

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Теоретичні основи ливарного виробництва»
для студентів спеціальностей 136 «Металургія»
освітньої програми «Ливарне виробництво чорних
та кольорових металів і сплавів» та 131 «Прикладна механіка»
освітньої програми «Обладнання та технології ливарного
виробництва» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання

2023

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Теоретичні основи ливарного виробництва» для студентів спеціальностей 136 «Металургія» освітньої програми «Ливарне виробництво чорних та кольорових металів і сплавів» та 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Обладнання та технології ливарного виробництва» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання всіх форм навчання / Укл.: О.Ф.Кузовов, Є.М. Паракневич, Я.А.Василевська – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023. - 28 стор.

Укладачі: О.Ф.Кузовов, доцент, канд. техн. наук
Є.М.Паракневич, доцент, канд. техн. наук
Я.А.Василевська, зав. навч. лабораторії

Рецензент: В.В.Наумик, професор, д-р 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.....	4
1 Лабораторна робота № 1. Визначення лінійної усадки сплаву.....	5
1.1 Теоретична частина.....	5
1.2 Конструкція приладу.....	8
1.3 Обладнання, прилади і матеріали.....	9
1.4 Порядок виконання роботи.....	9
1.5 Зміст звіту.....	10
1.6 Питання для самоконтролю.....	10
2 Лабораторна робота № 2. Вплив температури заливки на об'єм усадкових раковин.....	11
2.1 Теоретична частина.....	11
2.2 Обладнання, прилади і матеріали.....	13
2.3 Порядок виконання роботи.....	13
2.4 Зміст звіту.....	17
2.5 Питання для самоконтролю.....	17
3 Лабораторна робота № 3. Визначення тріщиностійкості ливарного сплаву в умовах утрудненої усадки.....	18
3.1 Теоретична частина.....	18
3.2 Опис приладу для визначення тріщиностійкості.....	18
3.3 Обладнання, прилади і матеріали.....	21
3.4 Порядок виконання роботи.....	21
3.5 Зміст звіту.....	22
3.6 Питання для самоконтролю.....	22
4 Лабораторна робота № 4. Вплив умов охолодження на величину залишкової напруги у виливках.....	23
4.1 Теоретична частина.....	23
4.2 Конструкція технологічної проби.....	24
4.3 Обладнання, прилади і матеріали.....	26
4.4 Порядок виконання роботи.....	26
4.5 Зміст звіту.....	27
4.6 Питання для самоконтролю.....	27
ЛІТЕРАТУРА.....	28

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 неврівноваженими 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 «Машини 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 ЛІНІЙНОЇ УСАДКИ СПЛАВУ

Мета роботи: вивчити теоретичні положення, що пов'язані з розвитком процесу усадки, основні етапи її проходження, наслідки усадки для реальних виливків, термінологію питання, що вивчається; навчитися проводити експеримент по визначенню лінійної усадки, враховувати величину усадки при проектуванні ливарних моделей.

1.1 Теоретична частина

Лінійна усадка – це зменшення всіх лінійних розмірів відливка в процесі його охолодження. Зміни лінійних розмірів починаються з моменту, коли на поверхні виливка створюється досить тверда кірка або скелет затверділих кристалів, здатних протистояти статичному напорові рідкого металу. Для сплавів, що кристалізуються в інтервалі температур, початок лінійної усадки відповідає температурі, близької до солідусу, коли у виливку мається 75-90% твердої фази. Практично можна рахувати, що лінійна усадка – результат охолодження твердіючого виливка.

Величина лінійної усадки

$$\varepsilon_{\text{лін}} = \frac{l_{\text{поч}} - l_{\text{кін}}}{l_{\text{поч}}} \cdot 100\% , \quad (1.1)$$

де $l_{\text{поч}}, l_{\text{кін}}$ – відповідно довжина зразка на початку і в кінці охолодження, мм.

