деформації стиснення товстого стрижнів. Після переходу металу виливка в пружний стан розпочинається утворення тимчасових напружень розтягнення в тонких та стиснення в товстому стрижнях. Після повного охолодження тонких стрижнів продовжується охолодження і усадка товстого стрижня. Унаслідок цього в тонких стрижнях виникають залишкові напруження стиску, а в товстому - розтягнення і відповідні деформації стиску і розтягнення.

Після повного охолодження проби до кімнатної температури в її об'ємі

встановлюється рівновага залишкових сил, що виникла через нерівномірне охолодження стрижнів проби, тобто:

$$2\sigma_f f = \sigma_F F \quad (3.1)$$

де σ_f, σ_F - напруження в стрижнях відповідно тонкому та товстому;
 f, F - площа поперечного перерізу тонкого та товстого стрижнів.

Звідки знайдемо:

$$\sigma_f = \frac{\sigma_F F}{2f}; \quad \sigma_F = \frac{2\sigma_f f}{F}. \quad (3.2)$$

Згідно із законом Гука можна записати:

$$\sigma_f = \varepsilon_f E; \quad \sigma_F = \varepsilon_F E, \quad (3.3)$$

де $\varepsilon_f, \varepsilon_F$ - відносна деформація стрижня відповідно тонкого та товстого;
 E - модуль пружності матеріалу проби.

Відносну деформацію стрижнів початковою довжиною l можна визначити, знаючи абсолютну деформацію стиску тонких стрижнів Δ_f та абсолютну деформацію розтягу Δ_F товстого стрижня:

$$\varepsilon_f = \frac{\Delta_f}{l}; \quad \varepsilon_F = \frac{\Delta_F}{l}. \quad (3.4)$$

Підставимо ці значення в формулу (3.3) і отримаємо:

$$\sigma_f = \frac{\Delta_f}{l} E; \quad \sigma_F = \frac{\Delta_F}{l} E.$$

звідки:

$$\Delta_f = \frac{\sigma_f l}{E}; \quad \Delta_F = \frac{\sigma_F l}{E}. \quad (3.5)$$

Якщо подумки розрізати товстий стрижень, то напруження в ретітці зникнуть. При цьому довжина кожного тонкого стрижня збільшиться на Δ_f , а частини товстого стрижня в сумі скоротяться на Δ_F . Унаслідок цього загальна деформація Δl , яка відповідає товщині щілини між частинами товстого стрижня, дорівнює сумі Δ_f та Δ_F , тобто:

$$\Delta l = \Delta_f + \Delta_F.$$

З урахуванням значень Δ_f та Δ_F з рівняння (3.5) можна записати:

$$\Delta l = \frac{l}{E} (\sigma_f + \sigma_F). \quad (3.6)$$

Підставивши по чергово в цей вираз значення σ_f та σ_F з рівняння (3.2),

отримаємо:

$$\Delta l = \frac{1}{E} \left(\frac{\sigma_F F}{2f} + \sigma_F \right) \quad \text{та} \quad \Delta l = \frac{1}{E} \left(\frac{2\sigma_f f}{F} + \sigma_f \right)$$

Звідки знаходимо вирази для розрахунку σ_F та σ_f :

$$\sigma_F = \frac{\Delta l \cdot E}{l} \cdot \frac{2f}{F + 2f}; \quad (3.7)$$

$$\sigma_f = \frac{\Delta l \cdot E}{l} \cdot \frac{F}{F + 2f}. \quad (3.8)$$

Аналізуючи формули (3.7) та (3.8), доходимо висновку, що залишкові температурні напруження у виливках значною мірою залежать від співвідношення площ поперечного перерізу (товщини) стінок виливка.

3.2.2 Устаткування, прилади та матеріали

Верстат для розрізання, терпуг, штангенциркуль, керн, молоток.

3.2.3 Заходи безпеки

При виконанні досліджень треба виконувати загальні правила з техніки безпеки, що викладені у вступі.

3.2.4 Контрольні запитання та завдання

1. Наведіть причини утворення внутрішніх напружень.
2. Види напружень. Охарактеризуйте кожний вид.
3. Чому дорівнюють підсумкові ливарні напруження?
4. Охарактеризуйте тимчасові та залишкові напруження.
5. Яку технологічну пробу застосовують для визначення залишкових напружень?
6. До яких наслідків призводять тимчасові та залишкові напруження?

3.3 Порядок виконання роботи

Виготовити та скласти під заливання три форми усадкових решіток, що різняться співвідношенням розмірів стрижнів. Метал підводити в товстий стрижень.

Залити форми розплавленим сплавом необхідного складу, попередньо проконтролювавши його температуру. Марку сплаву зазначає викладач.

Після повного охолодження виливків до кімнатної температури вибити їх з форм та очистити від залишків формувальної суміші.

Виміряти за допомогою штангенциркуля діаметри стержнів d та D кожної проби, їх початкову довжину l . Отримані дані занести до таблиці 3.1.

На товстому стрижні кожної проби зачистити терпугом смужку довжиною 20...30мм, на якій за допомогою керна зробити дві позначки "К" на відстані 8...10мм. Точно виміряти відстань між позначками l_0 і результат занести до таблиці 3.1.

Розпиляти товстий стежень між позначками "К", знову виміряти відстань між ними l_k і результат занести до таблиці 3.1.

3.4. Опрацювання результатів експерименту

Обчислити площі поперечного перерізу F , f стрижнів проби та їх співвідношення F/f . Результати занести в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1

Результати експериментів та розрахунків

Номер проби	Марка сплаву та $t_{\text{зал}}, ^\circ\text{C}$	D	d	l	l_0	l_k	F	f	$\frac{F}{f}$	Δl ,	σ_F	σ_f
		мм					м^2	$\frac{F}{f}$	м	МПа		
1												
2												
3												

Визначити загальну деформацію усадкової решітки $\Delta l = l_k - l_0$ і результат занести в таблицю 3.1.

За формулами (3.7) та (3.8) розрахувати напруження σ_f та σ_F у стрижнях проб. У розрахунках звертати увагу на одиниці вимірювання величин. Значення модуля пружності ливарних сплавів наведені в табл. 3.2.

Побудувати графік залежності напружень σ_f та σ_F від співвідношення площ поперечного перерізу F/f стрижнів усадкової решітки.

Проаналізувати здобуті результати та зробити висновок.

Модуль пружності сплавів

Сплав	Модуль пружності E, ГПа
Сталь маловуглецева	190...210
Чавун сірий	115...120
Латунь	90...95
Бронза	110...115
АК12 (АЛ-2), АК7ч (АЛ-9), АК5М7 (АЛ-10)	68...72
МЛ-2, МЛ-3, МЛ-6	40...45

3.5 Зміст звіту

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- порядок виконання роботи та схему установки;
- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиць та графіків;
- висновки;

Лабораторна робота №4

**ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ВІЛЬНОЇ ТА УТРУДНЕНОЇ УСАДКИ
ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ**

4.1 Мета роботи та об'єкт дослідження

Мета роботи: експериментально дослідити кінетику вільної та утрудненої усадки ливарних сплавів.

Робоче завдання: засвоїти метод визначення величини вільної та утрудненої усадки.

Об'єкт дослідження – зразки для визначення вільної та утрудненої усадки.

4.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

4.2.1 Загальні відомості

Лінійною усадкою металів або сплавів називають процес зменшення

лінійних розмірів виливків при їх охолодженні починаючи з температур, близьких до температури плавлення, та до температури навколишнього середовища. В основі лінійної усадки виливків лежить відоме фізичне явище збільшення лінійних розмірів тіла при його нагріванні і, відповідно, зменшення лінійних розмірів при охолодженні.

У чистих металах, що не мають поліморфних перетворень, лінійні розміри зразка змінюються залежно від температури згідно з формулою:

$$l_T = l_0[1 + \alpha(T-T_0)],$$

де l_T - довжина зразка при температурі T , м;

l_0 - початкова довжина зразка, м;

α - коефіцієнт термічного лінійного розширення металу, $1/K$;

T, T_0 - температура відповідно нагрівання зразка та початкова, K .

Значення коефіцієнту лінійного розширення α деяких металів наведено в табл.4.1.

Таблиця 4.1

Коефіцієнти термічного лінійного розширення металів

Метал	α , $1/K$	Метал	α , $1/K$
Алюміній	$21 \cdot 10^{-6}$	Срібло	$20 \cdot 10^{-6}$
Залізо	$12 \cdot 10^{-6}$	Свинець	$31 \cdot 10^{-6}$
Золото	$14 \cdot 10^{-6}$	Титан	$10 \cdot 10^{-6}$
Магній	$29 \cdot 10^{-6}$	Цинк	$26 \cdot 10^{-6}$
Мідь	$20 \cdot 10^{-6}$	Олово	$27 \cdot 10^{-6}$
Платина	$9 \cdot 10^{-6}$	Вольфрам	$4 \cdot 10^{-6}$

Для сплавів, які твердіють в інтервалі температур, встановлено, що усадка починається тоді, коли процес первинної кристалізації відбувся приблизно на 75-95%, тобто коли вміст рідкої фази становить 5-25%.

