


**ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»**

**ТЕОРІЯ, ТЕХНОЛОГІЯ РОЗЛИВАННЯ І  
КРИСТАЛІЗАЦІЇ МЕТАЛУ:**

**методичні рекомендації  
до виконання практичних робіт**

Запоріжжя 2024



УДК 669.18(072)  
Т34

Рекомендовано Науково-методичною радою  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
(протокол № 2 від «20» жовтня 2024 р.)

**Укладачі:**

Синегін Є. В., канд. техн. наук, доцент,  
Малій Х. В., канд. техн. наук.

Т34 Теорія, технологія розливання і кристалізації металу : методичні рекомендації до виконання практичних робіт / уклад.: Є. В. Синегін, Х. В. Малій. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 38 с.

У методичних рекомендаціях наведено поради і методичні підходи до виконання практичних робіт, які виконуються в процесі вивчення дисципліни. Матеріал містить короткі теоретичні викладки за тематикою роботи, завдання для її виконання, порядок оформлення звіту та питання для підготовки до її захисту.

УДК 669.18(072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТИНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024



## Зміст

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| Вступ.....                  | 4  |
| Практична робота № 1.....   | 6  |
| Практична робота № 2.....   | 16 |
| Лабораторна робота .....    | 19 |
| Індивідуальне завдання..... | 25 |
| Література .....            | 35 |
| Додатки.....                | 36 |



## ВСТУП

Теорія, технологія розливання і кристалізації металу – це дисципліна, яка допомагає студентам розвинути компетенції з розрахунку процесів, що відбуваються при розливанні сталі. Ці процеси охоплюють гідродинаміку рідкої сталі під час заповнення виливниць, структуру потоків у проміжному ковші та кристалізаторі машини безперервного лиття заготовок, кристалізацію сталі та формування необхідної макроструктури зливків і заготовок. Крім того, він охоплює охолодження зливків і безперервнолитих заготовок. Знання, отримані в процесі вивчення дисципліни, дозволяють студентам вибирати раціональні режими розливання і шлакоутворюючі суміші для отримання необхідної якості зливків і заготовок.

Про фундаментальний характер цієї дисципліни свідчить її спрямованість на розробку методологій вирішення науково-технічних проблем в галузі металургії. Крім того, вона розвиває здатність виконувати необхідні розрахунки у виробничих умовах для процесів розливання сталі в зливки та безперервного розливання.

Знання та розуміння принципів технологічних, фундаментальних та інженерних наук, що лежать в основі гідродинамічних та теплофізичних процесів розливання сталі, забезпечить студентів необхідними навичками для проведення досліджень в рамках бакалаврської роботи.

### **Правила виконання практичних робіт**

1. Практичні роботи виконуються згідно із затвердженим семестровим графіком, який викладається в Moodle.
2. Звіт про виконання роботи в обов'язковому порядку завантажується в систему Moodle в розділі відповідного курсу.
3. При захисті роботи студент зобов'язаний знати основні теоретичні положення за даною роботою.

### **Загальні вказівки щодо оформлення звіту та критерії оцінювання**

Звіт повинен містити найменування та мету даної роботи, виконані розрахунки, за потреби висновки і практичні рекомендації.

Практичні роботи здобувачами виконуються за допомогою обчислювальної техніки, опціонально у програмах Microsoft Excel, MathCAD та інших, що дозволяють виконувати розрахунки та здійснювати побудову графіків залежності. Результатом виконання практичної роботи є оформлений за вимогами та зданий звіт. Максимальна кількість балів, яку здобувач може отримати за виконання кожної практичної роботи – 5.

Критерії оцінювання та вимоги до оформлення звітів

| Кількість балів | Критерій оцінювання   |
|-----------------|---|
| 5               | Здобувач(ка) працював(ла) на практичних заняттях, приймав(ла) активну участь у виконанні завдання, виконав(ла) роботу в повному обсязі за своїм варіантом та завантажив(ла) оформлений відповідно до вимог звіт в Moodle згідно з семестровим графіком (до наступного заняття)    |
| 4               | Здобувач(ка) працював(ла) на практичних заняттях, виконав(ла) роботу в повному обсязі за своїм варіантом та завантажив(ла) оформлений відповідно до вимог звіт в Moodle згідно з семестровим графіком (до наступного заняття), але припустив(ла)ся незначних помилок в розрахунку |
| 3               | Здобувач(ка) не працював(ла) на практичних заняттях, повністю виконав(ла) завдання та завантажив(ла) звітні матеріали відповідно до методичних рекомендацій в Moodle пізніше терміну вказаного у семестровому графіку   |
| 2-1             | Здобувач(ка) не працював(ла) на практичних заняттях, частково або з суттєвими помилками виконав(ла) завдання та завантажив(ла) звітні матеріали в Moodle пізніше терміну вказаного у семестровому графіку   |
| 0               | Здобувач(ка) був(ла) відсутня на практичних заняттях та не завантажив(ла) звіт в Moodle   |



## **ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1** **РОЗРАХУНОК ВИТІКАННЯ СТРУМЕНЯ ЗІ СТАЛЕРОЗЛИВНОГО** **КОВША**

**Мета роботи:** набуття компетенцій з розрахунку гідродинамічних процесів, що відбуваються під час розливання сталі у зливки та на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), є першочерговим завданням.

### **Загальні положення**

Однією з основних проблем, з якими стикається проце розливання сталі, є підтримання точного контролю температури і швидкості. Під час розливання злиwkів швидкість розливання зазвичай регулюється за допомогою шибєрного затвору, хоча в деяких випадках може використовуватися і стопорний механізм. Складність процесу пов'язана з коливанням швидкості вільного витікання струменя під час розливання, що пояснюється зниженням рівня сталі в ковші. Отже, коефіцієнт гальмування струменя повинен поступово зменшуватися в процесі розливання, зберігаючи при цьому постійну витрату сталі, забезпечуючи тим самим задану швидкість розливання.

При розливанні сталі на МБЛЗ можливі два варіанти: безстопорна і звичайна розливка. У першому варіанті масова витрата сталі з промковша в кристалізатор регулюється виключно шляхом зміни рівня металу в промковші, тобто збільшенням або зменшенням витрати сталі з сталерозливного ковша. У цьому сценарії швидкість витягування заготовки має вирішальне значення для підтримки постійного рівня металу в кристалізаторі. І навпаки, у другому варіанті витрата металу з ковша регулюється стопором або триплитним шибєрним затвором.