Відповідно до ливарних процесів за початкову довжину приймається розмір ливарної форми, за кінцеву – розмір виливка. При цьому вважається, що розмір ливарної форми дорівнює розміру моделі. Тому формула (3.1) має вигляд

$$\varepsilon_{\text{лін}} = \frac{l_{\text{мод}} - l_{\text{відл}}}{l_{\text{мод}}} \cdot 100\% , \quad (1.2)$$

де $l_{\text{мод}}, l_{\text{відл}}$ – відповідно довжина зразка на початку і в кінці охолодження, мм.

Із цієї формули можна визначити розмір моделі по заданому розміру відливка, але користуватися нею незручно. Тому в ливарному виробництві використовується ливарна усадка $E_{лив}$, яка є різновидом лінійної:

$$E_{лив} = \frac{l_{мод} - l_{відл}}{l_{відл}} \cdot 100\% , \quad (1.3)$$

Використовуючи (1.2) і (1.3) неважко встановити взаємозв'язок між $E_{лив}$ і $E_{лін}$ та показати, що різниця між ними несуттєва.

Формула (1.3) – основна для розрахунку розмірів ливарних моделей. Так, розрахунковий розмір моделі $l_{мод}$ для заданого (по кресленню) розміру виливка

$$l_{мод} = l_{відл} + \frac{l_{відл}}{100\%} \cdot E_{відл} . \quad (1.4)$$

Із формули (1.4) видно, що всі розміри моделі завжди більші розміру виливка на величину ливарної усадки.

Ливарна усадка бував вільною і утрудненою в залежності від конструкції виливка і піддатливості ливарної форми. Утруднена усадка виникає внаслідок механічної взаємодії виливка з формою: тертя їх поверхонь, стиснення виливком виступаючих частин форми і стержня. Крім того, в разі нерівномірної швидкості охолодження різних частин виливка усадка в них реалізується також нерівномірно і неповно. Утруднена усадка є причиною створення у виливках внутрішніх напружень, тріщин та жолоблення.

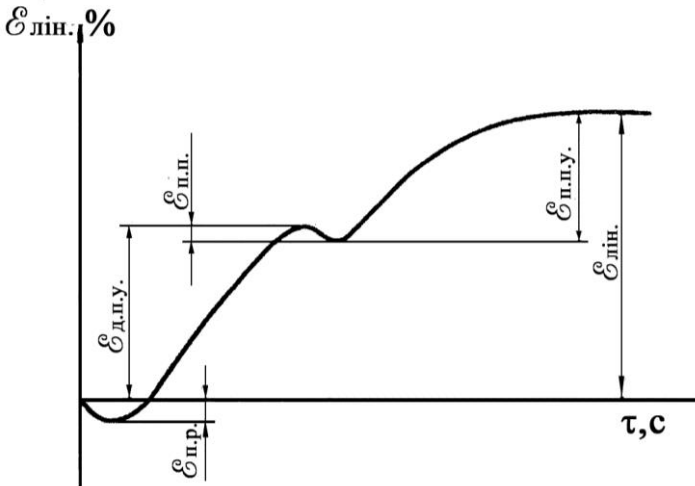
Лінійну усадку для конкретних виливків визначають по довідковій літературі в залежності від роду ливарного сплаву, з урахуванням утрудненої усадки, а також від габаритних розмірів і товщини стінки виливка.

Багато ливарних сплавів мають усадкове розширення – деяке збільшення лінійних розмірів перед початком усадки. Механізм додаткового розширення частіше всього пов'язують з виділенням газів із твердіючого металу внаслідок зменшення їх розчинності при зниженні температури, створенням нових, фаз, наприклад вільного графіту в чавунах, маючих меншу густину в зрівнянні з металевою матрицею, і

іншими явищами. В залізвуглецевих сплавах при температурі 723°C проходять перлітні перетворення, або перехід аустеніту в перліт, який супроводжується також збільшенням лінійних розмірів.

При вивченні лінійної усадки звичайно вимірюють розміри зразка тільки в горизонтальному напрямку. Це пов'язано з тим, що при охолодженні рідкого металу до початку твердіння об'єм його зменшується, викликаючи зниження рівня рідкого металу по висоті. Дякуючи властивості рідини розтікатися, горизонтальні розміри зразка починають мінятися тільки після досягнення температури початку лінійної усадки.