Частину температурного інтервалу кристалізації між лініями ліквідуса і солідуса, в якому починається лінійна усадка, називають ефективним інтервалом твердіння.

У деяких металах і сплавах за відповідних умов відбуваються фазові перетворення (наприклад, у чавуні – графітізація), виділення газів (наприклад, у

алюмінію та його сплавах унаслідок різкого зменшення розчинності спостерігається виділення водню) та інші явища, що супроводжуються збільшенням об'єму та лінійних розмірів виливка. Таке збільшення розмірів називають передусадковим розширенням.

На величину усадки сплавів у реальних умовах істотно впливає інтенсивність охолодження виливків. Якщо інтенсивність теплообміну між виливком і формою відносно низька, то перепад температур по перерізу виливка дуже малий, і усадка визначається коефіцієнтом лінійного розширення металу чи сплаву (за відсутності протидії з боку форми).

При відносно великій інтенсивності теплообміну у виливку утворюється великі перепади температури. Лише в подальшому вона вирівнюється і перепади зникнуть.

Унаслідок перепаду температури усадка різних частин виливка відбувається по різному. Через це утворюються залишкові напруження, які можуть призвести до короблення виливка.

Треба розрізняти лінійну усадку матеріалу сплаву та реальну лінійну усадку виливка. При визначенні лінійної усадки сплавів за наведеною раніше формулою зразок має таку форму і відливається так, щоб розміри зменшувались без перешкод. У цьому разі знайдене значення лінійної усадки називають вільною лінійною усадкою.

У реальних умовах зменшенню розмірів виливка перешкоджає форма внаслідок тертя виливка об її стінки, стрижні, виступаючі частини. Таке гальмування усадки називають механічним. Крім механічного гальмування усадки більшість виливків зазнає утруднень, пов'язаних з різною швидкістю охолодження окремих частин. Раніше затверділі частини виливка (тонкі ребра, виступи тощо) перешкоджають усадці в тих місцях, де твердіння відбувається пізніше. Крім того, через різночасне твердіння й охолодження внутрішніх та зовнішніх шарів у масивних виливках утворюються температурні напруження тиску. Такі явища називають термічним гальмуванням усадки. Звичайно складні за конфігурацією виливки піддаються одночасному впливу механічного та термічного гальмування усадки. У цьому разі лінійну усадку називають

утрудненою. Отже, на відміну від лінійної вільної, лінійна утруднена усадка залежить не лише від властивостей і температурного інтервалу охолодження металу чи сплаву, а й від конфігурації виливка, властивостей форми та деяких інших факторів.

Утруднену лінійну усадку ще називають ливарною, позначають $\varepsilon_{\text{лив}}$ і визначають як різницю між лінійними розмірами форми $l_{\text{ф}}$ та виливка $l_{\text{в}}$ після його повного охолодження:

$$\varepsilon_{\text{лив}} = \frac{l_{\text{ф}} - l_{\text{в}}}{l_{\text{в}}} 100\%.$$

Знаючи кінетику вільної та утрудненої усадки сплаву, можна прогнозувати його механічні та ливарні властивості, встановити практичне значення усадочних припусків на модельних комплектах.

Для реєстрації кінетики усадки ливарних сплавів широко використовують прилад І.Ф.Большакова конструкції ЦНДІТМАШ та ін.

4.2.2 Відбір і підготовка зразків

У лабораторних умовах вільну та утруднену усадку сплавів визначають за допомогою спеціальних зразків (рис.4.1), що їх отримують заливанням сплаву у форму.

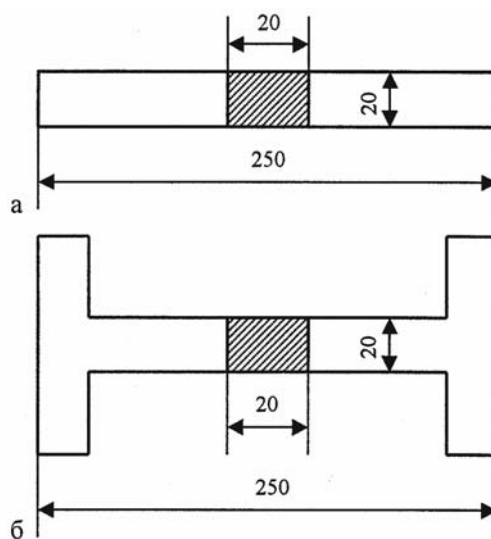


Рисунок 4.1 Моделі для виготовлення форм при визначенні усадки сплавів: а - вільної; б - утрудненої

Зразок для визначення вільної лінійної усадки має вигляд простого тіла (бруска або циліндра), в якому розміри перерізу в багато разів менші за довжину (рис.4.1, а). Кінці зразка для визначення утрудненої усадки (рис.4.1, б) мають Т-подібну форму за рахунок поперечних полиць. Ці полиці перешкоджають вільній усадці зразка, так як між ними знаходиться ущільнена формувальна суміш.

4.2.3 Устаткування, прилади та матеріали

При виконанні лабораторної роботи використовують спеціальний прилад, за допомогою якого можна реєструвати зміну лінійних розмірів зразка та температуру, при якій це відбувається (рис.4.2).

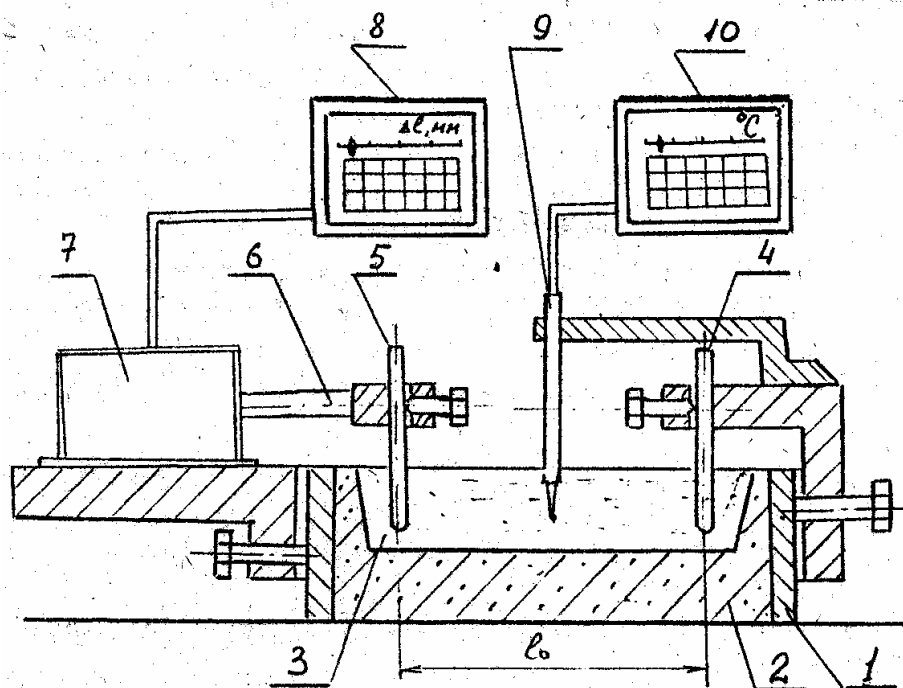


Рисунок 4.2 Схема приладу для реєстрації кінетики усадки сплаву:
 1 – опока; 2 – формувальна суміш; 3 – порожнина форми; 4, 5 – стрижні;
 6 – тяга; 7 – давач; 8 та 10 – потенціометри; 9 – термопара

У спеціальній металевій опоці 1 із формувальної суміші 2 виконують відкриту робочу порожнину 3 для визначення вільної чи утрудненої лінійної усадки. На відстані 15...20 мм від кінця порожнини форми жорстко відносно опоки 1 закріплюють нерухомий стержень 4. На такій самій відстані від протилежного кінця порожнини закріплюють рухомий стержень 5, який через

тягу 6 жорстко зв'язаний із давачем лінійного пересування 7, який, у свою чергу, також жорстко закріплений відносно опоки 1.

Давач 7 підімкнено до приладу 8, який автоматично записує зміну лінійного розміру зразка досліджуваного сплаву на діаграмній стрічці. Температуру сплаву вимірюють термопарою 9, яку встановлюють у порожнину ливарної форми 3. Автоматичний потенціометр 10, де якого підімкнено термопару 9, записує на діаграмній стрічці зміну температури сплаву при його кристалізації та охолодженні.

4.2.4 Заходи безпеки

При виконанні досліджень треба виконувати загальні правила з техніки безпеки, що викладені у вступі.

4.2.5 Контрольні запитання та завдання

1. Що таке лінійна усадка?
2. За рахунок чого відбувається передусадкове розширення?
3. Які характеристики впливають на величину усадки сплавів у реальних умовах?
4. Охарактеризуйте проби для визначення вільної та утрудненої усадки.
5. За якою формулою визначають утруднену лінійну усадку сплавів?
6. Охарактеризуйте принцип дії приладу для реєстрації кінетики усадки сплаву.