Ще одним важливим завданням при розливанні є правильна організація вільного струменя, що витікає з сталерозливного ковша у виливницю. Наявність розривів і бризок у вільному потоці призводить до збільшення питомої поверхні, тим самим посилюючи як окислення сталі, так і тепловтрати під час розливання. Ця проблема є менш гострою при розливанні сталі на МБЛЗ, де широко застосовуються захисні труби, заглибні стакани (наскрізні і глуходонні), обдування струменя сталі між при переливі аргоном тощо.

### **Порядок виконання**

З таблиці 1 студенти мають виписати вихідні дані для розрахунків відповідно до свого номера в групі. Кожній формулі повинна передувати назва параметра, який потрібно обчислити, а формула має бути записана спочатку в символічному вигляді, з подальшою підстановкою числових значень. Результат розрахунку обов'язково повинен містити розмірності, якщо це необхідно. Розрахунок виконується в наступній послідовності.

- 1) Об'єм  $V_M$  рідкого металу у ковші розраховують виходячи з маси  $M$  сталі у ковші і густини  $\rho_{cm}$  рідкої сталі (у розрахунку можна прийняти  $7,2 \text{ т/м}^3$ )\*.



*Усі параметри, що входять до формули, повинні мати однакову розмірність, якщо інше не зазначено в поясненні до формули. Не допускається використання в одній формулі параметрів, що містять тонни і кілограми, метри і міліметри тощо.*

- 2) Рівень  $H_M$  металу у ковші розраховують приймаючи, що робочій простір сталерозливного ковша має форму циліндру із заданим співвідношенням висоти до діаметру  $H/D$  (див. табл. 1). Тоді шуканий рівень металу може бути визначений виходячи зі знайденого вище об'єму  $V_M$  та заданого співвідношення  $H/D$ .
- 3) Загальний рівень  $H$  металу в ковші розраховують з урахуванням знайденого вище рівня  $H_M$  металу, шару шлаку товщиною  $h_{ш} = 200 \div 300$  мм на дзеркалі металу, футерівки днища ковша товщиною  $h_{\phi} = 250 \div 400$  мм та виходу стакану за межі кожуха ковша  $h_{cm} = 100 \div 200$  мм. Товщину шлакового покриву слід попередньо перерахувати за густиною:

$$h'_{ш} = h_{ш} \cdot \frac{\rho_{ш}}{\rho_{cm}}, \text{ мм}, \quad (1)$$

де  $\rho_{ш}$  – густина ковшового шлаку (можна прийняти  $3 \text{ т/м}^3$ ).

- 4) Максимальну швидкість  $V_{max}$  витікання сталі з повного ковша розраховують за формулою

$$V \sqrt{2gH_{max}}, \text{ м/с}, \quad (2)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт швидкості, що залежить від геометричного профілю розливного стакану-дозатора (табл. 2);  
 $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ .

- 5) Середній діаметр  $D$  ковша розраховують виходячи із заданого співвідношення  $H/D$  і знайденого у п. 2 рівня металу в ковші  $H_M$ .

---

\*Формула виводиться на основі формального визначення параметра, що використовується в розрахунках (наприклад, густина, яка за визначенням є часткою від ділення маси речовини на об'єм, який вона займає), або на основі елементарних геометричних формул (наприклад, площа круга). У цьому випадку студент записує формулу вручну, застосовуючи власну логіку та використовуючи символи для параметрів, наведені у вихідних даних та поясненні до формули.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку практичної роботи № 1

| №<br>з/п | Ємність ковша $M, \text{т}$ | Марка сталі | Розлив зверху                  |                                       |                               |         | Розлив сифоном                 |                            |                                       |                               | Безперервна розливка        |  |                              |                               |
|----------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--|------------------------------|-------------------------------|
|          |                             |             | Вага зливка $m_{зл}, \text{т}$ | перепіз зливка $a \times b, \text{м}$ | швидкість $V_p, \text{мм/хв}$ | стакан* | Вага зливка $m_{зл}, \text{т}$ | кількість злиwkів $n_{зл}$ | перепіз зливка $a \times b, \text{м}$ | швидкість $V_p, \text{мм/хв}$ | кількість струmkів $n_{сп}$ | перепіз заготовки $a \times b, \text{м}$ | швидкість $V_p, \text{м/хв}$ | кількість стаканів на струмок |
| 1        | 2                           | 3           | 4                              | 5                                     | 6                             | 7       | 8                              | 9                          | 10                                    | 11                            | 12                          | 13                                       | 14                           | 15                            |
| 1        | 60                          | 10ХСНД      | 6,0                            | 0,7×0,7                               | 500                           | 1       | 7,5                            | 4                          | 0,6×0,8                               | 250                           | 4                           | 120×120                                  | 1,0                          | 1                             |
| 2        | 80                          | 12ХН        | 8,0                            | 0,8×0,8                               | 550                           | 2       | 4,0                            | 4                          | 0,6×0,5                               | 200                           | 6                           | 150×150                                  | 1,5                          | 1                             |
| 3        | 100                         | 17ГС        | 10,0                           | 0,7×1,0                               | 400                           | 3       | 5,0                            | 4                          | 0,6×0,6                               | 230                           | 6                           | 170×170                                  | 1,5                          | 1                             |
| 4        | 120                         | X60         | 8,0                            | 0,65×0,85                             | 450                           | 1       | 6,0                            | 4                          | 0,5×0,7                               | 300                           | 4                           | 180×180                                  | 1,2                          | 1                             |
| 5        | 130                         | 10ХСНД      | 8,7                            | 0,75×0,85                             | 500                           | 2       | 8,0                            | 4                          | 0,65×0,85                             | 400                           | 2                           | 180×1000                                 | 0,8                          | 2                             |
| 6        | 140                         | X60         | 11,7                           | 0,8×0,9                               | 600                           | 3       | 8,0                            | 4                          | 0,7×0,8                               | 450                           | 4                           | 150×150                                  | 1,6                          | 1                             |
| 7        | 150                         | 17ГС        | 10,0                           | 0,65×1,1                              | 550                           | 1       | 7,5                            | 6                          | 0,6×0,7                               | 380                           | 6                           | 150×180                                  | 1,7                          | 1                             |
| 8        | 160                         | 12ХН        | 12,0                           | 0,85×0,85                             | 600                           | 2       | 8,0                            | 6                          | 0,6×0,8                               | 350                           | 2                           | 200×1000                                 | 0,7                          | 1                             |
| 9        | 180                         | 65Г         | 12,0                           | 0,8×0,9                               | 650                           | 3       | 6,0                            | 4                          | 0,7×0,7                               | 300                           | 2                           | 250×1200                                 | 0,6                          | 2                             |
| 10       | 200                         | 12ХН        | 14,0                           | 0,9×0,9                               | 700                           | 1       | 10,0                           | 2                          | 0,6×0,95                              | 250                           | 2                           | 220×1800                                 | 0,6                          | 2                             |