Типова крива лінійної усадки залізвуглецевих сплавів зображена на рис. 1.1.



$\varepsilon_{\text{п.р.}}$ – передусадкове розширення; $\varepsilon_{\text{д.п.у.}}$ – доперлітна усадка;

$\varepsilon_{\text{п.п.}}$ – перлітне перетворення; $\varepsilon_{\text{п.п.у.}}$ – післяперлітна усадка

Рисунок 1.1 – Загальний вид усадки залізвуглецевих сплавів

1.2 Конструкція приладу

В даній роботі використовується прилад І.Ф.Большакова (рис.1.2) удосконаленої конструкції. Основні вузли приладу: піщана ливарна форма зразка 1 у вигляді прямокутника розмірами 250×25×30 мм, корпус 2, індикатор годинникового типу 3, індуктивно-трансформаторний датчик 4 і вторинний записуючий прилад ВФСМ. Останні два вузли є, власно, удосконаленням приладу І.Ф.Большакова і дозволяють автоматично записувати зміни розмірів зразка. За допомогою знімного шаблону в порожнину ливарної форми установлюється дві шпильки 5 і 6 на відстані одна від одної $200 \pm 0,1$ мм. Шпилька 5 жорстко зв'язана з корпусом приладу, завдяки чому пов'язаний з нею кінець зразка не переміщується в процесі усадки. Друга шпилька 6 зв'язана з індикатором і індуктивно-трансформаторним датчиком. В процесі усадки вільний кінець зразка переміщується разом з шпилькою 6 і кареткою 7. Величину переміщення (усадки) визначають по індикатору або по кривій, що записується автоматично на приладі ВФСМ. Для вимірювання температури використовується платиновий-платинова термопара 8, що захищена кварцовим наконечником. Термопару установлюють у термічному центрі зразка і підключають до потенціометру.

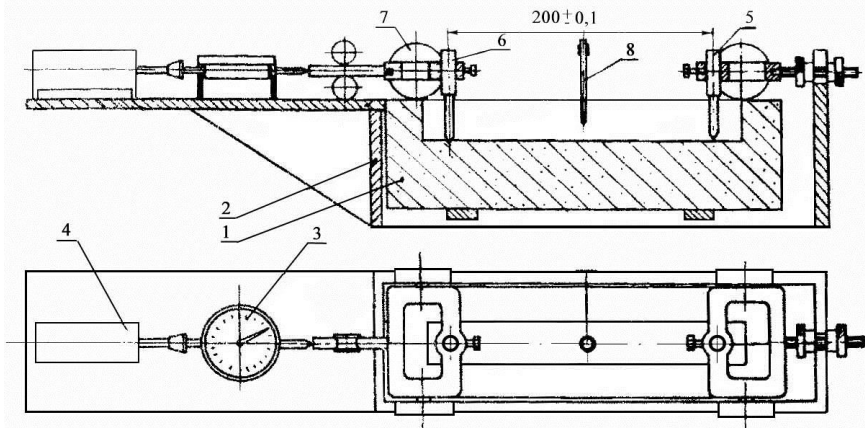


Рисунок 1.2 – Прилад І.Ф.Большакова

1.3 Обладнання, прилади і матеріали

Плавильна індукційна піч; прилад І.Ф.Большакова в кількості 3-4 штуки; автоматичний потенціометр КСП-4 і прилад ВФСМ; термомари ПП або ХА; формовочна суміш; шихта алюмінієвого сплаву.

1.4 Порядок виконання роботи

1.4.1 Розрахувати шихту і підготувати шихтові, матеріали.

1.4.2 Підготувати прилади І.Ф.Большакова, один із яких обладнати індуктивно-трансформаторним датчиком і приладом ВФСМ. При цьому відрегулювати положення штоку індикатора так, щоб одна третина його ходу (біля 3 мм) була призначена для виміру предусадкового розширення, а дві третини – усадці. Шкалу індикатора встановити в нульове положення. Аналогічно відрегулювати положення штоку датчика. Шаблони, які встановлені на шпильках і забезпечують відстань між ними $200 \pm 0,1$ мм, знімаються перед заливкою форми.