4.3. Порядок виконання роботи

Виготовити ливарні форми для заливання зразків і вимірювання вільної та утрудненої лінійної усадки.

Спочатку встановити форму для заливання зразка для визначення вільної усадки в раму приладу та жорстко закріпити її. Потім встановити нерухомий і рухомий стержні, а також термопару у порожнину форми. Визначити відстань між рухомим і нерухомим стрижнями 10.

Увімкнути прилади 8 та 10. Перевірити правильність встановлення діаграмної стрічки та пера самопишучих пристроїв.

У порожнину форми залити рідкий метал і одночасно увімкнути вимикачі пересування діаграмних стрічок приладів 8 та 10. Записати кінетику вільної усадки і зміну температури сплаву.

Після закінчення запису кінетики усадки вимкнути вимикачі пересування діаграмної стрічки та прилади. Розкріпити рухомий і нерухомий стержні, металеву опоку в рамі приладу та кожух термопари, відокремити термопару від виливка. Обережно витягти опоку з виливком з рами приладу.

При визначенні утрудненої лінійної усадки послідовно виконати всі операції, перелічені раніше.

Після закінчення роботи викладач виймає з приладів діаграмні стрічки і видає їх бригаді студентів.

4.4 Опрацювання результатів експерименту

Побудувати графіки кінетики вільної і утрудненої усадки та зміни температури сплаву.

Розрахувати величину вільної та утрудненої усадки сплаву за формулою

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} 100\% ,$$

де Δl - зміна лінійного розміру зразка при його повному охолодженні (визначається з кривої усадки на діаграмній стрічці з урахуванням характеристики давача 7), мм;

l_0 - початкова відстань між рухомим і нерухомим стрижнями, мм.

Порівняти отримані результати з практичними значеннями усадки ливарних сплавів, наведеними в табл.4.2.

Таблиця 4.2

Ливарна усадка сплавів

Сплав	Усадка, %, залежно від конфігурації виливків		
	прості	середні	складні
Чавун сірий	0,9-1,0	0,8-0,9	0,7-0,8
Сталь	1,7-2,0	1,4-1,6	1,2-1,3
Al - сплави	1,4-1,6	1,2-1,4	1,0-1,2

4.5 Зміст звіту

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- порядок виконання роботи та схему установки;
- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиць та графіків;
- висновки;

Лабораторна робота № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ УСАДКИ СПЛАВІВ

5.1 Мета роботи та об'єкт дослідження

Мета роботи: експериментально дослідити об'ємну усадку сплавів залежно від температури їх заливання.

Робоче завдання: визначити об'єм відкритої усадкової раковини та закритих пор. Розрахувати коефіцієнт відносної об'ємної усадки сплаву при різних температурах заливання.

Об'єкт дослідження – зразки для визначення об'ємної усадки.

5.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

5.2.1 Загальні відомості

Густина більшої частини металів і сплавів при охолодженні підвищується, відповідно зменшується питомий об'єм - величина, протилежна густині. У зв'язку з цим спочатку неперервно зменшується об'єм розплаву, залитого в ливарну форму, вилівка, що поступово твердіє і, нарешті, твердого вилівка при зміні температури від температури кристалізації до нормальної. Якщо уявити, що поступове охолодження розплаву в ливарній формі відбувається лише по бічних і донній поверхнях, то зміна об'єму супроводжуватиметься зниженням рівня розплаву у формі. Це проявляється в утворенні концентрованих усадкових раковин і усадкових пор, що схематично показано на рис.5.1.

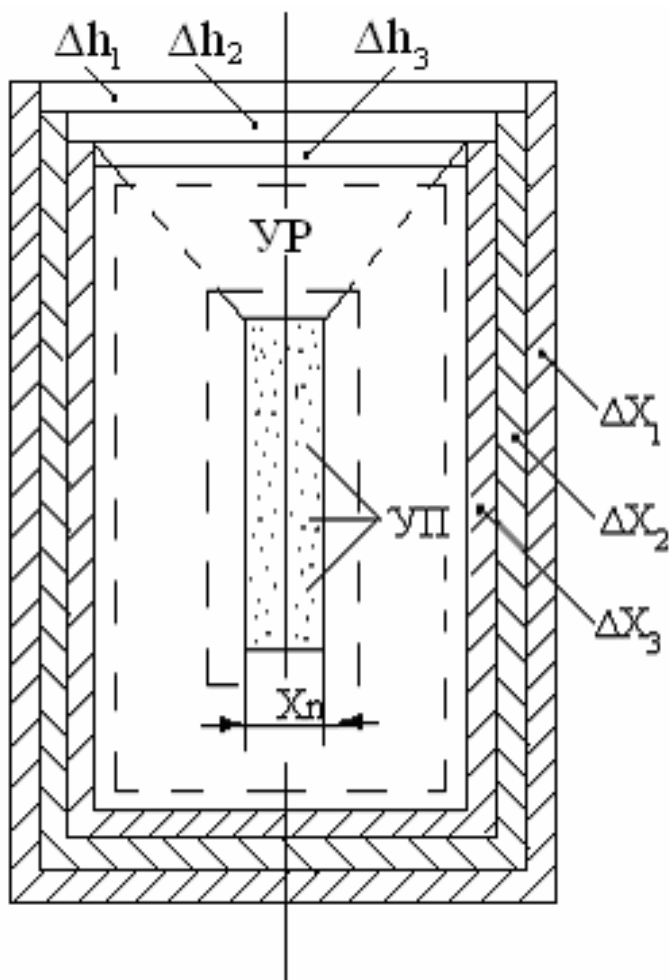


Рисунок 5.1 Схема утворення усадкової раковини та осьової пористості

Якщо за час Δt на цих поверхнях утворився затверділий шар товщиною Δx_1 , то це супроводжувалося зменшенням його об'єму внаслідок усадки в рідкому стані та при твердінні. Це спричинило зменшення рівня рідкого металу в порожнині на величину Δh_1 (рис.5.1).

При подальшому утворенні 2-го, 3-го і т.д. шарів відбувається відповідне зниження рівня рідкого металу в порожнині на величину Δh_2 і т.д. Таким чином утворюється усадкова раковина УР. При пересуванні фронту кристалізації температура рідкої серцевини виливка поступово знижується.

Вона збагачується неметалічними включеннями, розчиненими газами, кристалами твердої фази і її рідкотекучість зменшується. В певний момент часу при якійсь товщині x_n рідка серцевина втрачає здатність опускатися під дією сил земного тяжіння. При подальшому її твердінні і відбувається утворення усадкової пористості УП, яка в цьому випадку називається осьовою.

Зміна об'єму, що відбувається при охолодженні виливка, який затвердів,

виявляється в зменшенні його лінійних розмірів. Отже, відносна загальна об'ємна усадка металу чи сплаву ε_{Σ} складається з відносної усадки в рідкому стані ε_p , усадки в процесі кристалізації $\varepsilon_{кр}$ та усадки в твердому стані ε_t , тобто загальна (повна) відносна об'ємна усадка дорівнює алгебраїчній сумі відносної зміни об'єму вилівка на кожному з трьох періодів охолодження:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_p + \varepsilon_{кр} + \varepsilon_t; \quad (5.1)$$

Співвідношення об'ємів усадкової раковин і пор у виливках залежить від характеру кристалізації сплаву, насамперед від інтервалу кристалізації, та умов охолодження. Якщо сплав не має інтервалу кристалізації, вилівок за будь-яких умов охолодження твердіє поступово шляхом неперервного наростання твердого шару. Тому об'ємна усадка при кристалізації проявляється у вигляді зосередженої усадкової раковини.

Якщо сплав має інтервал кристалізації, у виливку, що твердіє, з'являється двофазна область. Доти, доки в середній частині вилівка міститиметься рідкий сплав, об'ємна усадка при кристалізації проявлятиметься в утворенні усадкової раковини. Коли ж рідина зникне і двофазна область пошириться на всю центральну частину вилівка, усадочна раковина припинить заглиблюватися і почне утворюватися пористість у середній частині вилівка. Пористість утворюється, по-перше, у результаті відтоку розплаву на заповнення (живлення) периферійних шарів двофазної області, що тверднуть, а по-друге - унаслідок усадки при кристалізації розплаву між розгалуженнями дендритів у самій двофазній області.

Об'єм усадкової пористості у виливку визначається розмірами двофазної області на кінцевій стадії твердіння, кількістю розплаву та величиною об'ємної усадки. Отже, у загальному вигляді об'єм усадкової пористості у виливку має залежати від величини інтервалу кристалізації сплаву, розподілу температури по перерізу вилівка, швидкості кристалізації сплаву (інтенсивності наростання твердої фази в межах інтервалу кристалізації) та величини його об'ємної усадки. Умови охолодження вилівка також впливають на утворення усадкових порожнин.