Продовження табл. 1

| 1  | 2   | 3        | 4    | 5         | 6    | 7 | 8    | 9 | 10       | 11  | 12 | 13       | 14  | 15 |
|----|-----|----------|------|-----------|------|---|------|---|----------|-----|----|----------|-----|----|
| 12 | 250 | 09Г2С    | 14,0 | 0,8×1,0   | 550  | 3 | 7,6  | 4 | 0,6×0,85 | 350 | 6  | 280×300  | 1,2 | 1  |
| 13 | 270 | 15CrMoG  | 16,0 | 0,8×1,2   | 600  | 1 | 10,0 | 4 | 0,6×0,9  | 330 | 6  | 250×350  | 1,2 | 1  |
| 14 | 300 | 12ХН     | 16,0 | 0,8×1,3   | 650  | 2 | 10,0 | 2 | 0,6×1,0  | 380 | 2  | 300×800  | 0,5 | 2  |
| 15 | 330 | 10ХБФМ   | 21,0 | 0,8×1,5   | 700  | 3 | 12,0 | 2 | 0,8×1,0  | 420 | 2  | 350×2000 | 0,5 | 2  |
| 16 | 350 | A105     | 16,0 | 0,6×1,5   | 600  | 1 | 8,0  | 6 | 0,7×0,8  | 300 | 2  | 350×2500 | 0,4 | 2  |
| 17 | 380 | 45ХН2МФА | 18,0 | 0,7×1,4   | 650  | 2 | 12,0 | 4 | 0,75×1,1 | 270 | 2  | 380×2500 | 0,4 | 2  |
| 18 | 400 | A105     | 22,0 | 0,8×1,5   | 700  | 3 | 12,0 | 4 | 0,7×1,2  | 390 | 2  | 350×2500 | 0,5 | 2  |
| 19 | 450 | 25Г2С    | 23,0 | 0,8×1,6   | 1200 | 1 | 12,0 | 2 | 0,7×1,2  | 400 | 2  | 380×2000 | 0,6 | 2  |
| 20 | 310 | 15CrMoG  | 20,0 | 0,7×1,5   | 700  | 2 | 10,0 | 4 | 0,8×0,8  | 350 | 6  | 350×300  | 1,0 | 1  |
| 21 | 280 | ШХ15     | 16,0 | 0,9×0,9   | 550  | 3 | 10,0 | 4 | 0,7×1,0  | 300 | 4  | 250×350  | 1,2 | 1  |
| 22 | 230 | 70       | 14,0 | 0,7×1,2   | 600  | 1 | 8,0  | 4 | 0,6×0,8  | 320 | 4  | 300×300  | 1,0 | 1  |
| 23 | 170 | 70       | 12,0 | 0,7×1,6   | 500  | 2 | 5,0  | 6 | 0,6×0,7  | 280 | 4  | 220×250  | 1,4 | 1  |
| 24 | 90  | ОСВ      | 7,0  | 0,7×0,8   | 500  | 3 | 5,0  | 6 | 0,5×0,8  | 250 | 4  | 150×170  | 1,5 | 1  |
| 25 | 50  | 25Г2С    | 5,0  | 0,65×0,75 | 500  | 1 | 2,5  | 6 | 0,3×0,4  | 300 | 2  | 150×200  | 1,5 | 1  |

Тип сталерозливного стакану (див. табл. 2): 1 – циліндричний; 2 – конічний, що сходиться; 3 – коноідальний

Подальші розрахунки включатимуть три альтернативні методи розливання: у зливки зверху, сифонне розливання та на МБЛЗ. Мета полягає у визначенні діаметра стакана-дозатора, який забезпечить заповнення з певною швидкістю останнього злитка (при розливанні зверху), піддону (при розливанні сифоном) або сталі швидкості витягування заготовки і рівні металу в промковші і кристалізаторах МБЛЗ.

Таблиця 2 – Коефіцієнти швидкості і витрати для стаканів-дозаторів різної форми [1]

| Тип стакана-дозатора  | Коефіцієнти            |                  |
|---|------------------------|------------------|
|   | швидкості<br>$\varphi$ | витрати<br>$\mu$ |
| Круглий отвір в тонкій стінці   | 0,97                   | 0,62             |
| Циліндричний  | 0,82                   | 0,82             |
| Конічний, що розходиться $\alpha = 4 \pm 8^\circ$                       | 0,45                   | 0,45             |
| Конічний, що сходиться $\alpha = 13^\circ 24'$ ,<br>$\alpha = 12^\circ$ | 0,96                   | 0,95<br>0,94     |
| Коноідальний  | 0,98                   | 0,98             |

#### Розливка у зливки зверху

- 7) Визначають висоту  $h_{зл}$  зливка приймаючи, що його форма – прямокутний паралелепіпед розмірами  $h \times a \times b$  та масою  $m_{зл}$  (див. табл. 1). Розрахунок здійснюють по густині  $\rho_{ст}$  рідкої сталі.
- 8) Час  $t_{зл}$  наповнення однієї виливниці розраховують виходячи з висоти  $h_{зл}$  зливка та швидкості  $V_p$  розливання зверху (див. табл. 1).
- 9) Масові витрати  $G$  (т/хв) сталі на наповнення однієї виливниці визначають виходячи з маси  $m_{зл}$  зливка та тривалості  $t_{зл}$  його наповнення. Отриманий результат в т/хв. для спрощення подальшого розрахунку слід виразити в кг/с.
- 10) Загальну кількість  $n_{зл}$  злиwkів визначають виходячи з маси  $M$  сталі у ковші і ваги  $m_{зл}$  зливка. Отриманий результат слід округляти до меншого цілого.
- 11) Рівень  $H_M^{min}$  металу у ковші перед наповненням останнього зливка розраховують аналогічно п. 2 з тією відмінністю, що маса металу в ковші перед розливанням останнього зливка дорівнює його вазі  $m_{зл}$ , а величина середнього діаметру  $D$  ковша вже розрахована у п. 5.
- 12) Загальний рівень  $H_{min}$  металу в ковші перед наповненням останнього зливка розраховують аналогічно до п. 3 підставляючи  $H_M^{min}$  замість  $H_M$ .