1.4.3 Виплавити сплав заданого складу відповідно з вимогами технології плавки.

1.4.4 Залити ливарну форму з перегрівом $30...50^\circ\text{C}$, відкрите дзеркало рідкого металу присипати шаром сухого піску товщиною $5...7$ мм. Перевірити і в разі необхідності відкоригувати положення шкали індикатора в нульовому положенні. Записувати показання індикатора через кожну хвилину на протязі 30 хв., а потім записувати показання через кожні 5 хв. до повного охолодження зразка.

1.4.5 На основі одержаних експериментальних даних треба побудувати графічну залежність зміни довжини зразка з часом. Перевести зміни довжини зразка в лінійну усадку:

$$\varepsilon_{\text{лін}} = \frac{l_{\text{поч}} - l_{\text{кін}}}{l_{\text{поч}}} \cdot 100\% = \frac{\Delta l}{200} \cdot 100\% , \quad (1.5)$$

де Δl – показання індикатора, мм.

Для кінцевого результату розрахувати величину ливарної усадки:

$$\varepsilon_{\text{лив}} = \frac{\Delta l}{200 - \Delta l} \cdot 100\% , \quad (1.6)$$

1.5 Зміст звіту

Коротко описати теоретичну частину; ескіз приладу І.Ф.Большакова (рис. 3.2); привести одержані експериментальні дані і побудувати графік зміни довжини зразка і лінійної усадки від часу; зробити висновки до виконаної роботи.

1.6 Питання для самоконтролю

- 1.6.1 За якою формулою визначають лінійну усадку?
- 1.6.2 За якою формулою визначають ливарну усадку?
- 1.6.3 Як розрахувати розміри моделі для заданого розміру виливка?
- 1.6.4 В чому різниця утрудненої усадки від вільної?
- 1.6.5 Суть передусадкового розширення.
- 1.6.6 Із яких етапів складається лінійна усадка?
- 1.6.7 Як працює прилад І.Ф.Большакова; із яких основних вузлів він складається?
- 1.6.8 Які вимоги пред'являють до методики визначення лінійної усадки?
- 1.6.9 Для яких практичних цілей потрібно знати величину лінійної усадки сплавів?
- 1.6.10 Правила техніки безпеки при виконанні даної роботи.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

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.

2.1 Теоретична частина

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

$$\Delta V = \frac{V_0 - V_1}{V_1} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

$$\Delta l = \frac{l_0 - l_1}{l_1} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

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

$$\Delta V = \Delta V_p + \Delta V_{me} + \Delta V_m, \quad (2.3)$$

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 (2.3) можна представити у вигляді наступних рівнянь:

$$\Delta V_p = \alpha_p \cdot (t_3 - t_l); \quad (2.4)$$

$$\Delta V_{me} = \alpha_{me}; \quad (2.5)$$

$$\Delta V_m = \alpha_m \cdot (t_c - t_n), \quad (2.6)$$

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 (4.3), що в сумі дають величину усадкової раковини.

Усадка рідкого сплаву ΔV_p збільшується з підвищенням температури перегріву над ліквідусом (див. формулу (2.4)). 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.Нехендзі і М.Г.Гіршовича для відносного об'єму усадкової раковини приймає вигляд

$$\Delta V_p = \alpha_p \cdot (t_3 - t_l) + \Delta t_{me}. \quad (2.7)$$

Експериментальні дані, одержані в даній лабораторній роботі, дозволяють визначити не тільки величину ΔV_p , але першу і другу складові рівняння (2.7).

2.2 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.

2.3 Порядок виконання роботи

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

2.3.2 Розрахувати шихту і підготувати ливарний сплав заданого складу.

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

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

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

2.3.6 Визначити фізичну густину металу:

$$\rho_m = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \cdot \rho_v, \quad (2.8)$$

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.4.1).