Збільшення інтенсивності охолодження вилівка в процесі твердіння

приводить до скорочення двофазної області, об'єм усадкової пористості зменшується, а об'єм усадкової раковини збільшується. Зменшення інтенсивності охолодження виливка спричиняє протилежні зміни: об'єм усадкової пористості збільшується, а усадкової раковини зменшується. У разі достатньо малої інтенсивності охолодження двофазна область поширюється на весь переріз виливка, і усадкова раковина зовсім не утворюється, об'ємна усадка проявляється лише у вигляді розсіяної усадкової пористості по всьому об'єму виливка.

Подібне зустрічається у виливках із сплавів з широким інтервалом кристалізації, які одержують у формах, виготовлених із матеріалів, що мають малу теплоакумулюючу здатність: у виливках із сплавів алюмінію з інтервалом кристалізації понад 80°C і у виливках з олов'яних бронз із вмістом 5-10 % олова, які одержують у піщаних формах.

Експериментально об'ємну усадку сплавів визначають на спеціальних виливках-пробах простої форми /куля, куб, конус, циліндр/.

Коефіцієнт об'ємної усадки можна визначити за формулою:

$$\varepsilon_v = \frac{V_{\text{ф}} - V_{\text{пр}}}{V_{\text{пр}}} 100\%, \quad (5.2)$$

де $V_{\text{ф}}$, $V_{\text{пр}}$ - об'єм відповідно форми та проби, см³.

5.2.2 Устаткування, прилади та матеріали

Для визначення об'ємної усадки, об'єму відкритих усадочних раковин та загального об'єму усадочних пор у сплавах найчастіше застосовують конусну пробу (рис. 5.2).

Робочу порожнину конусної проби 6 виконують із піщаної формувальної суміші 2 і розміщують у верхній 1 та нижній 4 опоках. У порожнину 6 заливають досліджуваний сплав знизу через стояк 3 та живильник 5. За рахунок конусності робочої порожнини форми, верхнього кільцевого металевого холодильника 7 та сухого стрижня 8, який утримується вантажем 9, у пробі створюються умови для направленої твердіння металу та утворення концентрованої відкритої раковини у верхній частині конуса.

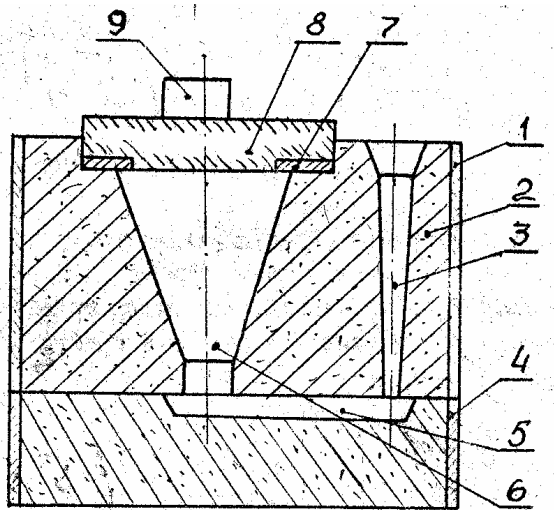


Рисунок 5.2 Форма для одержання конусної проби при визначенні об'ємної усадки сплавів

1, 4 - опоки; 2 - суміш; 3 - стояк; 5 – ливниковий хід; 6 – порожнина форми;
7 - холодильник; 8 - стрижень; 9 - вантаж

Нижня циліндрична частина проби кристалізується без усадкових порожнин. Цю частину використовують як еталонну при визначенні густини досліджуваного сплаву.

Об'єм відкритої усадкової раковини V_p вимірюють шляхом заливання її гасом з мірної бюретки. Загальний об'єм усадкових пор ΣV_p визначають непрямим способом. Для цього спочатку визначають густину зразка, який вирізається з циліндричної частини конусної проби 6. Зважуючи циліндричний зразок у повітрі та рідині (гідростатичне зважування), визначають густину сплаву, $\rho_{\text{спл}}$, г/см^3 :

$$\rho_{\text{спл}} = \frac{\rho_{\text{рід}} \cdot m_{\text{пов}}}{m_{\text{пов}} - m_{\text{рід}}}; \quad (5.3)$$

де $\rho_{\text{рід}}$ - густина рідини, в якій зважують зразок, г/см^3 ;

$m_{\text{пов}}$, $m_{\text{рід}}$ - маса зразка відповідно в повітрі та рідині, г.

Для зручності зважування зразок підвішують на капроновій нитці, маса та об'єм якої не спричинюють великої похибки в результаті вимірювання густини сплаву.

Потім визначають об'єм конусної проби $V_{\text{к.пр}}$, см^3 також гідростатичним зважуванням, тобто визначенням маси конусної проби в повітрі та рідині:

$$V_{\text{к.пр}} = \frac{M_{\text{к.пов}} - M_{\text{к.рід}}}{\rho_{\text{рід}}}; \quad (5.4)$$

де $M_{\text{к.пов}}$, $M_{\text{к.рід}}$ - маса конусної проби відповідно в повітрі та рідині, г.

За визначеними густиною сплаву $\rho_{\text{спл}}$ та масою конусної проби в повітрі $M_{\text{к.пов}}$ визначають, власне, об'єм сплаву в конусній пробі $V_{\text{к.спл}}$, см^3 :

$$V_{\text{к.спл}} = \frac{M_{\text{к.пов}}}{\rho_{\text{спл}}}; \quad (5.5)$$

Сумарний об'єм усадкових пор у конусній пробі $\Sigma V_{\text{п}}$, см^3 , буде:

$$\Sigma V_{\text{п}} = V_{\text{к.пр}} - V_{\text{к.спл}}$$

Таким чином, загальний об'єм усадкових порожнин V_{Σ} , см^3 , складатиме:

$$V_{\Sigma} = V_{\text{п}} + \Sigma V_{\text{п}}.$$

5.2.3 Заходи безпеки

При виконанні досліджень треба виконувати загальні правила з техніки безпеки, що викладені у вступі.

5.2.4 Контрольні запитання та завдання

1. Розкрийте механізм утворення усадкової раковини.
2. Чому дорівнює загальна об'ємна усадка металу чи сплаву?
3. Від чого залежить співвідношення об'ємів усадкової раковин і пор у виливках?
4. В якому випадку об'ємна усадка при кристалізації проявляється у вигляді зосередженої усадочної раковини?
5. Яким чином визначають об'єм відкритої усадкової раковини?
6. Наведіть послідовність операцій при визначенні густини сплаву.

5.3 Порядок виконання роботи

Виготовити три форми для одержання конусної проби.

Залити форми сплавом при різних температурах, зазначених викладачем. Температуру сплаву контролювати за допомогою термопари занурення. Значення температури заливання занести до таблиці 5.1.

Після охолодження залитих конусних проб до кімнатної температури вибити виливки з форм, відрізати циліндричну (еталонну) частину від конусної

проби, промаркувати конусні проби та еталонні частини.

Визначити об'єм відкритих усадкових раковин V_p шляхом заливання їх гасом з мірної бюретки. Результати вимірювань занести до таблиці 5.1.

Виконати гідростатичне зважування еталонних циліндричних частин на аналітичних терезах. Значення $m_{пов}$ та $m_{рід}$ занести до таблиці 5.1.

Виконати гідростатичне зважування конусних проб. Значення $M_{к.пов}$ та $M_{к.рід}$ до таблиці 5.1.

5.4 Опрацювання результатів експерименту

Розрахувати густину сплаву $\rho_{спл}$, об'єм конусної проби $V_{к.пр}$, об'єм металу в конусній пробі $V_{к.спл}$, сумарний об'єм усадкових пор у конусній пробі $\Sigma V_{п}$ і загальний об'єм усадкових порожнин V_{Σ} . Результати розрахунків занести до таблиці 5.1.

Розрахувати коефіцієнт відносної об'ємної усадки сплаву при різних температурах заливання:

$$\varepsilon_v = \frac{V_{\Sigma}}{V_{к.пр} + V_p} 100\% . \quad (5.6)$$

Побудувати графіки залежності сумарного об'єму усадкових порожнин у конусній пробі, сумарного об'єму закритої усадкової пористості та об'єму відкритої усадкової раковини від температури заливання сплаву.

Зробити висновки.

Таблиця 5.1

Результати експериментів та розрахунків

$t_{зал},$ $^{\circ}C$	$V_{p},$ $см^3$	$m_{пов},$ Г	$m_{рід},$ Г	$\rho_{спл},$ Г/см ³	$M_{к.рід},$ Г	$M_{к.пов},$ Г	$V_{к.пр},$ см ³	$V_{к.спл},$ см ³	$\Sigma V_{п},$ см ³	$V_{\Sigma},$ см ³	$\varepsilon_v,$ %

5.5 Зміст звіту

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- порядок виконання роботи та схему установки;
- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиць та графіків;
- висновки;

Лабораторна робота № 6

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЛИВАННЯ ТА МАТЕРІАЛУ ФОРМИ НА РІДКОТЕКУЧИСТЬ СПЛАВІВ

6.1 Мета роботи та об'єкт дослідження

Мета роботи: експериментально дослідити рідкотекучість сплавів залежно від температури заливання та матеріалу ливарної форми.

