

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

**СПЕЦІАЛЬНІ ВИДИ ЛИТТЯ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**з виконання лабораторних робіт з дисципліни  
«Технологія та обладнання спеціальних видів лиття»**

для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка

Затверджено  
Вченою радою НТУ «ХП»,  
протокол № 9 від 31 жовтня  
2023 року

Харків  
НТУ «ХП»  
2023

**Спеціальні види лиття.** Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з дисципліни «Технологія та обладнання спеціальних видів лиття» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка рівня бакалавра / Упоряд. : К. О. Костик, Т. В. Берлізева– Харків: НТУ «ХПІ», 2023. – 32 с.

Укладач: К. О. Костик, Т. В. Берлізева

Рецензент: О. В. Акімов

Кафедра ливарного виробництва

## **ВСТУП**

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка рівня бакалавра.

Лабораторні роботи являють собою невеликі дослідження, що дозволяють студентам більш детально ознайомитися з основними видами спеціальних видів лиття.

Кожна лабораторна робота містить перелік матеріалів, короткий виклад теоретичних відомостей і методів дослідження, порядок виконання, що допомагає студентам правильно і усвідомлено виконати практичну частину роботи і зробити висновки.

Мета методичних вказівок – допомогти студентам більш глибоко вивчити особливості технологій та обладнання спеціальних видів лиття, розвинути навички самостійної роботи та наукового дослідження.

Крім основної мети, методичні вказівки спрямовані на розвиток інтересу до наукової діяльності, знайомство зі складною і різноманітною експериментальною технікою, що допоможе студентам в подальшому при виконанні дипломної роботи.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

### ЛИТТЯ В ОБОЛОНКОВІ ФОРМИ

#### 1.1. Мета роботи

1. Ознайомлення зі способом лиття в оболонкові форми.
2. Ознайомлення з основними перевагами і недоліками лиття в оболонкові форми.

#### 1.2. Основні положення

Точність розмірів і шорсткість поверхні виливків, отриманих в піщано-глиняних формах, не завжди достатні. Крім того, деякі виливки особливо складної форми практично неможливо отримати шляхом лиття в землю. Тому доводиться використовувати більш точні, але більш дорогі способи лиття (спеціальні види лиття). До спеціальних видів лиття відносяться: лиття в оболонкові форми, по виплавлених моделях, відцентрове, під тиском і лиття в кокіль. Основні переваги спеціальних видів лиття:

- мінімальні припуски на механічну обробку (~7 % в порівнянні з ~25% при литті в землю), а значить, і зниження її обсягу;
- мала шорсткість поверхні;
- зменшення маси (а в ряді випадків і відсутність) ливникової системи і кількості матеріалу на формування;
- висока продуктивність. До недоліків слід віднести:
- меншу універсальність;
- висока вартість лиття через складність і точність оснащення.

Лиття в оболонкові форми забезпечує високу геометричну точність виливків, так як виходить чіткий відбиток, точність якого не порушується внаслідок відсутності розштовхування при зніманні оболонки з моделі.

Форма виготовляється за гарячими металевими моделями (рис. 1.1).

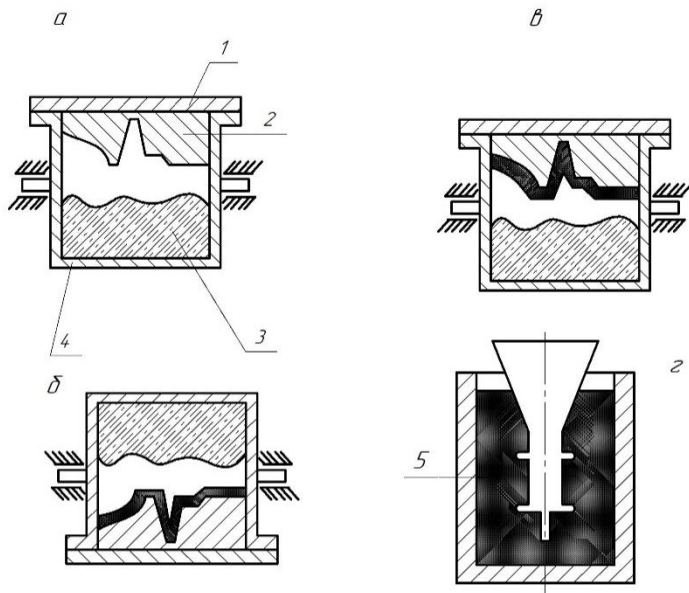


Рисунок 1.1 – Лиття в оболонкові форми:

*a* – вихідне положення бункера; *б* – утворення оболонки; *в* – повернення бункера; *г* – готова форма

Кожна форма складається з двох напівформ.

Формувальна суміш складається з кварцового піску і сполучного – термореактивної смоли (фенолформальдегідна смола – 6...9% від загальної маси). Застосовуючи дрібнозернистий кварцовий пісок, можна знизити шорсткість поверхні виливків.