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

2.3.8 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 2.1 – 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

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

2.3.10 Розрахувати об'єм розсіяних пор (незаповнених водою)

$$V_{p.n.} = \left(1 - \frac{\rho_{\kappa}}{\rho_M} \right) \cdot 100\% , \quad (2.9)$$

де ρ_{κ} – 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).

$$\rho_{\kappa} = \frac{P_{\kappa}}{P_{\kappa} - P_p} \cdot \rho_{\sigma} . \quad (2.10)$$

2.3.11 Перевести одержані абсолютні об'єми концентрованої усадкової раковини ($V'_{\kappa.p.}$) в відносний об'єм

$$V_{\kappa.p.} = \frac{V'_{\kappa.p.}}{V'_{\kappa.p.} + V_{\kappa}} \cdot 100\% , \quad (2.11)$$

де V_{κ} – середній об'єм кулі, см³.

$$V_{\kappa} = \frac{P_{\kappa} - P_p}{\rho_{\sigma}} . \quad (2.12)$$

2.3.12 Сумарний об'єм усадкових раковин

$$\sum V_p = V_{к.р.} + V_{р.н.} \quad (2.13)$$

2.3.13 Записати одержані результати в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – 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

2.3.14 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:

$$y = bx + a, \quad (2.14)$$

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

a, b – коефіцієнти;

x – незалежна змінна (t_n).

Коефіцієнт кореляції

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \cdot \sum (y - \bar{y})^2}}, \quad (2.15)$$

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

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

Коефіцієнт рівняння

$$b = r \cdot \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{\sum (x - \bar{x})^2}}, \quad (2.16)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}. \quad (2.17)$$

Розрахунки по (2.14)-(2.16) зручно виконувати за допомогою таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – 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 $V_{p.n.} = f(t_n)$; $V_{к.п.} = f(t_n)$; $\Sigma V_p = f(t_n)$.

2.3.15 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:

$$\Sigma V_p = 0,012t_n + 2,37 \quad (2.18)$$

з аналогічною формулою Ю.О.Нехедзі і М.Г.Гіршовича (2.7), що дозволяє рахувати:

$$\alpha_p \cdot (t_3 - t_n) = 0,012t_n \quad (2.19)$$

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

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

2.4 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 (4.9)-(4.13); 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.

2.5 Питання для самоконтролю

- 2.5.1 Які складові має повна об'ємна усадка сплаву?
- 2.5.2 Які основні елементи має технологічна проба для даної роботи?
- 2.5.3 Як вимірювалась температура металу, що заливався?
- 2.5.4 Як визначається об'єм концентрованої усадкової раковини?
- 2.5.5 Як знаходиться об'єм розсіяних пор?
- 2.5.6 Як знайдено густину «здорового» металу?
- 2.5.7 Як визначалася середня густина зразка-кулі?
- 2.5.8 Як впливає температура перегріву металу на розвиток усадкових дефектів?
- 2.5.9 Як в цій роботі визначали коефіцієнт усадки рідкого металу (α_p) і відносний об'єм усадкової раковини (ΔV_p)?
- 2.5.10 Для яких практичних цілей потрібно знати величину усадкових дефектів в сплавах?
- 2.5.11 Основні правила техніки безпеки.

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ЛИВАРНОГО СПЛАВУ В УМОВАХ УТРУДНЕНОЇ УСАДКИ

Мета роботи: з'ясувати теоретичні положення, що пов'язані з виникненням гарячих тріщин у виливках, вплив технологічних факторів на цей процес; навчитися проводити експеримент по визначенню тріщиностійкості сплаву, використовувати автоматичний потенціометр і міст для виміру температури і зусилля тріщиноутворення.

3.1 Теоретична частина

Тріщиностійкість сплаву – важлива ливарна характеристика, що показує опір вилівка із даного сплаву до утворення гарячих тріщин в результаті внутрішніх напружень, що викликається усадкою при твердінні і охолодженні. В процесі твердіння і охолодження вилівка міцність його безперервно росте, В той же час ці процеси супроводжується одночасним ростом усадки і внутрішніх напружень.