Робоче завдання: засвоїти метод визначення рідкотекучості сплавів залежно від їх температури заливання та матеріалу ливарної форми.

Об'єкт дослідження – ливарні сплави.

6.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

6.2.1 Загальні відомості

Рідкотекучістю розплавленого металу чи сплаву називають його здатність заповнювати порожнину ливарної форми, чітко та точно відтворювати її конфігурацію та обриси.

Залежно від умов визначення розрізняють істинну, умовно-істинну та практичну рідкотекучість (рис.6.1).

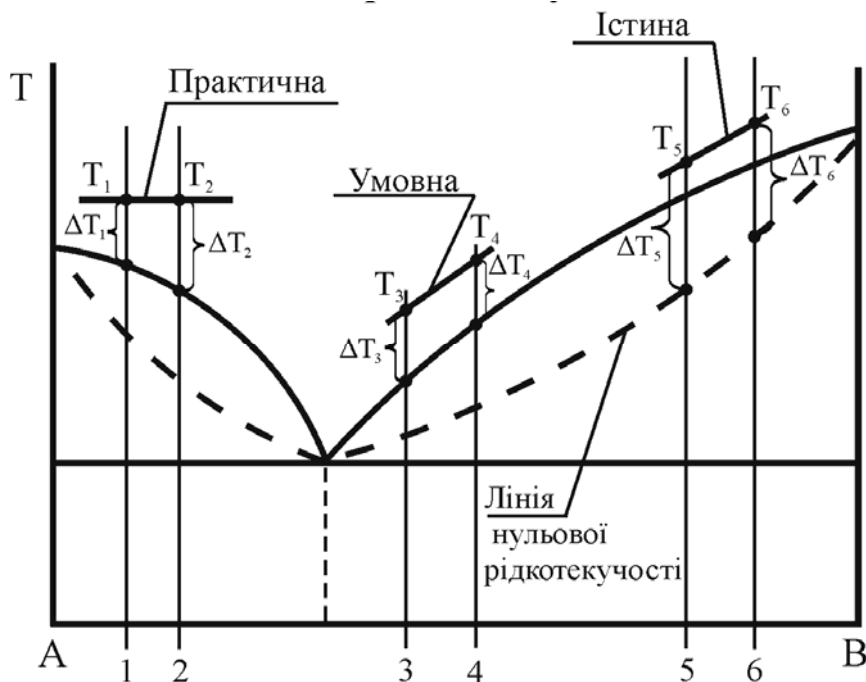


Рисунок 6.1 Визначення температури заливання при контролі рідкотекучості

Істинна рідкотекучість сплавів визначається при однаковому перегріванні вище температури нульової рідкотекучості. Нульова рідкотекучість сплавів, тобто температура, при якій сплав втрачає рухомість, настає при температурі, що лежить між температурами (лініями) ліквідуса та солідуса при відповідній кількості твердої фази. Відомо, що нульова рідкотекучість чавуну спостерігається при концентрації твердої фази близько 30%, а сталі - близько 20%. Практично важко визначити температуру нульової рідкотекучості, тому визначають не істинну, а умовно істинну рідкотекучість сплавів при однаковому перегріванні їх вище температури ліквідуса.

Під практичною розуміють рідкотекучість сплавів при сталій температурі заливання для сплавів однієї системи. У цьому разі різні сплави перегріваються вище температури ліквідуса та нульової рідкотекучості по різному (рис.6.1).

На рідкотекучість впливає характер кристалізації сплаву. Чисті метали, евтектичні сплави та інтерметалеві сполуки, які кристалізуються при сталій температурі з мінімальним розвитком двофазної області, утворюють малорозгалужені дендрити. Тому вони мають більшу істинну рідкотекучість, ніж сплави тієї самої системи, що кристалізуються в інтервалі температур, для яких характерні більший розвиток двофазної області та велика розгалуженість дендритів твердої фази.

При збільшенні величини інтервалу кристалізації істинна рідкотекучість сплаву зменшується. У той самий час можуть дещо підвищитися умовно істинна і особливо практична рідкотекучості, оскільки збільшується інтервал між температурою нульової рідкотекучості та температурою заливання.

На рідкотекучість істотно впливає теплота кристалізації сплаву. Чим більше теплоти виділяється при кристалізації, тим повільніше відбувається твердіння і вища рідкотекучість сплаву.

Теплоємність і теплопровідність істотно впливають на відведення теплоти в ливарну форму від металу, що заливається. Чим вищі ці величини у металі і матеріалі форми, тим швидше відбувається охолодження і нижча рідкотекучість сплаву.

Поверхневий натяг і змочування стінок форми ливарними сплавами впливають на заповнення вузьких каналів. Переважна більшість сплавів не змочують стінок форми, тому капілярні сили перешкоджають відтворенню тонкого рельєфу. Чим більші поверхневий натяг сплаву та крайовий кут змочування поверхні ливарної форми і менші розміри виступів та западин на поверхні, тим важче забезпечити точне відтворення виливом рельєфу форми. Цьому також перешкоджають оксидні плівки, що утворюються на поверхні розплавів. Якщо метал змочує форму, то збільшується площа поверхні контакту. А це, у свою чергу, може прискорити охолодження і зменшити рідкотекучість сплаву.

На рідкотекучість істотно впливає хімічний склад металів і сплавів. Чисті метали, а також евтектичні сплави мають достатньо високу рідкотекучість. Сплави, які є твердими розчинами та хімічними сполуками, мають незадовільну рідкотекучість.

Для визначення рідкотекучості використовують проби сталої та змінної площі перерізу. До проб сталої площі перерізу належать пруткова, U- подібна та спіральна (рис.6.2.). Змінну площу перерізу мають клинова та кулькова проби. За допомогою проб сталої площі перерізу оцінюють здатність сплавів заповнювати довгі порожнини форми, а за допомогою кулькових та клинових проб - здатність сплаву заповнювати тонкі канали та порожнини у формі.

Для визначення рідкотекучості за допомогою проб сталої площі перерізу довжину та площу перерізу порожнини форми встановлюють такими, щоб метал до моменту припинення заливання заповнив порожнину не до кінця. Мірою рідкотекучості при використанні цих проб є довжина одержаного прутка за добраних умов заливання та охолодження сплаву. За допомогою проб сталої площі перерізу встановлюють зв'язок рідкотекучості сплаву з його положенням на діаграмі стану. У більшості випадків рідкотекучість збільшується зі зменшенням інтервалу кристалізації, хоча пряма залежність відсутня.

6.2.2 Устаткування, прилади та матеріали

Для вимірювання рідкотекучості металів і сплавів найчастіше застосовують спіральну пробу (рис.6.2,в).

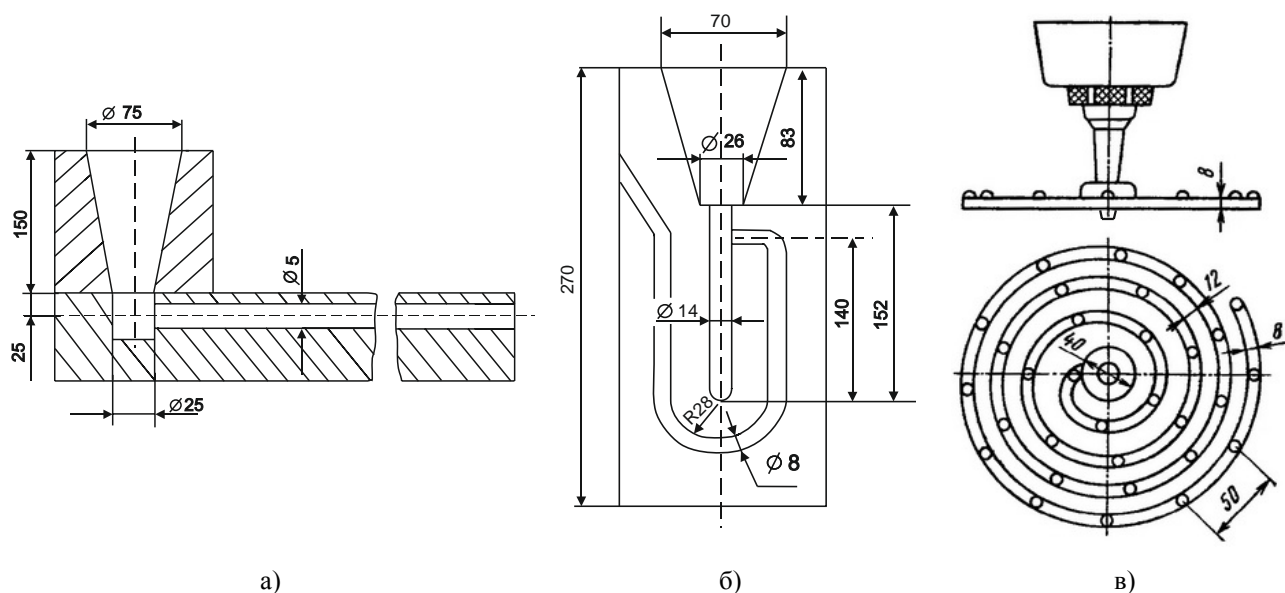


Рисунок 6.2 Проби на рідкотекучість:

а – з горизонтальним вимірювальним каналом; б – U-подібна; в – спіральна

Спіральний канал має в перерізі трапецевидну форму. При заливанні складену з двох половин форму встановлюють горизонтально. У нижній півформі розміщують спіральні канали проби та металоприймник, у верхній - ливникову чашу та стояк. Для забезпечення однакового металостатичного напору стояк попередньо перекривають пробкою, яку видаляють після наповнення чаші металом. Для спрощення вимірювань у спіральних каналах роблять заглиблення через кожні 50 мм. Вони відтворюються на пробі у вигляді виступів. По цих виступах визначають довжину спіралі.