- 13) Мінімальну швидкість  $V_{min}$  розливання перед наповненням останнього зливка розраховують за формулою (2), використовуючи  $H_{min}$  замість  $H$ .
- 14) Діаметр  $d_{cm}$  стакан-дозатора визначають з формули для масової витрати сталі при наповненні виливниці

$$G = \mu \rho_{cm} \frac{\pi d_{cm}^2}{4} \sqrt{2gH_{min}}, \text{ кг/с}, \quad (3)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати, що залежить від геометричного профілю розливного стакану (див. табл. 2);

- 15) Час  $\tau_{розл}$  розливки всього металу з ковша вільним струменем (без гальмування) визначають за формулою

$$\tau_{розл} = \frac{2D^2}{d_{cm}^2 \mu} \sqrt{\frac{H}{2g}}, \text{ с}. \quad (4)$$

- 16) Зміну коефіцієнта гальмування  $\mu_i/\mu$  в залежності від рівня металу у ковші для забезпечення сталої масової витрати металу і швидкості розливання впродовж розливки визначаємо з формули (3) для ковша заповненого на чверть, на половину, на три чверті та повного ковша. За результатами розрахунку будують графік залежності  $\mu_i/\mu = f(H)$ . Приклад графіка наведено на рис. 1. [1]

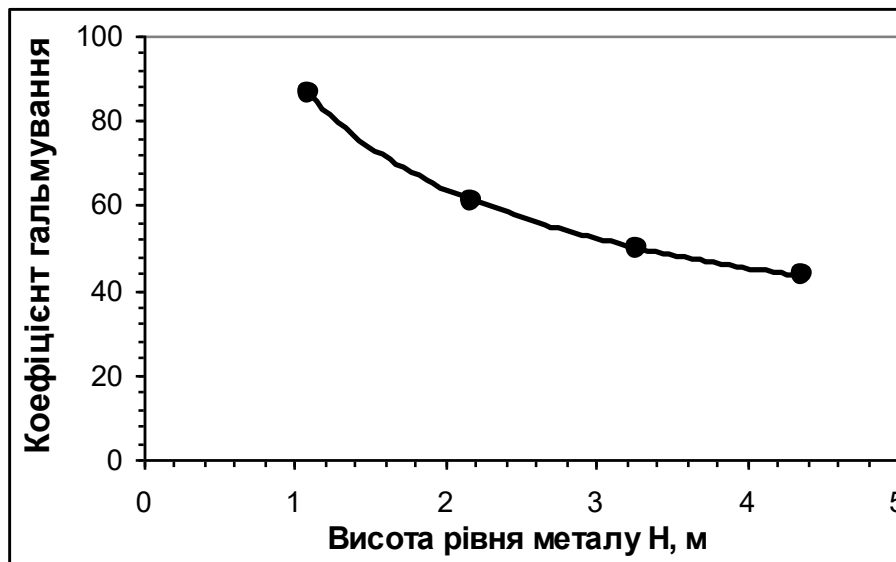


Рисунок 1 – Приклад графіка залежності коефіцієнта витрати сталі від рівня металу в ковші

- 17) Час  $\tau'_{розл}$  розливки всього металу з ковша з гальмуванням струменя розраховують виходячи з маси  $M$  сталі та масової витрати  $G$ . Після цього слід порівняти, у скільки разів відрізняється тривалість розливання сталі вільним струменем та з гальмуванням.

## Розливка у зливки сифоном



При розрахунку розливання сталевих злиwkів сифонним способом, маса і розміри зливка, крім швидкості розливання, відрізняються від тих, що застосовуються при розливанні зверху (див. таблицю 1).

- 18) Загальну кількість  $n_n$  піддонів визначають аналогічно п.9 виходячи з маси  $M$  сталі у ковші, ваги  $m_{зл}$  зливка та їх кількості  $k_{зл}$  на одному піддоні. Слід також врахувати масу металу, який залишається у сифонній проводці (1÷2 % від маси сталі у ковші). Отриманий результат слід округляти до меншого цілого.
- 19) Рівень  $H_M^{min}$  металу у ковші перед наповненням останнього піддону визначають аналогічно п. 10 з урахуванням кількості  $k_{зл}$  злиwkів на одному піддоні.
- 20) Загальний рівень  $H_{min}$  металу в ковші перед наповненням останнього піддону розраховують аналогічно п. 11.
- 21) Час  $t_{під}$  наповнення піддона розраховують аналогічно п. 7 для швидкості  $V_p$  розливання сифоном (див. табл. 1).
- 22) Масову витрату  $G$  (т/хв.) сталі при наповнення піддона розраховують виходячи з ваги  $m_{зл}$  зливка, їх кількості  $k_{зл}$  на одному піддоні та розрахованої вище тривалості  $t_{під}$  наповнення піддона. Отриманий результат в т/хв. для спрощення подальшого розрахунку слід виразити в кг/с.
- 23) Мінімальну швидкість  $V_{min}$  розливання перед наповненням останнього піддону розраховують аналогічно п. 12 за формулою (2), використовуючи розрахований у п.19 рівень  $H_{min}$  замість  $H$ .
- 24) Діаметр  $d_{cm}$  стакан-дозатора визначають з формули (3) аналогічно п. 13. Мінімальний рівень  $H_{min}$  металу перед розливанням останнього піддону беруть з п. 19 для розливання сифоном.
- 25) Час  $t_{розл}$  розливки всього металу з ковша вільним струменем (без гальмування) для розрахованого у п. 23 діаметра  $d_{cm}$  стакан-дозатора визначають за формулою (4).
- 26) Аналогічно п. 15 розраховуємо зміну коефіцієнта гальмування  $\mu_i/\mu$  в залежності від рівня металу у ковші для забезпечення сталої масової витрати металу і швидкості розливання впродовж розливки. За результатами розрахунку будують графік залежності  $\mu = f(H)$ . Приклад графіка наведено на рис. 1.
- 27) Аналогічно п. 16 розраховуємо час  $t'_{розл}$  розливки всього металу з ковша з гальмуванням струменя виходячи з маси  $M$  сталі та масової

витрати  $G$ . Після цього слід порівняти, у скільки разів відрізняється тривалість розливання сталі вільним струменем та з гальмуванням.