Утворення гарячих тріщин проходить в умовах, коли ріст внутрішніх напружень у виливках випереджує межу міцності сплаву. Припускається, що утворення гарячих тріщин спостерігається в області, близької до температури солідуса сплаву. Зовнішній вигляд гарячих тріщин характеризується грубою окисленою поверхнею розриву (холодні тріщини мають світлий злом). На утворення гарячих тріщин впливають наступні фактори: конструкція і геометрія вилівка, технологія ливарної форми (підвід металу, живлення, різностінність вилівка, піддатливість форми та інші). Для кожного вилівка і відповідної технології виготовлення форми питання тріщиностійкості досліджується конкретно. Загальні закономірності для певного типу виливків в достатній мірі вивчені і описані в літературі. У меншій мірі вивчені питання впливу складу сплаву, його модифікування, температури заливки форми на процеси утворення гарячих тріщин.

3.2 Опис приладу для визначення тріщиностійкості

Тріщиностійкість визначається приладом ЦНДІТМаш з частково удосконаленою технологічною частиною (рис.3.1) і електричною схемою.

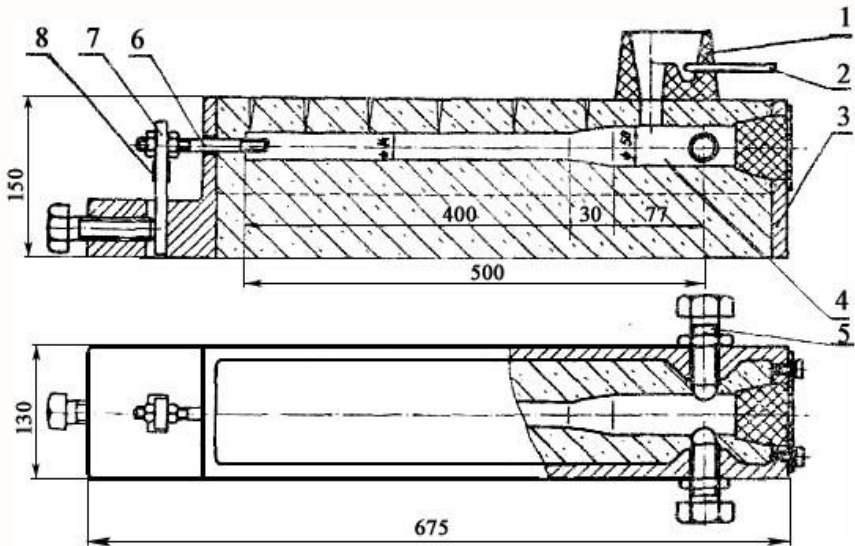


Рисунок 3.1 – Форма в зборі для визначення тріщиностійкості

Принцип дії приладу заснований на перетворюванні зусилля деформації пружини 7, що гальмує лінійну усадку залитого зразка 4, в електричну силу. Останнє здійснюється за допомогою двох тензодатчиків 8 (опір 200 Ом), наклеєних на пружину і підключених до мосту постійного току, для автоматичного запису кривої деформації. Зразок жорстко закріплюється з одного кінця з литою опокою 3 гвинтами 5, з другого – шпилькою 6 з пружиною. Щоб уникнути зварювання із зразком гвинти фарбуються маршалітовою фарбою. Вони служать для багаторазового використання. Шпилька одноразового використання пасивується в 15%-му розчині ортофосфорної кислоти з наступним знежиренням чотирьохлористим вуглецем, що виключає газоутворення під час заливки форми. Вимірювання температури рідкого металу здійснюється платинородій-платиновою термпарою, що захищена кварцовим наконечником 2, який встановлений безпосередньо в ливникову чашу 1.

Для виготовлення форми використовується формувальна суміш холодного твердіння (ХТС) наступного складу: 10 л сухого піску ІК020; 0,47 л розчину лігносульфонату технічного (густина 1,18-1,19 г/см³) і 0,9 л розчину хромового ангідриду (густина 1,33-1,135 г/см³).