6.2.3 Заходи безпеки

При виконанні досліджень треба виконувати загальні правила з техніки безпеки, що викладені у вступі.

6.2.4 Контрольні запитання та завдання

1. Що таке рідкотекучість металу чи сплаву? Види рідкотекучості.
2. Як визначається істинна рідкотекучість?

3. Від чого залежить рідкотекучість металів і сплавів?
4. Які проби використовують для визначення рідкотекучості?
5. Де знаходиться лінія нульової рідкотекучості на діаграмі стану?
6. Наведіть послідовність операцій при проведенні досліджень.

6.3 Порядок виконання роботи

Виготовити з піщано-глинистої формувальної суміші три-чотири форми спіральної проби для визначення рідкотекучості сплаву.

Підготувати металеву форму спіральної проби (кокіль).

Залити виготовлені форми та кокіль при різних температурах досліджуваного сплаву.

Після вибивання та охолодження одержаних спіральних проб визначити рідкотекучість сплаву у використаних формах.

Результати вимірювань занести в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Результати експериментів

Номер проби	Температура заливання сплаву, °С	Рідкотекучість, мм, у формі	
		піщаній	металевій
1			
2			
3			

6.4 Опрацювання результатів експерименту

За одержаними даними побудувати графік залежності рідкотекучості сплаву від температури заливання для кожної з використаних форм. Зробити висновки.

6.5 Зміст звіту

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- порядок виконання роботи та схему установки;
- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиць та графіків;
- висновки;

Лабораторна робота № 7

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНФІГУРАЦІЇ ВИЛИВКА НА ТРИВАЛІСТЬ ЙОГО ТВЕРДІННЯ В ЛИВАРНІЙ ФОРМІ

7.1 Мета роботи та об'єкт дослідження

Мета роботи: експериментально дослідити тривалість твердіння виливків елементарної конфігурації у ливарній формі.

Робоче завдання: визначити вплив конфігурації виливка на тривалість його твердіння в ливарній формі. Порівняти теоретичне (розрахункове) та експериментальне співвідношення тривалостей твердіння виливків елементарної конфігурації у ливарній формі.

Об'єкт дослідження – виливки різної конфігурації.

7.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

7.2.1 Загальні відомості

Тривалість твердіння - це відтинок часу, протягом якого сплав перебуває у ливарній формі в двофазному твердо-рідкому стані в температурному інтервалі між температурами ліквідусу та солідусу.

Відтинок часу повного твердіння виливка експериментально визначають за кривою охолодження сплаву в термічному вузлі виливка. В елементарних за конфігурацією виливках (плита, циліндр, куля) термічний вузол, в якому закінчується твердіння останніх часток рідкої фази, розміщується дещо вище центра ваги виливка. Саме в цьому умовному вузлі розміщують спай термопари для реєстрації кривої охолодження сплаву. Під час кристалізації швидкість охолодження виливка в цілому зменшується, що пов'язано зі зменшенням температурного градієнта між ливарною формою та виливком. Проте під час фазових перетворень на кривій охолодження, що реєструється спеціальним приладом на діаграмній стрічці в координатах "час - температура", виявляються перегини та температурні зупинки, пов'язані з екзотермічним тепловим ефектом відповідних перетворень. Початком твердіння слід вважати момент появи на

кривій охолодження першого перегину при температурі ліквідусу. При температурі солідусу на кривій охолодження з'являється довга температурна зупинка, пов'язана, як правило, з кристалізацією евтектики. Момент подальшого зниження температури після теплової зупинки свідчить про закінчення твердіння рідкої фази в термічному вузлі виливка, тобто про закінчення твердіння сплаву у ливарній формі.

Тривалість твердіння за експериментальними даними кривої охолодження:

$$\tau_T = \frac{l}{v_{д.с}}, \text{с}; \quad (7.1)$$

де l - довжина відрізка між проекціями точок початку та закінчення твердіння на вектор руху діаграмної стрічки приладу, м;

$v_{д.с}$ - швидкість руху діаграмної стрічки приладу, м/с.

Тривалість твердіння потрібно знати для розрахунку мінімального інтервалу часу між заливанням і вибиванням форм на ливарному конвеєрі, прогнозування структури і властивостей сплаву у виливках, розрахунку розмірів надливів та холодильників. На практиці для визначення орієнтовної тривалості твердіння виливка застосовують формулу, отриману на основі так званого закону квадратного кореня твердіння виливка:

$$\tau_T = \frac{R_{\Pi}^2}{K^2}, \text{с}; \quad (7.2)$$

де R_{Π} - приведена товщина виливка, м; K - коефіцієнт твердіння виливка з даного металу в формі з певного матеріалу, м/с^{1/2}.

Приведена товщина - це відношення об'єму виливка V_B до площі поверхні його охолодження F_B :

$$R_{\Pi} = \frac{V_B}{F_B}, \text{м}; \quad (7.3)$$

Приведену товщину розраховують за кресленням виливка, його моделлю чи натуральним зразком. Застосування поняття приведеної товщини по суті рівнозначно порівнянню температурного поля виливка реальної конфігурації, та розмірів з температурним полем теоретично необмеженого за довжиною та

шириною плоского виливка типу "плита" з двобічним відведенням теплоти, який має приведену товщину. Вважається, що в різних виливках (або в елементарних за конфігурацією частинах виливка) з однаковою приведеною товщиною тривалість твердіння за інших однакових умов (теплофізичні властивості форми, температура заливання та хімічний склад сплаву тощо) однакова.

Для розрахунку тривалості твердіння виливка складної конфігурації його спочатку умовно поділяють на ряд елементарних фігур – плоску плиту, циліндр, порожнистий циліндр, куб, кулю. Елементарна частина з найбільшою приведеною товщиною і визначає тривалість твердіння всього виливка.

Якщо довжина та ширина плоскої плити в десять і більше разів перевищують її товщину, а висота циліндру більш ніж в десять разів перевищує його діаметр, то охолодженням цих виливків з торців можна знехтувати. В цьому разі приведені товщини плоскої плити $R_{п.п}$ товщиною δ , приведена товщина циліндру $R_{п.ц}$ радіусом $R_{ц}$ та приведена товщина кулі $R_{п.к}$ радіусом $R_{к}$, розраховані за формулою (7.3) складатимуть:

$$R_{п.п} = \frac{\delta}{2}; \quad R_{п.ц} = \frac{R_{ц}}{2}; \quad R_{п.к} = \frac{R_{к}}{3}; \quad (7.4)$$

Згідно з формулою (7.2) при однаковому значенні K співвідношення тривалостей твердіння виливків пропорційне співвідношенню квадратів їх приведених товщин, тобто:

$$\tau_{п.п} : \tau_{п.ц} : \tau_{п.к} = R_{п.п}^2 : R_{п.ц}^2 : R_{п.к}^2; \quad (7.5)$$

Якщо взяти плоску плиту, циліндр та кулю, для яких $\delta_{п} = 2R_{ц} = 2R_{к}$, то з урахуванням формул (7.4) співвідношення тривалостей твердіння цих виливків буде:

$$\tau_{п.п} : \tau_{п.ц} : \tau_{п.к} = (1)^2 : \left(\frac{1}{2}\right)^2 : \left(\frac{1}{3}\right)^2 = 1 : 0,25 : 0,11. \quad (7.6)$$

У даній роботі необхідно практично визначити тривалості твердіння та співвідношення між ними для плити, циліндра та кулі з однаковим основним геометричним розміром.

7.2.2 Устаткування, прилади та матеріали

Для визначення практичної тривалості твердіння одночасно трьох виливків розроблено установку, схему якої показано на рис.7.1.