### Розливка на МБЛЗ

- 28) Масові витрати  $G$  металу розраховують як загальну масу рідкої сталі густиною  $\rho_{ст}$ , що проходить через всі  $n_{кр}$  кристалізаторів перерізом  $a \times b$  за хвилину при заданій швидкості  $V_{вум}$  витягування (див. вихідні дані у табл. 1).
- 29) Час  $t_{розл}$  розливки всього металу з ковша розраховують виходячи з маси  $M$  сталі у ковші та її масової витрати  $G$ , розрахованої у п. 27.
- 30) Діаметр  $d_{см}$  стакана-дозатора сталерозливного ковша визначають з формули (3) аналогічно п. 23, але замість  $H_{min}$  підставляють загальний рівень  $H$  металу у ковші, розрахований у п. 3.
- 31) Діаметр  $d_{пк}$  стаканів-дозаторів промковша визначають за формулою

$$d_{пк} = A \sqrt{\frac{a \times b \cdot V_{вум}}{\sqrt{H_{пк}}}}, \text{ м}, \quad (5)$$

де  $A = (7,4 \dots 7,6) \cdot 10^{-5}$  – коефіцієнт, значення якого залежить від марки сталі;

$a, b$  – розміри перерізу заготовки, мм;

$V_{вум}$  – лінійна швидкість витягування, м/хв.;

$H_{пк}$  – рівень металу в проміжному ковші, м.

Для забезпечення сталого процесу безперервного розливання та ефективного видалення неметалевих включень зі сталі необхідно, щоб рівень металу в проміжному ковші не опускався нижче 700 мм [1].

### **Визначення режиму витікання струменя металу з сталерозливного ковша в процесі розливання сталі в злитки зверху**

Під час розливання сталі струмінь рідкого металу може деформуватися і розриватися під дією опору повітря, сили тяжіння і внутрішніх сил. У таких випадках у струмені можуть утворюватися три різні ділянки: 1) суцільна ділянка, що характеризується стабільним станом струменя; 2) вібруюча ділянка, що демонструє порушення безперервності; 3) розірвана ділянка, де струмінь зазнає фрагментації на краплі.

Стан струменя під час розливання впливає на низку ключових процесів, включаючи захоплення повітря, вторинне окислення сталі, вміст неметалевих включень, схильність до утворення плівок і розподіл затопленого струменя в рідкому ядрі безперервнолитої заготовки, в результаті чого фронт кристалізації може бути розмитим.

Існує декілька моделей, що описують умови руйнування безперервного струменя металу. Згідно з Л.А. Клячко, зіркоподібний вихор відокремлюється від потоку за числа Вебера  $We > 1,63$ , а руйнування суцільного струменя відбувається за  $We > 1,875$ . [1]

На противагу цьому, М.І. Волинський пропонує більш високе критичне значення числа Вебера, визначене як  $5,35 \div 7$ , за якого відбувається руйнування суцільного струменя рідини. Одночасно число Рейнольдса, **Re**, має перевищувати  $10^3$ , що вказує на турбулентний режим течії струменя.

В.Б. Охотським встановлено, що у разі формування на поверхні струменя капілярних хвиль його довжина  $L_{кап}$  до місця утворення крапель може бути визначена з формули

$$\frac{L_{кап}}{d_{см}} = \pi \sqrt{\frac{We}{2}}, \quad (6)$$

а при формуванні гравітаційних хвиль з формули

$$\frac{L_{грав}}{d_{см}} = \sqrt{2\pi Fr}, \quad (7)$$

де  $Fr = \frac{V_{см}^2}{g d_{см}}$  – число Фруда.

**32)** Швидкість  $V_{см}$  струменя у момент удару об днище виливниці при розливанні зверху розраховують за формулою

$$V_{см} = \beta \sqrt{2g(x + \phi^2 H)}, \text{ м/с}, \quad (8)$$

де  $\beta = 0,95$  – емпіричний коефіцієнт;

$x = h_{зл} + 0,3$  – відстань від вихідного перерізу стакану-дозатору до днища виливниці (відстань між ковшем та виливницею  $250 \div 300$  мм), м.

**33)** Діаметр  $d_{см}$  струменя у момент удару об днище виливниці при розливанні зверху розраховують виходячи з закону нерозривності струменя

$$V_{max} \cdot \frac{\pi d_{см}^2}{4} = V_{см} \cdot \frac{\pi d_{см}^2}{4} = const, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (9)$$

**34)** Число Вебера розраховують за формулою

$$We = \frac{\rho_{пов} V_{стр}^2 d_{стр}}{\sigma_{ст}}, \quad (10)$$

де  $\rho_{пов}$  – густина середовища, у яке витікає струмінь сталі (густину повітря можна прийняти  $1,2 \text{ кг/м}^3$ );

$\sigma_{ст}$  – поверхневий натяг сталі, що може бути визначений за формулою

$$\sigma_{cm} = 1790 - 275([C] - 4,25), \text{ Н/м}, \quad (11)$$

де [C] – вміст вуглецю в сталі (див. табл. 1 і 3), %.

**35)** Число Рейнольдса розраховують за формулою

$$\text{Re} = \frac{v_{cmp} d_{cmp}}{\nu_{cm}}, \quad (12)$$

де  $\nu_{cm}$  – кінематична в'язкість сталі, м<sup>2</sup>/с. З достатньою для практичних розрахунків точністю можна прийняти  $(8,3 \dots 9,7) \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с. [1]

Таблиця 3 – Хімічний склад деяких марок сталі [1]

| Марка сталі | Хімічний склад сталі, % |      |       |       |       |       |       |       |      |
|-------------|-------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|             | C                       | Mn   | Si    | Ni    | Cr    | Mo    | Ti    | S     | N    |
| 70          | 0,71                    | 0,65 | 0,27  | 0,25  | 0,25  | 0     | 0     | 0,035 | 0    |
| 4320        | 0,195                   | 0,55 | 0,25  | 1,825 | 0,5   | 0     | 0     | 0,04  | 0    |
| 09Г2С       | 0,09                    | 1,55 | 0,38  | 0,3   | 0,3   | 0     | 0,035 | 0,004 | 0,01 |
| 10ХБФМ      | 0,12                    | 0,55 | 0,27  | 0     | 1,1   | 0     | 0     | 0     | 0    |
| 10ХСНД      | 0,1                     | 0,6  | 0,9   | 0,6   | 0,7   | 0     | 0     | 0,035 | 0    |
| 12ХН        | 0,12                    | 0,45 | 0,27  | 0,65  | 0,55  | 0     | 0     | 0,035 | 0    |
| 12ХН        | 0,12                    | 0,45 | 0,27  | 0,65  | 0,55  | 0     | 0     | 0,035 | 0    |
| 15CrMoG     | 0,15                    | 0,58 | 0,25  | 0     | 0,98  | 0,5   | 0     | 0,03  | 0    |
| 17ГС        | 0,18                    | 1,2  | 0,5   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,04  | 0    |
| 25Г2С       | 0,27                    | 1,47 | 0,7   | 0,3   | 0,3   | 0     | 0     | 0,035 | 0    |
| 30ХМА       | 0,3                     | 0,55 | 0,27  | 0,3   | 0,95  | 0,2   | 0     | 0,03  | 0    |
| 45ХН2МФА    | 0,46                    | 0,65 | 0,35  | 1,55  | 1     | 0,25  | 0     | 0,02  | 0    |
| 65Г         | 0,66                    | 0,65 | 0,27  | 0,03  | 0,65  | 0     | 0     | 0,035 | 0    |
| A105        | 0,2                     | 1,05 | 0,35  | 0,4   | 0,3   | 0,12  | 0     | 0,05  | 0    |
| X60         | 0,185                   | 1,15 | 0,27  | 0,3   | 0,3   | 0,06  | 0     | 0,03  | 0    |
| ОСВ         | 0,245                   | 0,75 | 0,275 | 0     | 0,105 | 0,225 | 0     | 0,03  | 0    |
| ШХ15        | 1                       | 0,3  | 0,27  | 0,25  | 1,45  | 0     | 0     | 0,015 | 0    |