Суміш крім здатності твердіти без теплової сушки володіє ще однією важливою властивістю – здібністю зменшувати міцність після заливки рідкого металу, що дозволяє звести до мінімуму похибку експерименту за рахунок сил зчеплення поверхні виливка і форми.

Електрична схема установки досить проста й являє собою обладнання на базі потенціометра ЕПП-09 автоматичний міст постійного току.

Характерний вигляд кривих тріщиноутворення показано на рис.3.2. За показник тріщиностійкості зразка, що випробується, приймається зусилля тріщиноутворення (P_1, P_2, P_3), яке вимірюється від нульової точки до першого перегину кривої. Значення зусилля тріщиноутворення визначається по табл. 3.1 шляхом переводу показання приладу в мілівольтах – в ньютони . Таблиця одержана шляхом градування приладу прямим навантаженням. Час від початку заливки до моменту утворення тріщини (τ_1, τ_2, τ_3) обчислюють по кривій тріщиноутворення з урахуванням швидкості руху діаграмної стрічки мосту - 0,4 мм/с.

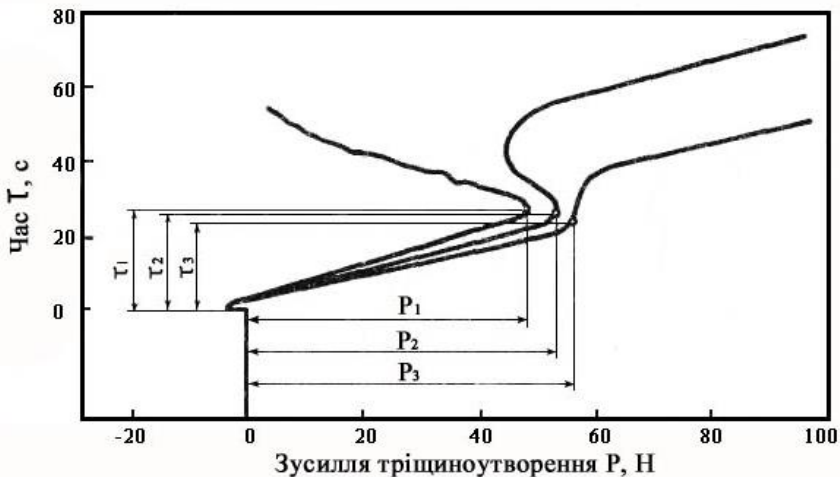


Рисунок 3.2 – Характерні криві тріщиноутворення

Таблиця 3.1 – Переведення показання приладу в зусилля тріщиноутворення

Зусилля тріщиноутворення, Н	Показання приладу (мВ) для форми з номером						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0
200	5,0	5,0	4,0	4,0	5,0	5,0	6,0
400	9,6	10,0	7,5	8,0	9,5	10	12,5
500	13,3	14,5	11,0	12,0	14,0	14	18
800	18,0	18,5	14,5	15,0	18,0	19	23,5
1000	23,5	23,0	18,5	19,0	22,5	23	29
1200	27,5	27,5	22,0	22,5	26,0	27	34
1400	32,0	32,0	25,5	26,0	30,0	31	39
1600	36,0	36,0	29,0	29,5	34,0	34	44
1800	40,0	40,0	33,0	32,0	38,0	38	49

Примітка. Навантаження більше 1800 Н для кожної форми вважається інтерполюванням наведених значень таблиці (залежність прямолінійна).

3.3 Обладнання, прилади і матеріали

Індукційна плавильна піч; модельно-опочна оснастка для формування зразків; матеріали для формовочної холоднотвердіючої суміші; автоматичний міст і потенціометр; термопари ПП; шихтові матеріали для виплавки вуглецевої сталі; спецодяг.

3.4 Порядок виконання роботи

3.4.1 Ознайомитися з метою роботи.

3.4.2 Обґрунтувати температуру заливки, склад, варіанти легування або модифікування дослідних фракцій сплаву.