Технологічний процес виробництва точних виливків в разові оболонкові форми включає наступні операції:

- металева модельна плита і закріплена на ній металева модель виливки, нагріта до температури 200...250 °С, закріплюються на металевому бункері (рис. 1 *a*);

- бункер перекидається на 180° (рис. 1, *б*); формувальна суміш, що опинилася на поверхні гарячої моделі, переходить в рідкий стан і утворює піщано–смоляну оболонку;

– після витримки 10...30 С бункер повертають у початковий стан (рис. 1, в); плиту з моделлю виймають і переносять в піч для повної полімеризації оболонки (тривалість процесу – близько 3 хв. при температурі близько 350°C); в результаті полімеризації оболонка приймає необхідну міцність і твердість;

– зйомка спеціальними штовхачами;

– склейки напівформ;

– установка в контейнер, заповнення його піском (рис. 1 г) і заливка ливарним сплавом;

– розбирання (руйнування) напівформ і виїмки.

У порівнянні з литтям в піщано-глинисті форми розглянутий спосіб лиття має наступні переваги:

– економія металу;

– в 10...20 разів менша витрата формувальної суміші;

– висока точність виливків і низька шорсткість їх поверхні;

– висока продуктивність, процес легко механізується і може бути автоматизований.

До недоліків можна віднести:

– роботу з гарячою металевою плитою і моделлю;

– високу вартість сполучного матеріалу (термореактивної смоли);

– невелику масу деталей – 5...15 кг (максимум 100 кг);

– спосіб економічно доцільний при виготовленні більше 200 виливків.

### **1.3. Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з основними відомостями про спеціальний спосіб лиття.

2. Розглянути експонати або фото/відео оснащення і деталей.

3. Замалювати схему обладнання та описати сутність способу лиття.

4. Зазначити перевагами і недоліками спеціального способу лиття.

5. Перелічити які саме деталі та з яких сплавів можна отримати зазначеним способом лиття.

#### 1.4. Зміст звіту лабораторної роботи

1. Тема і мета роботи.
2. Перелік матеріалів та обладнання.
3. Опис способу лиття, переваги і недоліки спеціального способу лиття.
4. Схема спеціального способу лиття.
5. Висновки.

#### Питання для самоперевірки

1. Назвіть основні переваги спеціальних видів лиття.
2. Перерахуйте основні способи спеціальних видів лиття.
3. Коротко опишіть послідовність виготовлення оболонкової форми. Як проводиться збірка форми і її заливка?
4. Назвіть переваги і недоліки способу лиття в оболонковій формі.

Рекомендована література [1–4]:

1. Jiang, W., Fan, Z., Liao, D., Dong, X., & Zhao, Z. (2010). A new shell casting process based on expendable pattern with vacuum and low-pressure casting for aluminum and magnesium alloys. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51, 25–34.

2. Технологія конструційних матеріалів і матеріалознавство: Практикум: Навч. посібник / Василь Попович та інш. - Львів: Видавництво “Папуга”, 2004. – 422 с.

3. Jones, S., & Yuan, C. (2003). Advances in shell moulding for investment casting. *Journal of Materials Processing Technology*, 135(2-3), 258-265. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00907-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00907-X).

4. Yang, R., Cui, Y. Y., Dong, L. M., & Jia, Q. (2003). Alloy development and shell mould casting of gamma TiAl. *Journal of materials processing technology*, 135(2-3), 179–188. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00873-7](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00873-7).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

### ЛИТТЯ ПО ВИПЛАВЛЮВАНИХ МОДЕЛЯХ

#### 2.1. Мета роботи

1. Ознайомлення зі способом лиття по виплавлюваних моделях.
2. Ознайомлення з основними перевагами і недоліками лиття по виплавлюваних моделях.

#### 2.2. Основні положення

Цей спосіб дозволяє виготовляти виливки високої точності з малою шорсткістю поверхні. Механічна обробка поверхні не потрібна. Товщина стінок 1...3 мм і більше. Маса виливків – від декількох грамів до десятків кілограмів.

Модель не має роз'ємів і стрижневих знаків, службовців для виготовлення однієї форми. Метал заливається в гарячу форму, що дозволяє підвищити рідкоплинність і отримати складну форму виливків. Керамічна оболонка форми також не має роз'єму, дуже гладка з високою точністю геометричних розмірів.

Технологічний процес виготовлення виливків по виплавлюваних моделях включає наступні операції:

- виготовлення разових виплавлюваних моделей в металевих або пластмасових прес-формах (модельний склад включає два або більше легкоплавких компонента – парафін (~50 %), стеарин (~50 %), церезин, жирні кислоти);

- після затвердіння модельного сплаву прес-форма розкривається і модель (рис. 2.1, а) виштовхується в холодну воду;

- з декількох моделей деталей і ливникової системи (один або кілька елементів (рис. 2.1, б)) збирають блок (рис. 2.1, в) із загальною ливниковою системою (до 200 моделей);

- ливарна форма виготовляється зануренням блоку в керамічну суспензію (пилоподібний кварц І електрокорунд зі сполучною –

етілсілікатом), обсипають кварцовим піском, сушать 2...2,5 години на повітрі або 20...40 хв в середовищі аміаку; операцію повторюють 4...6 разів до отримання шару 5...8 мм;

– моделі з отриманих оболонкових форм видаляють виплавленням в гарячій воді (80–90°C), гарячим повітрям або паром з температурою 120–150°C;

– оболонки промивають водою і сушать в сушильній шафі 1,5...2 години при температурі 200°C;

– оболонки ставлять вертикально в опоці, засипають сухим кварцовим піском або дробом, прожарюють при температурі 900–950°C і, не охолоджуючи, заливають розплавленим металом (рис. 2, г);

– форму руйнують, вилівок відокремлюють від ливникової системи;

– остаточне очищення проводиться в 45 – % водному розчині NaOH при температурі 150°C.