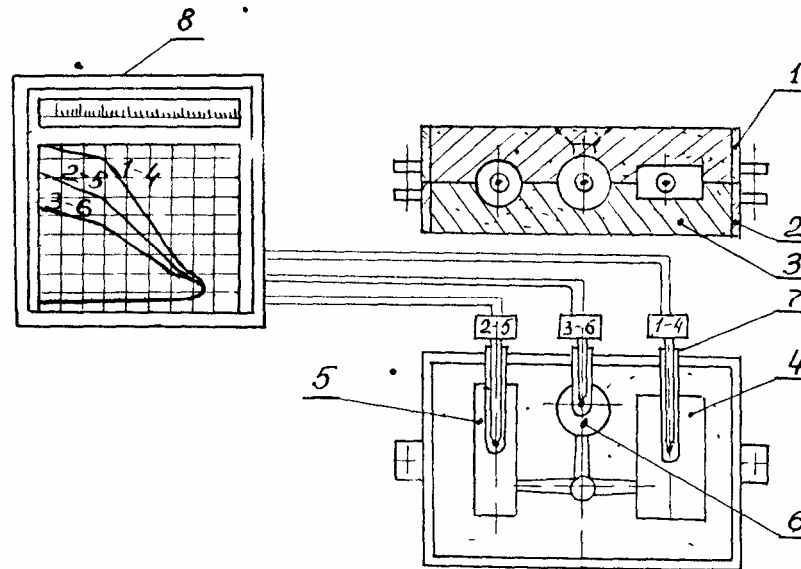


Рисунок 7.1 Схема установки для запису кривих охолодження виливків:
1 – верхня півформа; 2 – нижня півформа; 3 – формувальна суміш;
4 – плита; 5 – циліндр; 6 – куля; 7 – термопары в чохлах; 8 - потенціометр

У верхній 1 і нижній 2 півформах з піщано-глинистої формувальної суміші 3 розміщуються порожнини для отримання плити 4, циліндра 5 і кулі 6, які мають спільну ливникову систему. Перед складанням форми в площині її розняття розміщують три кварцових чохлах 7 з термопарами так, щоб спай кожної термопары розміщувався в термічному вузлі виливка. Термопары підмикають до електронного автоматичного самозаписуючого потенціометра 8. Форму заливають рідким алюмінієвим сплавом при температурі 600...700°C. Після заливання на діаграмній стрічці потенціометра фіксуються одночасно криві охолодження плити, циліндра та кулі. Позначення на термопарах 1-4, 2-5, 3-6 збігаються з позначенням точок на кривих охолодження. Тривалість твердіння кожного виливка визначають згідно з кривою охолодження за формулою (7.1).

7.2.3 Заходи безпеки

При виконанні досліджень треба виконувати загальні правила з техніки

безпеки, що викладені у вступі.

7.2.4 Контрольні запитання та завдання

1. Що таке тривалість твердіння виливка?
2. За якою формулою розраховують тривалість твердіння?
3. Що таке приведена товщина виливка?
4. На які елементарні фігури ділять виливки складної конфігурації?
5. За якою формулою розраховують приведену товщину виливка типу куля?
6. Наведіть послідовність операцій при проведенні досліджень.

7.3 Порядок виконання роботи

Виготовити ливарну форму та встановити в неї кварцові чохла так, як показано на рис.7.1.

Помістити в чохла три термопари і підімкнути їх до електронного потенціометра.

Увімкнути потенціометр за одну-дві хвилини до заливання форми. Увімкнути двигун руху діаграмної стрічки.

Залити форму алюмінієвим сплавом при температурі 600...700 °С.

Спостерігати за реєстрацією кривих охолодження на діаграмній стрічці потенціометра.

Після зниження температури виливків до 500 °С вимкнути двигун руху діаграмної стрічки та вимкнути прилад з електромережі.

Витягти термопари з чохлів. Вибити форму.

Виміряти габаритні розміри кожного виливка і отримані дані занести до таблиці 7.1.

7.4 Опрацювання результатів експерименту

Використовуючи криві охолодження, визначити практичну тривалість твердіння кожного виливка і отримані дані занести до таблиці 7.1.

Розрахувати практичне співвідношення тривалостей твердіння виливків,

узявши за одиницю тривалість твердіння плити. Результати занести до таблиці 7.1.

Розрахувати теоретичне співвідношення тривалості твердіння виливків, узявши як одиницю тривалість твердіння плити. Результати занести до таблиці 7.1. Зробити висновки.

Таблиця 7.1

Результати експериментів та розрахунків

Виливок	Практичні дані		Розрахункові дані		
	Тривалість твердіння, с	Співвідношення тривалостей твердіння	Розміри виливка, м (довжина, ширина, товщина, діаметр)	R_p , м	Співвідношення тривалостей твердіння
Плита		1			1
Циліндр					
Куля					

7.5 Зміст звіту

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- порядок виконання роботи та схему установки;
- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиць та графіків;
- висновки;

Лабораторна робота № 8

КОМП’ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТВЕРДІННЯ ВИЛИВКА

8.1 Мета роботи та об’єкт дослідження

Мета роботи: дослідити процес комп’ютерного моделювання кінетики твердіння виливка.

Робоче завдання: засвоїти методи моделювання процесів твердіння виливків на ЕОМ. Розрахувати приведену товщину стінок та тривалість твердіння для виливків різної форми.

Об'єкт дослідження – комп'ютерна програма SICASY.

8.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

8.2.1 Загальні відомості

Якість виливків значною мірою визначається кінетикою твердіння, під якою розуміють швидкість утворення в твердіючому розплаві твердої фази, а також розподіл її по об'єму вилівка в будь-який момент часу. Кінетика твердіння визначається насамперед швидкостями відведення від розплаву теплоти перегрівання та теплоти кристалізації, які, у свою чергу, залежать від теплофізичних властивостей матеріалів вилівка та форми, значень теплофізичних параметрів на межах поділу “вилівок – форма”, “форма – навколишнє середовище”.

Зміна температури T в будь-якій точці твердого тіла в процесі його охолодження τ описується рівнянням Фур'є, яке в загальному вигляді записують так:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (8.1)$$

де a – температуропровідність; x, y, z – координати точки.

Коли в процесі охолодження розплаву утворюється нова тверда фаза, рівняння Фур'є набирає вигляду:

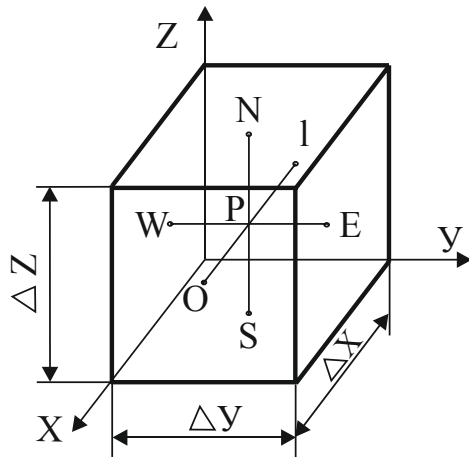
$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \rho_1 L \frac{\partial f_1}{\partial T}, \quad (8.2)$$

де ρ_1 - густина твердої фази; L - питома теплота кристалізації; f_1 - кількість твердої фази.

Рівняння Фур'є не має аналітичного розв'язання, але його можна наближено розв'язати для достатньо малого об'єму з використанням різних чисельних методів - скінченних елементів, граничних елементів, скінченних різниць.

Конкретний метод добирають залежно від складності конфігурації вилівка та форми, їх розмірів, потрібної точності моделювання, припустимої тривалості розрахунку та можливостей використовуваної ЕОМ.

Моделювання процесу твердіння виливка ґрунтується на розподілі об'єму, який досліджується, на скінченну кількість прямокутних паралелепіпедів із сторонами x , y та z (для двовимірного випадку – прямокутників) (рис.8.1), визначення умов на межах елементів і розв'язанні рівняння (8.2) для кожного елемента. Метод скінченних різниць полягає в заміні другої та першої частинних похідних скінченними різницями:



$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_0 - 2T_p + T_1}{\Delta x^2}, \quad (8.3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} \approx \frac{T_p^1 - T_p}{\Delta \tau}, \quad (8.4)$$

Рисунок 8.1 Елементарна частка виливка

де T_0 , T_1 – температури на межах об'єму в напрямі x ;

T_p , T_p^1 – температура в центрі об'єму в момент часу відповідно τ та $\tau + \Delta\tau$; Δx – розмір об'єму в напрямі x .

Зазначимо, що така зміна тим точніша, чим на більшу кількість мікрооб'ємів поділено добраний об'єм.

Підставляючи (8.3) та (8.4) у рівняння (8.2), дістаємо числовий розв'язок рівняння Фур'є для тривимірного випадку:

$$\frac{T_p^1 - T_p}{\Delta \tau} = a \left(\frac{T_0 - 2T_p + T_1}{\Delta x^2} + \frac{T_E - 2T_p + T_W}{\Delta y^2} + \frac{T_N - 2T_p + T_S}{\Delta z^2} \right) + \rho_1 L \frac{f_1^1 - f_1}{T_p^1 - T_p}, \quad (8.5)$$

для двовимірного випадку:

$$\frac{T_p^1 - T_p}{\Delta \tau} = a \left(\frac{T_0 - 2T_p + T_1}{\Delta x^2} + \frac{T_E - 2T_p + T_W}{\Delta y^2} \right) + \rho_1 L \frac{f_1^1 - f_1}{T_p^1 - T_p}, \quad (8.6)$$

де f_1^1 , f_1 – кількість твердої фази при температурі відповідно T_p^1 та T_p .