Після обчислення чисел Вебера і Рейнольдса студенти роблять висновок стосовно того, у якого режиму витікає струмінь сталі зі стакан-дозатора сталерозливного ковша.

**36)** За формулами (6) і (7) визначають довжину ділянки струменя до початку його розбризування.



## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2 РОЗРАХУНОК ТВЕРДНЕННЯ ЗЛИВКА

**Мета роботи:** набуття компетенцій, пов'язаних з розрахунком теплових втрат під час розливання сталі в зливки, визначення температур ліквідусу та солідусу сталі з певним хімічним складом, а також оцінка часу затвердіння зливка та безперервнолитої заготовки.

### Загальні положення

Під час транспортування ковша до розливки і аж до завершення процесу розливання метал піддається безперервному охолодженню. Вкрай важливо, щоб сталь перед розливанням була достатньо перегріта вище температури ліквідусу, тим самим компенсуючи всі подальші теплові втрати. Ці втрати відбуваються в ковші і проміжному ковші під час розливання, під час передачі з ковша в проміжний ківш і з проміжного ковша в кристалізатор.

Після потрапляння рідкої сталі у виливницю або кристалізатор на поверхні, що охолоджується, починає утворюватися тверда кірка. Динаміка збільшення її товщини в часі описується законом квадратного кореня. Встановлено, що константа затвердіння в цьому законі залежить виключно від фізико-хімічних властивостей сталі (густини, теплопровідності, теплоти затвердіння) і умов теплообміну між кіркою і навколишнім середовищем.

Нерівномірний розподіл температурних полів у кірці злиwkів і заготовок призводить до виникнення температурних напружень, які викликані різкою зміною густини твердого металу в локальних перегрітих або переохолоджених ділянках. Якщо величина цих та інших напружень, що виникають в процесі розливання сталі, перевищує межу міцності сталі при цих температурах, то утворюються тріщини.

Розрахунок у практичній роботі складається з двох частин: 1) розрахунок температур ліквідусу і солідусу; 2) розрахунок затвердіння заготовки.

### Порядок виконання

З таблиці 1 студенти виписують вихідні дані для розрахунку відповідно до свого номера в групі. Обов'язково перед кожною формулою має стояти назва параметра, який потрібно обчислити. Формула спочатку має бути записана в символічному вигляді і містити одиниці виміру, якщо це можливо. Потім розрахунок виконується в наступній послідовності:

#### Температури ліквідус та солідус

1) Температуру ліквідус  $t_{лікв}$  сталі розраховують за її хімічним складом

$$t_{лікв} = t_{Fe}^{пл} - \sum a_j \cdot [\%E_j], \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (13)$$

де  $t_{Fe}^{пл}$  – температура плавлення чистого заліза,  $^\circ\text{C}$ ;  $a_j$  – коефіцієнти, що вказують, на скільки градусів змінюється температура ліквідус при

змінненні концентрації розчиненого в сталі компонента  $E_i$  на 1 % (див. табл. 4), °C/%;  $E_i$  – концентрація компонента  $E_i$  в сталі (див. табл. 3), %.

2) Аналогічно розраховують температуру солідус сталі.

#### Розрахунок витрат тепла сталі впродовж розливання

3) Виходячи з температури  $t_{лікв}$  ліквідус для заданої марки сталі розраховують температуру  $t_{см.к}$  сталі в ковші перед розливкою. При розливанні сталі в зливки її перегрів в ковші над температурою ліквідус повинен складати 60-80 °C при розливанні зверху і 80-100 °C – при розливанні сифоном. [2]

Таблиця 4 – Коефіцієнти для визначення температур ліквідус і солідус сталі [2]

| Компонент | Коефіцієнт $a_i$ для визначення температури |            | Інтервал використання $a_i$ для визначення $t_{сол}$ |
|-----------|---|------------|--|
|           | ліквідус                                    | солідус    |  |
| C         | 73  | 410<br>180 | $[\%C] \leq 0,10$<br>$0,13 \leq [\%C] \leq 2,14$     |
| S         | 30  | 696        | $[\%S] \leq 0,25$                                    |
| P         | 30  | 173        | $[\%P] \leq 2,8$                                     |
| Ti        | 20  | 18         | $[\%Ti] \leq 13$                                     |
| Si        | 12  | 19         | $[\%Si] \leq 14,4$                                   |
| Cu        | 7   | 9          | $[\%Cu] \leq 6,5$                                    |
| Ni        | 3,5   | 6,5        | $[\%Ni] \leq 3,5$                                    |
| Mn        | 3   | 6,5        | $[\%Mn] \leq 9,5$                                    |
| Mo        | 3   | 6,5        | $[\%Mo] \leq 10$                                     |
| Al        | 3   | 9          | $[\%Al] \leq 15$                                     |
| V         | 2   | 6          | $[\%V] \leq 10$                                      |
| Co        | 1,5   | 2          | $[\%Co] \leq 17,3$                                   |
| Cr        | 1   | 2          | $[\%Cr] \leq 2,5$                                    |
| W         | 1   | 1,5        | $[\%W] \leq 10$                                      |

#### Розрахунок тверднення зливка та заготовки

4) З закону «квадратного кореня» визначають орієнтовну тривалість тверднення зливка при розливанні зверху та сифоном, а також повну тривалість тверднення безперервнолитої заготовки

$$\delta = k\sqrt{\tau}, \text{ мм}, \quad (14)$$

де  $\delta$  – товщина кірки металу, що утворюється за час повного тверднення зливка або заготовки, мм;

$k$  – коефіцієнт тверднення, теоретична величина якого для заданих умов розливання може бути визначена за формулою

$$k = \sqrt{\frac{2\lambda_{ТВ}(t_{ЛІКВ}-t_{ПОВ})}{L\rho}}, \text{ мм/хв.}^{0,5}, \quad (15)$$

$\tau$  – час тверднення, хв.;

$\lambda_{ТВ}$  – теплопровідність твердої кірки, Вт/м·К;

$t_{ПОВ}$  – температура поверхні зливка або заготовки, °С;

$L$  – теплота кристалізації сталі, Дж/кг;

$\rho$  – густина, кг/м<sup>3</sup>.