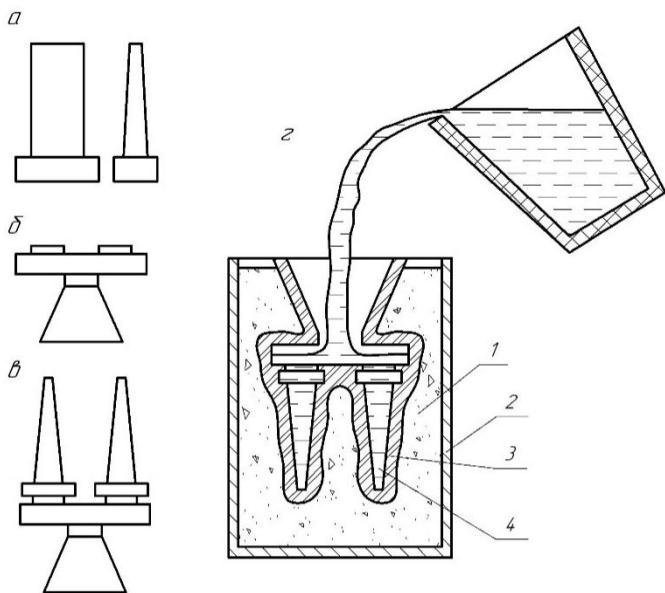


Рисунок 2.1 – Лиття по виплавлених моделях: а – модель; б –

ливникова система;  $\sigma$  – блок в зборі;  $z$  – заливка форми

Готові виливки промивають проточною водою, сушать, потім піддають термічній обробці.

Переваги способу лиття по виплавлюваних моделях:

– можливість використання для будь-яких сплавів, включаючи важкооброблювані

– найбільша точність способу отримання заготовок складної форми з дуже чистою поверхнею, тобто практично готових деталей;

До недоліків способу лиття по виплавлюваних моделях відносяться:

– грубозерниста структура через повільне охолодження металу;

– складність технології і відносно висока вартість лиття;

– оптимальна маса виливків становить 0,2...12 кг.

Способом лиття по виплавлюваних моделях виготовляють турбінні лопатки, колеса для насосів, фасонний ріжучий інструмент та інші деталі складної форми в умовах масового виробництва.

### **2.3. Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з основними відомостями про спеціальний спосіб лиття.

2. Розглянути експонати або фото/відео оснащення і деталей.

3. Замалювати схему обладнання та описати сутність способу лиття.

4. Зазначити перевагами і недоліками спеціального способу лиття.

5. Перелічити які саме деталі та з яких сплавів можна отримати зазначеним способом лиття.

### **2.4. Зміст звіту лабораторної роботи**

1. Тема і мета роботи.

2. Перелік матеріалів та обладнання.

3. Опис способу лиття, переваги і недоліки спеціального способу

ЛИТТЯ.

4. Схема спеціального способу лиття.
5. Висновки.

### **Питання для самоперевірки**

1. Назвіть основні переваги спеціальних видів лиття.
2. Перерахуйте основні способи спеціальних видів лиття.
3. Розкажіть про послідовність виготовлення ливарної форми для лиття по виплавлюваних моделях.
4. Назвіть переваги і недоліки способу лиття по виплавлюваних моделях.

Рекомендована література [5–8]:

5. Pattnaik, S., Karunakar, D. B., & Jha, P. K. (2012). Developments in investment casting process – A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(11), 2332–2348.

<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2012.06.003>

6. Cheah, C. M., Chua, C. K., Lee, C. W., Feng, C., & Totong, K. (2005). Rapid prototyping and tooling techniques: a review of applications for rapid investment casting. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25, 308–320..

7. Beeley, P. R., & Smart, R. F. (2023). *Investment casting*. CRC Press..

8. Gebelin, J. C., & Jolly, M. R. (2003). Modelling of the investment casting process. *Journal of Materials Processing Technology*, 135(2–3), 291–300. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00860-9](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00860-9)

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

### ВІДЦЕНТРОВЕ ЛИТТЯ

#### 3.1. Мета роботи

1. Ознайомлення зі способом відцентрового лиття.
2. Ознайомлення з основними перевагами і недоліками відцентрового лиття.

#### 3.2. Основні положення

Сутність способу полягає в тому, що метал заливається в форму, що обертається навколо горизонтальної (рис. 3.1, *a*) або вертикальної (рис. 3.1, *б*) осі. Під дією відцентрових сил метал відтісняється до стінок форми.

Структура металу виходить ущільненої. Гази і легкі неметалеві вclusions відтісняються до внутрішньої поверхні виливки.

Форма (виливниця) зазвичай виготовляється з чавуну або сталі. Товщина обертової виливниці в 1,5...2 рази перевищує товщину виливки. В процесі лиття виливниця зовні охолоджується водою або повітрям. На робочу поверхню наносять теплозахисні покриття для збільшення терміну служби. Перед роботою для підвищення рідкоплинності металу виливниці нагрівають приблизно до 200°C.