3.4.3 Вивчити принципи роботи установки для визначення тріщиностійкості.

3.4.4 Виготовити форми.

3.4.5 Виплавити вуглецеву сталь і залити форми, при цьому треба змінювати один із металургійних факторів (температуру, модифікування, хімічний склад).

3.4.6 Визначити величину фактичного перегріву сплаву при заливці (по кривим кристалізації).

3.4.7 Розшифрувати криві тріщиноутворення за допомогою таблиці.

3.4.8 Узагальнити дослідні дані і побудувати графік залежностей «металургійний фактор – тріщиностійкість».

3.5 Зміст звіту

Коротке описання теоретичної частини; ескіз технологічної проби (рис.3.1); пояснення характерних кривих тріщиноутворення (рис.3.2); результати експерименту; висновки по роботі.

3.6 Питання для самоконтролю

3.6.1 Що називається тріщиностійкістю сплаву?

3.6.2 Яка конструкція технологічної проби на тріщиностійкість?

3.6.3 Принцип роботи приладу ЦНДІТМаш.

3.6.4 Для чого використовуються в приладі тензодатчики?

3.6.5 Який зовнішній вигляд має гаряча тріщина?

3.6.6 Що являється причиною утворення гарячих тріщин?

3.6.7 Які фактори найбільш суттєво впливають на тріщиностійкість відливка?

3.6.8. Правила техніки безпеки при проведенні експерименту.

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

При утрудненій усадці окремі частини виливка можуть знаходитися як в стислому, так і в розтягнутому стані. Згідно теорії Гейна, в області температур пластичної деформації внутрішні напруження у виливку не виникають, тому що виливок 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 виливків з мінімальними внутрішніми напруженнями потрібно прагнути до створенню умов рівномірного охолодження різних частин виливка, повільному охолодженню виливка, для зняття внутрішніх залишкових напружень застосовується термічна обробка виливка – 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

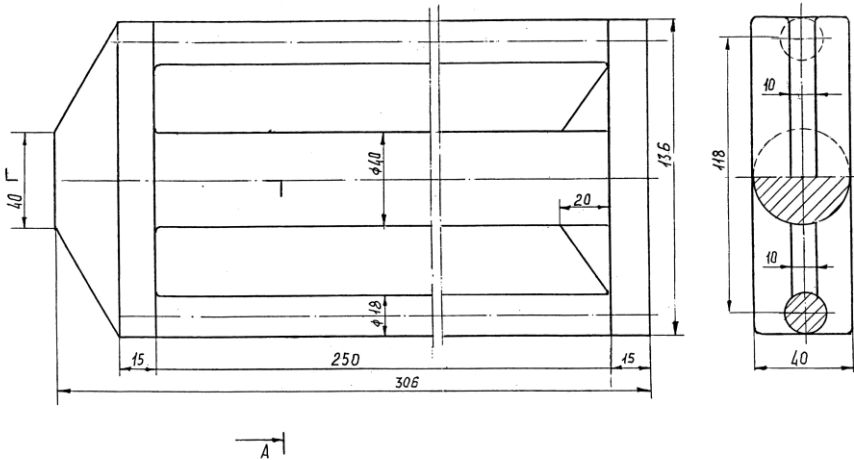


Рисунок 4.1 – Технологічна проба для визначення залишкової напруги сплаву

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 6.1.

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.

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 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.
- 3 Лисенко Т. В. Теоретичні основи формування виливків : навч. посіб. для студентів вищ. техн. навч. закл., які навчаються за спец. "Ливарне виробництво чорних та кольорових металів і сплавів" та "Обладнання та технології ливарного виробництва" / Т. В. Лисенко [та ін.]; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : НТУ "ХПІ", 2014. – 191 с.
- 4 Дан Л. О. Ливарне виробництво: навчальний посібник для студентів металургійних спеціальностей / Л. О. Дан, Л. О. Трофімова ; М-во освіти і науки України, ПДТУ. Каф. технології і комп'ютеризації ливарного виробництва. – Маріуполь : ПДТУ, 2013. – 207 с.