Для розрахунків використовують статистичні величини коефіцієнта  $k$ , які становлять впродовж:

- наповнення виливниці 14÷17 мм/хв.<sup>0,5</sup>;
- тверднення зливка киплячої сталі 22÷24 мм/хв.<sup>0,5</sup>;
- тверднення зливка спокійної сталі 25÷27 мм/хв.<sup>0,5</sup>.

Величини коефіцієнта  $k$  при розливанні сталі на МБЛЗ наведено у таблиці 5. В кристалізаторі величина коефіцієнта  $k$  зазвичай коливається в межах 30÷37 мм/хв<sup>0,5</sup>. [2]

Таблиця 5 – Коефіцієнти тверднення при розливанні на МБЛЗ заготовок різного перерізу [2]


| Марка сталі       | Заготовка |      |      |
|-------------------|-----------|------|------|
|                   | сорт      | блюм | сляб |
| високовуглецева   | 31        | 28   | 25   |
| середньовуглецева | 32        | 29   | 26   |
| низьковуглецева   | 33        | 30   | 27   |

5) Виходячи зі швидкості  $V_p$  розливання з формули (14) визначають товщину  $\delta$  твердої кірки на виході з кристалізатора з робочою довжиною  $l$  1 м. Отриману величину порівнюють із критичною товщиною  $\delta_{кр}$ , яка становить:

- для сортових заготовок – 15÷18 мм;
- для блюмів – 25÷30 мм;
- для слябів – 25÷35 мм.

Якщо фактична товщина  $\delta$  менша за критичну  $\delta_{кр}$ , то кірка не витримує зовнішніх та внутрішніх напружень і відбувається прорив металу під кристалізатором. У цьому випадку студент розраховує раціональну швидкість  $V_{рац}$  розливання, що забезпечить формування кірки із товщиною, більшою за критичну.

6) Виходячи з швидкості  $V_p$  розливання та тривалості  $\tau$  тверднення безперервнолитої заготовки (див. п. 4) розраховують металургійну довжину МБЛЗ (довжину твердого ядра заготовки). [2]



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА ВИБІР ШЛАКОУТВОРЮВАЛЬНОЇ СУМІШІ І РОЗРАХУНОК ЇЇ ВИТРАТ ДЛЯ РОЗЛИВКИ СТАЛІ НА МБЛЗ

**Мета роботи:** ознайомлення з методикою вибору ШУС та визначення її питомої витрати для безперервного розливання різних марок сталі.

### Загальні положення

*Шлакоутворюючі суміші (ШУС)* використовуються в умовах безперервного лиття для підвищення ковзання твердої кірки поверхнею кристалізатора, а також з метою захисту дзеркала металу від впливу атмосфери і запобігання втрат тепла випромінюванням. Найефективнішим методом введення ШУС в кристалізатор є автоматизовані системи шнекового типу, які забезпечують рівномірний розподіл ШУС на поверхні металевого дзеркала в кристалізаторі.

Нагрівання рідкої сталі призводить до утворення трьох різних шарів ШУС на дзеркалі металу (див. рис. 2). Ці шари складаються з: рідкого шару, що безпосередньо контактує з дзеркалом металу; розм'якшеного (спеченого) шару, розташованого над рідким шаром, який забезпечує його свіжою рідиною в міру споживання; і порошкоподібного шару, розташованого над розм'якшеним шаром, який служить для зменшення тепловіддачі через дзеркало металу.

Рідкий шар ШУС виконує такі основні технологічні функції:

- запобігає вторинному окисленню при контакті дзеркала металу з атмосферою;
- асимілює неметалеві включення, які можуть бути присутніми у вигляді крапель у шлаку;
- зменшує силу тертя між заготовкою і стінкою кристалізатора завдяки наявності шару рідкого шлаку;
- підвищує рівномірність і дозволяє регулювати інтенсивність теплопередачі від твердої кірки до стінки кристалізатора;
- покращує якість поверхні заготовки, отриманої методом безперервного лиття.

Вважається, що основні характеристики суспензії включають в себе наступне:

- в'язкість рідкої ШУС у всьому діапазоні робочих температур;
- температура «точки розриву», що визначається як температура, при якій починається виділення кристалічної фази;
- температури розм'якшення, плавлення та розтікання ШУС.

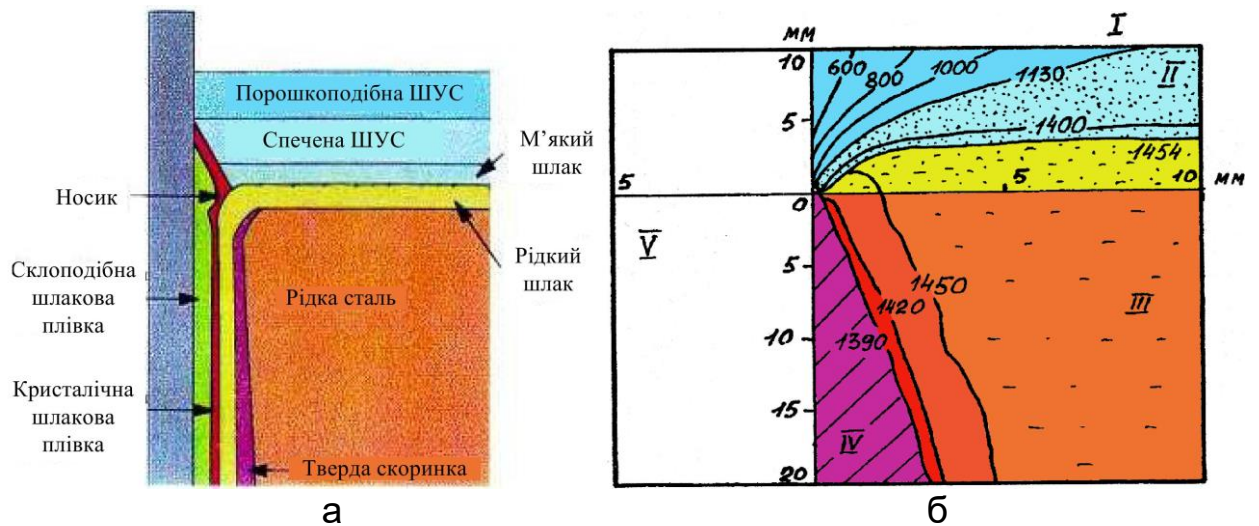


Рисунок 2 – Схема розташування шарів ШУС у кристалізаторі (а) і розподіл температур в області меніску (б): I – сипка шлакоутворювальна суміш; II – розм'якшений рідкий шлак; III – рідка сталь; IV – тверда скоринка; V – стінка кристалізатора [2]