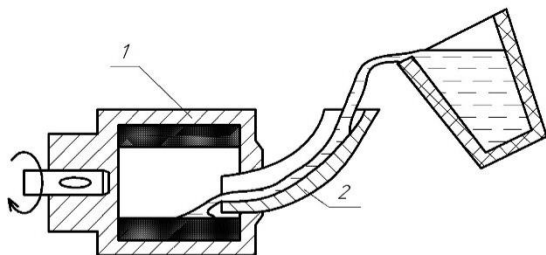
Відцентровим литтям виготовляють чавунні і сталеві труби, кільця і тому подібні вироби.

Переваги відцентрового лиття:

- відсутність ливникової системи;
- висока щільність виливків;
- не використовуються формувальні суміші, а внутрішня порожнина виходить без стрижня;
- можливість отримання тонкостінних виливків зі сплавів з низькою рідкоплинністю;
- можливість виготовлення біметалевих, багат шарових або

армованих виливків.

*a*



*б*

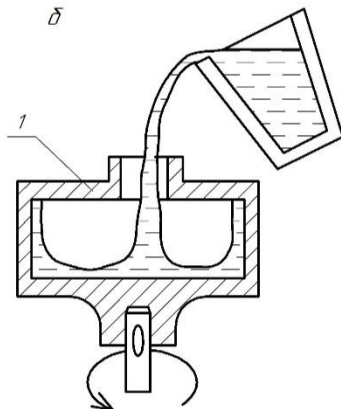


Рисунок 3.1 – Відцентрове лиття: *a* – машина з горизонтальною віссю; *б* – машина з вертикальною віссю

До недоліків відцентрового лиття відносяться:

- труднощі отримання якісних виливків з ліквуючих сплавів;
- неможливість отримання отворів в виливках точних розмірів;
- при вертикальній осі обертання форми виливки мають параболічну внутрішню поверхню.

### **3.3. Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з основними відомостями про спеціальний спосіб лиття.
2. Розглянути експонати або фото/відео оснащення і деталей.
3. Замалювати схему обладнання та описати сутність способу лиття.
4. Зазначити перевагами і недоліками спеціального способу лиття.
5. Перелічити які саме деталі та з яких сплавів можна отримати зазначеним способом лиття.

### **3.4. Зміст звіту лабораторної роботи**

1. Тема і мета роботи.
2. Перелік матеріалів та обладнання.
3. Опис способу лиття, переваги і недоліки спеціального способу лиття.
4. Схема спеціального способу лиття.
5. Висновки.

### **Питання для самоперевірки**

1. Назвіть основні переваги спеціальних видів лиття.
2. Перерахуйте основні способи спеціальних видів лиття.
3. Намалуйте схеми способу відцентрового лиття.
4. Вкажіть переваги і недоліки відцентрового лиття.

Рекомендована література: [9–12].

9. Ebhota, W. S., Karun, A. S., & Inambao, F. L. (2016). Centrifugal casting technique baseline knowledge, applications, and processing parameters: overview. *International Journal of Materials Research*, 107(10), 960–969.. <https://doi.org/10.3139/146.111423>

10. Mohapatra, S., Sarangi, H., & Mohanty, U. K. (2020). Effect of processing factors on the characteristics of centrifugal casting. *Manufacturing Review*, 7, 26..

11. Gao, J. W., & Wang, C. Y. (2000). Modeling the solidification of functionally graded materials by centrifugal casting. *Materials Science and Engineering: A*, 292(2), 207–215. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(00\)01014-5](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(00)01014-5).

12. Watanabe, K., Miyakawa, O., Takada, Y., Okuno, O., & Okabe, T. (2003). Casting behavior of titanium alloys in a centrifugal casting machine. *Biomaterials*, 24(10), 1737–1743. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(02\)00583-5](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(02)00583-5).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

### ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

#### 4.1. Мета роботи

1. Ознайомлення зі способом лиття під тиском.
2. Ознайомлення з основними перевагами і недоліками лиття під тиском.

#### 4.2. Основні положення

Спосіб отримання виливків в металевих формах, при якому їх заповнення сплавом і формування виливків здійснюється під тиском (рис. 4.1), застосовують у масовому виробництві тонкостінних виливків з легкоплавких сплавів (*Zn, Al, Mg*), рідше – мідних сплавів, чавуну і сталі. Продуктивність досягає 200...400 циклів на годину, маса виливків – не більше 45 кг. форми виконують зі сталі.

Принцип заповнення прес-форми при литті під тиском на машинах з горизонтальною камерою стиснення наведено на схемі (рис. 4.1, а). Порцію розплавленого металу заливають в камеру пресування, яка поршнем під тиском до 200 МПа подається в порожнину прес-форми, що складається з рухомої і нерухомої напівформ. Внутрішню порожнину в виливку отримують з використанням металевого стрижня.

Після затвердіння виливки прес-форма розділяється, витягується стрижень, виливок видаляється штовхачем. Після видалення виливки поверхню прес-форми чистять стисненим повітрям і обробляють протипригарним складом.