Розв'язуючи рівняння (8.5) або (8.6) для кожного елемента об'єму виливка та форми в кожний момент часу, дістаємо кінетику твердіння виливка.

У загальному випадку значення ρ , ρ_1 , c , a , λ також є функціями температури, і для забезпечення високої точності моделювання можуть бути розраховані за відомими залежностями.

8.2.2 Устаткування, прилади та матеріали

Програма SICASY реалізує метод скінченних різниць для двовірного чисельного моделювання процесів твердіння виливка в системі “виплинок – форма – навколишнє середовище” з можливістю використання холодильників та ізоляторів. Спрощену блок-схему програми показано на рисунку 8.2. Програма міститься на диску С у каталозі SICASY і запускається з файлу і 9.bat.

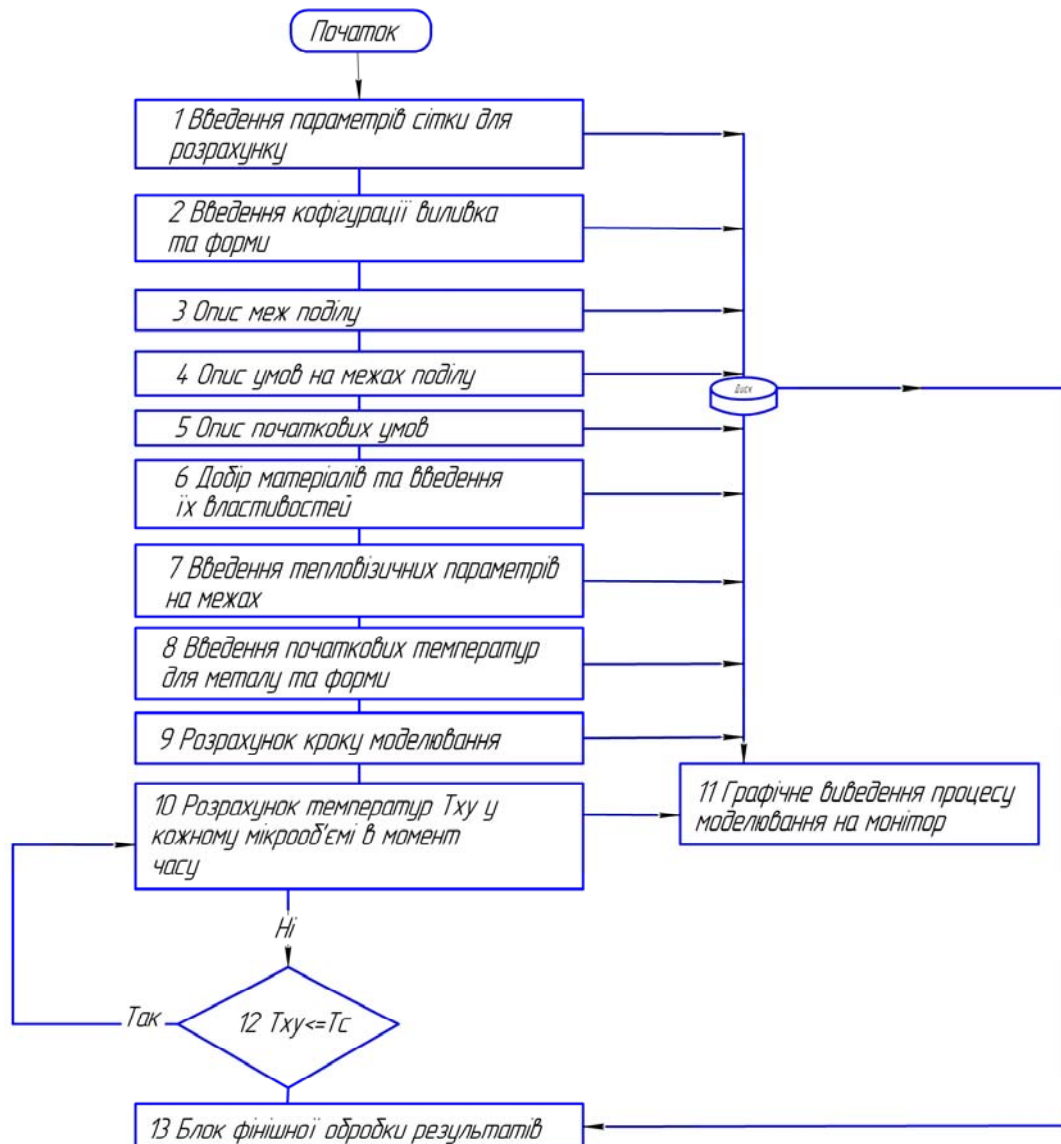


Рисунок 8.2 Блок-схема програми

Для введення конфігурації виливка та форми спочатку вводять "сітку",

тобто добраний для розрахунку переріз розбивають на прямокутні елементи, розмір яких може бути тим більшим, чим меншою є очікувана зміна температури в цій області. Конфігурацію вилівка та форми вводять за готовою сіткою введенням координат прямокутних фрагментів по горизонталі x та вертикалі y . Для даної лабораторної роботи блоки 1-5 виконано раніше, конфігурацію кулі, плити, циліндра та сітку для розрахунків занесено, а результати записано на диск. На запитання програми “Data from disk (Y) or new (N)” необхідно відповісти "Y". Кроки 6-9 виконують у діалоговому режимі, матеріали металу та форми добирають з бази даних програми за вказівкою викладача. Початкова температура металу має бути не нижчою за температуру ліквідуса. Після розрахунку кроку моделювання необхідно ввести крок, з яким зміна температури у добраному перерізі виводитиметься на екран та записуватиметься на диск.

Процес твердіння вилівка графічно зображується на моніторі комп'ютера такими кольорами: червоним - рідкий метал, синім - метал, що затвердів, зеленим - твердо-рідка фаза з температурою, нижчою за точку нульової рідкотекучості, жовтим - ливарна форма.

Після завершення моделювання процесу твердіння програма виходить у меню, за допомогою якого можна добрати ряд додаткових функцій. Для визначення тривалості твердіння різних частин вилівка необхідно, побудувати криві охолодження для окремих точок, для чого добрати пункт меню “Temperature – time curve” і в діалоговому режимі ввести розмірність осей температури та часу, координати точки, для якої необхідно будувати криву, і колір кривої. На одному графіку можна побудувати кілька кривих охолодження. Для виведення графіка на принтер необхідно підготувати принтер та натиснути клавішу “Print Screen”.

8.2.3 Заходи безпеки

При виконанні досліджень треба виконувати загальні правила з техніки безпеки, що викладені у вступі.

8.2.4 Контрольні запитання та завдання

1. Від чого залежить якість виливків?
2. Яким рівнянням описується зміна температури в будь-якій точці твердого тіла в процесі його охолодження?
3. За допомогою якого чисельного методу розв'язують рівняння Фур'є?
4. В чому полягає процес моделювання твердіння виливка?
5. Охарактеризуйте метод скінченних різниць.
6. Від яких параметрів залежить точність моделювання.

8.3. Порядок виконання роботи

Одержати у викладача вихідні дані для моделювання: матеріал виливка і форми, початкові температури для виливка, форми та навколишнього середовища.

Запустити програму, у діалоговому режимі ввести необхідні дані та спостерігати моделювання процесу твердіння.

8.4 Опрацювання результатів експерименту

Після закінчення процесу твердіння згідно з програмою побудувати криві охолодження для центрів виливків “куля”, “циліндр” та “плита”.

За кривими охолодження визначити тривалість твердіння виливків “куля”, “циліндр” та “плита”.

Розрахувати приведену товщину стінок для виливків різної форми та дійти висновку про вплив форми виливка на тривалість його твердіння.

8.5 Зміст звіту

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- порядок виконання роботи та схему установки;
- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиць та графіків;
- висновки;

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Могилатенко В.Г., Пономаренко О.І., Дробязко В.М., Кочешков А.С., Ямшинський М.М. Теоретичні основи ливарного виробництва. Навчальний посібник. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – 280с.
2. Пикунов М.В. Плавка металлов, кристаллизация сплавов, затвердение отливок. -М.: МИСИС, 2005.- 415 с.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Лабораторна робота № 1. Дослідження температурних кривих охолодження металів та сплавів.....	5
Лабораторна робота № 2. Дослідження впливу теплофізичних властивостей матеріалу ливарної форми на кінетику твердіння виливка.....	10
Лабораторна робота № 3. Дослідження залишкових температурних напружень у виливках.....	15
Лабораторна робота № 4. Дослідження кінетики вільної та утрудненої усадки ливарних сплавів.....	20
Лабораторна робота № 5. Дослідження об'ємної усадки сплавів.....	27
Лабораторна робота № 6. Дослідження впливу температури заливання та матеріалу форми на рідко текучість сплавів.....	34
Лабораторна робота № 7. Дослідження впливу конфігурації виливка на тривалість його твердіння в ливарній формі	39
Лабораторна робота № 8. Комп'ютерне моделювання процесу твердіння виливка.....	44
Список рекомендованої літератури.....	50