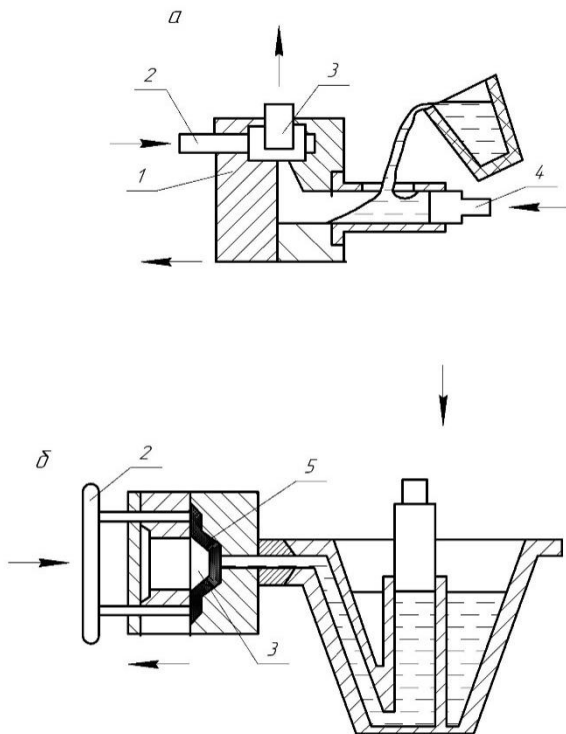


Рисунок 4.1 – Лиття під тиском: *а* – машина з горизонтальною холодною камерою пресування; *б* – машина з вертикальною гарячою камерою пресування

Перед заливкою прес-форму нагрівають до 120...320°C.

Використовуються різні схеми лиття при більш низькому тиску. На (рис. 4.1, *б*) показана схема машини з гарячою камерою пресування, що забезпечує тиск 10...30 МПа. Цим способом отримують виливки тільки легкоплавких сплавів масою до 25 кг.

Переваги лиття під тиском:

- висока точність і дуже низька шорсткість поверхні виливків;
- багаторазове використання форм;
- повне виключення формувальних сумішей;

– можливість отримання виливків з малою товщиною стінок (0,8 мм);

– висока продуктивність за умови повної автоматизації.

Недоліки:

– складність виготовлення прес-форм, невисока їх стійкість при литті чавуну і сталі;

– погане видалення газів і небезпека газової пористості;

– неможливість використання піщаних стрижнів, так як вони руйнуються під тиском металу.

#### **4.3. Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з основними відомостями про спеціальний спосіб лиття.

2. Розглянути експонати або фото/відео оснащення і деталей.

3. Замалювати схему обладнання та описати сутність способу лиття.

4. Зазначити перевагами і недоліками спеціального способу лиття.

5. Перелічити які саме деталі та з яких сплавів можна отримати зазначеним способом лиття.

#### **4.4. Зміст звіту лабораторної роботи**

1. Тема і мета роботи.

2. Перелік матеріалів та обладнання.

3. Опис способу лиття, переваги і недоліки спеціального способу лиття.

4. Схема спеціального способу лиття.

5. Висновки.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Назвіть основні переваги спеціальних видів лиття.

2. Перерахуйте основні способи спеціальних видів лиття.

3. Намалуйте схеми лиття під тиском.
4. Вкажіть переваги та недоліки лиття під тиском.

Рекомендована література: [13–16].

13. Rosato, D. V., & Rosato, M. G. (2012). *Injection molding handbook*. Springer Science & Business Media..

14. Agrawal, A. R., Pandelidis, I. O., & Pecht, M. (1987). Injection-molding process control – A review. *Polymer Engineering & Science*, 27(18), 1345–1357. <https://doi.org/10.1002/pen.760271802>.

15. Zheng, R., Tanner, R. I., & Fan, X. J. (2011). *Injection molding: integration of theory and modeling methods*. Springer Science & Business Media.

16. Thiriez, A., & Gutowski, T. (2006, May). An environmental analysis of injection molding. In *Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 2006*. (pp. 195–200). IEEE. DOI: 10.1109/ISEE.2006.1650060

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

### ЛИТТЯ В КОКІЛЬ

#### 5.1. Мета роботи

1. Ознайомлення зі способом лиття в кокіль.
2. Ознайомлення з основними перевагами і недоліками лиття в кокіль.

#### 5.2. Основні положення

Кокіль—металева форма, виконана з чавуну або сталі. Залежно від складності конфігурації виливки кокілі можуть бути нероз'ємними (рис. 5, *a*) або роз'ємними. Роз'єми можуть бути вертикальними (рис. 5, *б*), горизонтальними (рис. 5, *в*) або комбінованими.

При литті легкоплавких кольорових металів кокіль витримує десятки тисяч заливок. При литті сталі – від 100 до 5000.

Отвори і порожнини в вилівках отримують за допомогою стрижнів – піщаних для лиття з чавуну і сталі або металевих – для лиття легкоплавких сплавів.

Перед заливкою на внутрішню поверхню кокілю наносять тонким шаром термостійкі термоізоляційні покриття, завдяки чому регулюється швидкість охолодження металу, запобігає відбілюванню чавуну, охороняються стінки кокілю, полегшується виїмки.

До складу покриттів входить вогнетрив (пилоподібний кварц, графіт, хутро) і сполучна (рідке скло). Покриття наносять пульверизатором. Товщина шару в залежності від габаритів виливки становить 0,5...5 мм.

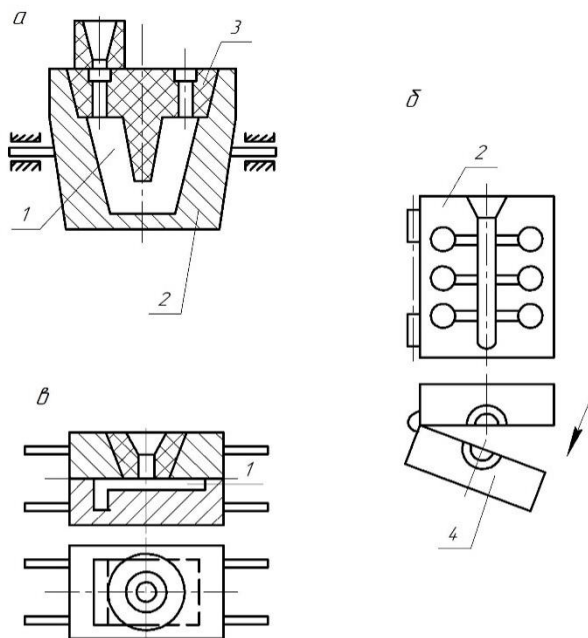


Рисунок 5.1 – Лиття в кокіль: *а* – нероз’ємний (витряхний) кокіль; *б* –стулчастий кокіль з вертикальною площиною роз’єму; *в* – кокіль з горизонтальною площиною роз’єму

Лиття в кокіль економічно доцільно в умовах масового виробництва виливків не надто складної форми масою до декількох сотень кілограмів. Найбільш широко застосовується для лиття кольорових металів (45% всіх алюмінієвих і магнітних виливків) і чавуну (11% чавунних виливків). На частку сталевих виливків, що виготовляються литтям в кокіль, припадає лише 6 %. Виробництво великих сталевих виливків ви придатно лише за умови простих форм.

Переваги лиття в кокіль:

- багаторазове використання форми;
- висока точність розмірів і мала шорсткість поверхні (в порівнянні з литтям в піщано–глинисті форми припуск менше в 2...3 рази);

- поліпшення структури металу за рахунок дрібного зерна і малої ліквациї і підвищення механічних властивостей (на 20–30 %);
- процес легко автоматизується або механізується.

Недоліки лиття в кокіль наступні:

- висока трудомісткість виготовлення кокілью, особливо при складній конфігурації виливків;
- металева форма має низьку податливість, що може привести до утворення тріщини;
- можливий відбїл чавуну.

Останній недолїк використовується як гідність при отриманні вибіленої поверхні чавунних прокатних валків і валів папероробного обладнання (рис. 6). Це досягається застосуванням комбінованої форми з металевою частиною в тому місці, де в виливку необхідно отримати поверхневий вибілений шар; інша частина форми – піщана.

### **5.3. Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з основними відомостями про спеціальний спосіб лиття.
2. Розглянути експонати або фото/відео оснащення і деталей.
3. Замалювати схему обладнання та описати сутність способу лиття.
4. Зазначити перевагами і недолїками спеціального способу лиття.
5. Перелічити які саме деталі та з яких сплавів можна отримати зазначеним способом лиття.

### **5.4. Зміст звіту лабораторної роботи**

1. Тема і мета роботи.
2. Перелїк матеріалів та обладнання.
3. Опис способу лиття, переваги і недолїки спеціального способу лиття.
4. Схема спеціального способу лиття.

## 5. Висновки.

### Питання для самоперевірки

1. Назвіть основні переваги спеціальних видів лиття.
2. Перерахуйте основні способи спеціальних видів лиття.
3. Опишіть суть процесу лиття у кокіль.
4. Які переваги і недоліки лиття в кокіль?

Рекомендована література: [17–20].

17. Vinarcik, E. J. (2002). *High integrity die casting processes*. John Wiley & Sons..

18. Ružbarský, J., Paško, J., & Gašpár, Š. (2014). *Techniques of Die casting*. RAM-Verlag..

19. Syrcos, G. P. (2003). Die casting process optimization using Taguchi methods. *Journal of materials processing technology*, 135(1), 68–74. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)01036-1](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)01036-1).

20. Kaye, A., & Street, A. (2016). *Die casting metallurgy: Butterworths monographs in materials*. Elsevier..

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

### БЕЗПЕРЕРВНЕ ЛИТТЯ ТА БЕЗПЕРЕРВНЕ РОЗЛИВАННЯ

#### 6.1. Мета роботи

1. Ознайомлення зі способом безперервного лиття та безперервного розливання.
2. Ознайомлення з основними перевагами і недоліками безперервного лиття та безперервного розливання.

#### 6.2. Основні положення

Сутність способу (рис. 6.1) полягає в тому, що рідкий метал (сталь, мідні сплави) з ковша через проміжний Розливний пристрій (проміжний ківш) безперервно подають в мідну водоохолоджувану виливницю без дна – кристалізатор, з нижньої частини якого витягується затверділа заготівля (стрижень, трубна заготівля). Перед заливкою металу в кристалізатор вводять затравку, що утворює його дно. Затравка має головку у формі ластівчини хвоста. Рідкий метал, потрапляючи в кристалізатор і на затравку, охолоджується і твердне, утворюючи кірку. Затравка тягнуть роликми витягується з кристалізатора разом із затверділим злитком (заготівлею), серцевина якого знаходиться в рідкому стані.

Швидкість витягування заготовки (вилівка) з кристалізатора залежить від перетину. Наприклад, швидкість витягування прямокутних заготовок перетином 150 x 150 мм і 300 x 2000 мм приблизно 1 м/хв. На виході з кристалізатора злиток (заготівля) охолоджується водою, що подається через форсунки в зоні вторинного охолодження. Із зони вторинного охолодження злиток виходить повністю затверділим і потрапляє в зону різання, де його розрізають газовим різакком на частини заданої довжини.

Для запобігання приварювання заготовки (злитка) до стінок кристалізатора остання здійснює зворотно–поступальний рух з кроком

10...50 мм і частотою 10...100 циклів в хвилину, а робоча поверхня змащується спеціальними мастилами.

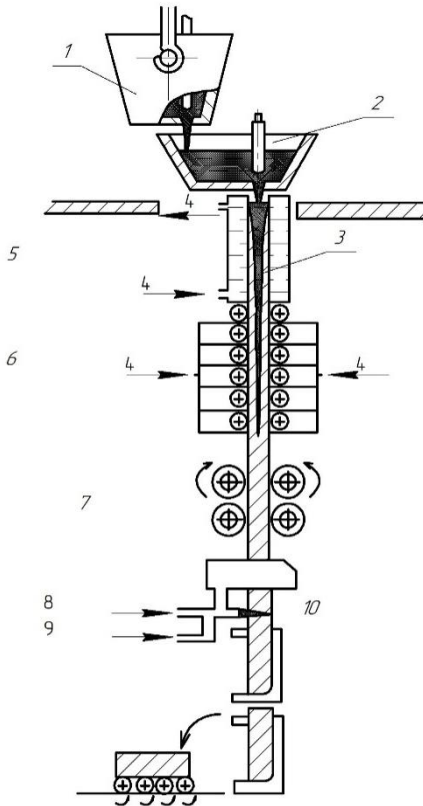


Рисунок 6.1 – Схема установки для безпервного лиття і безпервної розливання

Внаслідок безпервного затвердіння і безпервного живлення при усадці в злитках (заготовках) безпервного розливання відсутні усадочні раковини, вони мають щільну будову і дрібнозернисту структуру.

Крім розглянутих спеціальних способів лиття, використовується лиття вакуумним всмоктуванням, вичавлюванням, рідка штампування.

### **6.3. Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з основними відомостями про спеціальний спосіб лиття.
2. Розглянути експонати або фото/відео оснащення і деталей.
3. Замалювати схему обладнання та описати сутність способу лиття.
4. Зазначити перевагами і недоліками спеціального способу лиття.
5. Перелічити які саме деталі та з яких сплавів можна отримати зазначеним способом лиття.

### **6.4. Зміст звіту лабораторної роботи**

1. Тема і мета роботи.
2. Перелік матеріалів та обладнання.
3. Опис способу лиття, переваги і недоліки спеціального способу лиття.
4. Схема спеціального способу лиття.
5. Висновки.

### **Питання для самоперевірки**

1. Назвіть основні переваги спеціальних видів лиття.
2. Перерахуйте основні способи спеціальних видів лиття.
3. Вкажіть переваги та недоліки безперервного лиття і безперервної розливання.

Рекомендована література: [21–24].

21. Lee, P. D., Ramirez-Lopez, P. E., Mills, K. C., & Santillana, B. (2012). The “butterfly effect” in continuous casting. *Ironmaking & Steelmaking*, 39(4), 244–253.

<https://doi.org/10.1179/0301923312Z.000000000062>

22. Emley, E. F. (1976). Continuous casting of aluminium. *International metals reviews*, 21(1), 75–115. <https://doi.org/10.1179/imtr.1976.21.1.75>

23. Zhao, L., Dou, R., Yin, J., & Yao, Y. (2016, October). Intelligent prediction method of quality for continuous casting process. In *2016 IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)* (pp. 1761–1764). IEEE. DOI: 10.1109/IMCEC.2016.7867521.

24. Zhang, L., & Thomas, B. G. (Guthrie, R. I., & Isac, M. M. (2022). Continuous casting practices for steel: Past, present and future. *Metals*, 12(5), 862. <https://doi.org/10.3390/met12050862..>

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Jiang, W., Fan, Z., Liao, D., Dong, X., & Zhao, Z. (2010). A new shell casting process based on expendable pattern with vacuum and low-pressure casting for aluminum and magnesium alloys. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51, 25–34.
2. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Практикум: Навч. посібник / Василь Попович та інші. - Львів: Видавництво “Папуга”, 2004. – 422 с.
3. Jones, S., & Yuan, C. (2003). Advances in shell moulding for investment casting. *Journal of Materials Processing Technology*, 135(2-3), 258-265. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00907-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00907-X).
4. Yang, R., Cui, Y. Y., Dong, L. M., & Jia, Q. (2003). Alloy development and shell mould casting of gamma TiAl. *Journal of materials processing technology*, 135(2-3), 179–188. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00873-7](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00873-7).
5. Pattnaik, S., Karunakar, D. B., & Jha, P. K. (2012). Developments in investment casting process – A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(11), 2332–2348. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2012.06.003>
6. Cheah, C. M., Chua, C. K., Lee, C. W., Feng, C., & Totong, K. (2005). Rapid prototyping and tooling techniques: a review of applications for rapid investment casting. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25, 308–320..
7. Beeley, P. R., & Smart, R. F. (2023). *Investment casting*. CRC Press..
8. Gebelin, J. C., & Jolly, M. R. (2003). Modelling of the investment casting process. *Journal of Materials Processing Technology*, 135(2–3), 291–300. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00860-9](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00860-9)
9. Ebhota, W. S., Karun, A. S., & Inambao, F. L. (2016). Centrifugal casting technique baseline knowledge, applications, and processing parameters: overview. *International Journal of Materials Research*, 107(10), 960–969.. <https://doi.org/10.3139/146.111423>
10. Mohapatra, S., Sarangi, H., & Mohanty, U. K. (2020). Effect of processing factors on the characteristics of centrifugal casting. *Manufacturing*

Review, 7, 26..

11. Gao, J. W., & Wang, C. Y. (2000). Modeling the solidification of functionally graded materials by centrifugal casting. *Materials Science and Engineering: A*, 292(2), 207–215. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(00\)01014-5](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(00)01014-5).

12. Watanabe, K., Miyakawa, O., Takada, Y., Okuno, O., & Okabe, T. (2003). Casting behavior of titanium alloys in a centrifugal casting machine. *Biomaterials*, 24(10), 1737–1743. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(02\)00583-5](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(02)00583-5).

13. Rosato, D. V., & Rosato, M. G. (2012). *Injection molding handbook*. Springer Science & Business Media..

14. Agrawal, A. R., Pandelidis, I. O., & Pecht, M. (1987). Injection-molding process control – A review. *Polymer Engineering & Science*, 27(18), 1345–1357. <https://doi.org/10.1002/pen.760271802>.

15. Zheng, R., Tanner, R. I., & Fan, X. J. (2011). *Injection molding: integration of theory and modeling methods*. Springer Science & Business Media.

16. Thiriez, A., & Gutowski, T. (2006, May). An environmental analysis of injection molding. In *Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 2006*. (pp. 195–200). IEEE. DOI: 10.1109/ISEE.2006.1650060

17. Vinarcik, E. J. (2002). *High integrity die casting processes*. John Wiley & Sons..

18. Ružbarský, J., Paško, J., & Gašpár, Š. (2014). *Techniques of Die casting*. RAM-Verlag..

19. Syrcos, G. P. (2003). Die casting process optimization using Taguchi methods. *Journal of materials processing technology*, 135(1), 68–74. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)01036-1](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)01036-1).

20. Kaye, A., & Street, A. (2016). *Die casting metallurgy: Butterworths monographs in materials*. Elsevier.

21. Lee, P. D., Ramirez-Lopez, P. E., Mills, K. C., & Santillana, B. (2012). The “butterfly effect” in continuous casting. *Ironmaking & Steelmaking*, 39(4), 244–253.

<https://doi.org/10.1179/0301923312Z.00000000062>

22. Emley, E. F. (1976). Continuous casting of aluminium. *International metals reviews*, 21(1), 75–115. <https://doi.org/10.1179/imtr.1976.21.1.75>

23. Zhao, L., Dou, R., Yin, J., & Yao, Y. (2016, October). Intelligent prediction method of quality for continuous casting process. In *2016 IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)* (pp. 1761–1764). IEEE. DOI: 10.1109/IMCEC.2016.7867521.

24. Zhang, L., & Thomas, B. G. (Guthrie, R. I., & Isac, M. M. (2022). Continuous casting practices for steel: Past, present and future. *Metals*, *12*(5), 862. <https://doi.org/10.3390/met12050862>.

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. Лабораторна робота 1. ЛИТТЯ В ОБОЛОНКОВІ ФОРМИ.....	4
1.1. Мета роботи.....	4
1.2. Основні положення.....	4
1.3. Порядок виконання роботи.....	6
1.4. Зміст звіту лабораторної роботи.....	7
2. Лабораторна робота 2. ЛИТТЯ ПО ВИПЛАВЛЮВАНИХ МОДЕЛЯХ.....	8
2.1. Мета роботи.....	8
2.2. Основні положення.....	8
2.3. Порядок виконання роботи.....	10
2.4. Зміст звіту лабораторної роботи.....	10
3. Лабораторна робота 3. ВІДЦЕНТРОВЕ ЛИТТЯ.....	12
3.1. Мета роботи.....	12
3.2. Основні положення.....	13
3.3. Порядок виконання роботи.....	14
3.4. Зміст звіту лабораторної роботи.....	14
4. Лабораторна робота 4. ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ.....	16
4.1. Мета роботи.....	16
4.2. Основні положення.....	17
4.3. Порядок виконання роботи.....	18
4.4. Зміст звіту лабораторної роботи.....	18
5. Лабораторна робота 5. ЛИТТЯ В КОКІЛЬ.....	20
5.1. Мета роботи.....	20
5.2. Основні положення.....	20
5.3. Порядок виконання роботи.....	22
5.4. Зміст звіту лабораторної роботи.....	22
6. Лабораторна робота 6. БЕЗПЕРЕРВНЕ ЛИТТЯ ТА БЕЗПЕРЕРВНЕ РОЗЛИВАННЯ.....	24
6.1. Мета роботи.....	24

6.2. Основні положення.....	24
6.3. Порядок виконання роботи.....	26
6.4. Зміст звіту лабораторної роботи.....	26
Список літератури.....	28

Навчальне видання  
**СПЕЦІАЛЬНІ ВИДИ ЛИТТЯ**  
з виконання лабораторних робіт з дисципліни  
«Технологія та обладнання спеціальних видів лиття»

для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка  
рівня бакалавра  
Українською мовою

Укладач  
КОСТИК Катерина Олександрівна  
БЕРЛІЗСВА Тетяна Вікторівна

Відповідальний за випуск проф. *О. В. Акімов*  
Роботу до видання рекомендувала проф. *О. І. Пономаренко*  
В авторській редакції