В залежності від цих параметрів вибирають хімічний склад ШУС кристалізатора являє собою дрібнодисперсну багатокомпонентну систему, основними складовими якої є  $C$ ,  $CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $B_2O_3$ ,  $Na(K, Li)_2O$  й з'єднання фтору, якими можуть бути  $CaF_2$ ,  $NaF$  та ін. Крім основних компонентів, у ШУС присутня деяка кількість домішок:  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $BaO$ ,  $MnO$ ,  $Fe_2O_3$ .

На рисунку 3 наведена псевдо-потрійна діаграма для вибору орієнтовного хімічного складу ШУС для розливання різних марок сталей.

### Порядок виконання роботи

- 1) З таблиці 6 вписують вихідні дані для розрахунку.
- 2) Відповідно до хімічного складу сталі визначають тип сталі (перитектичні, низько-, середньо- або високовуглецеві) та приблизний хімічний склад ШУС за псевдопотрійною діаграмою на рисунку 3.
- 3) Обчислюємо параметр кристалізатора

$$R = \frac{2(a+b)}{a \cdot b}, 1/\text{м}. \quad (16)$$

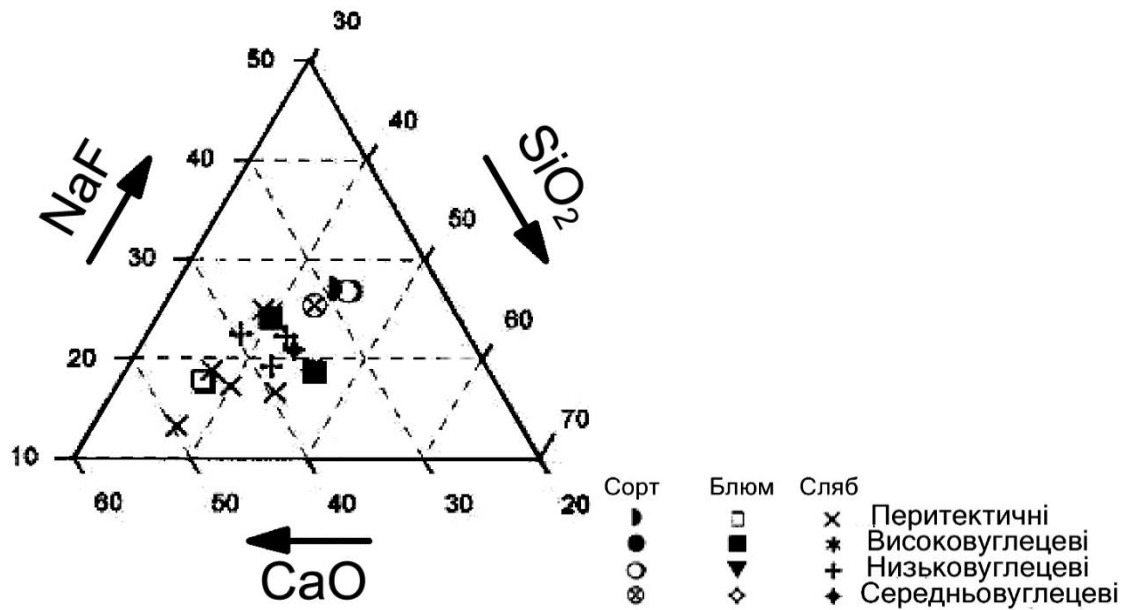


Рисунок 3 – Псевдотеріна діаграма для визначення орієнтовного хімічного складу ШУС [2]

- 4) Оптимальна питома витрата ШУС на 1 м<sup>2</sup> поверхні заготовки складає

$$Q_S = \frac{2}{R-5}, \text{ кг/м}^2. \quad (17)$$

- 5) Інтенсивність подачі ШУС у кристалізатор складає

$$\Delta m = 2 \cdot (a + b) \cdot V_p \cdot Q_S, \text{ кг/хв}. \quad (18)$$

- 6) За температури 1300 °С в'язкість ШУС повинна становити

$$\eta = \left( \frac{0,015 f_{\text{опт}} \tau_{\text{вип}}}{Q_S V_p} \right)^2, \text{ пуаз}^*, \quad (19)$$

де  $f_{\text{опт}}$  – оптимальна частота хитання кристалізатора, що сприяє мінімальній глибині слідів хитання на поверхні заготовки, розраховується за формулою

$$f_{\text{опт}} = \frac{16,44}{\tau_{\text{вип}}}, 1/\text{хв}. \quad (20)$$

- 7) Основним показником схильності сталей різного хімічного складу до утворення поздовжніх тріщин є феритний потенціал

\* 1 пуаз = 0,1 Па·с

$$F_p = 2,5(0,5 - [C]_{eq}), \quad (21)$$

де  $[C]_{eq}$  – вуглецевий еквівалент, що розраховується за формулою

$$[C]_{eq} = [C] + 0,04[Mn] - 0,14[Si] + 0,1[Ni] - 0,04[Cr] - 0,1[Mo] - 0,24[Ti] - 0,7[S] + 0,7[N], \% \quad (22)$$

Величина  $F_p > 1$  відповідає формуванню повністю феритної структури в області температури солідус (для чистого  $\delta$ -Fe  $F_p = 1,25$ ). При  $F_p < 0$  формується повністю аустенітна структура. За вмістом вуглецю до сталей перитектичного класу зазвичай відносять сталі із вмістом вуглецю 0,1...0,18 % (рисунок 4).

- 8) З рис. 5 необхідно визначити, до якої групи відноситься сталь: тріщиночутливих або схильних до підвисання кірки у кристалізаторі.
- 9) Для визначення глибини проникнення рідкого шлаку в зазор між злитком і кристалізатором, а також для характеристики ступеня кристалічності плівки шлаків у цьому зазорі використовують величину температури початку затвердіння ШУС  $t_{замв}$ , яку ще називають температурою початку виділення кристалічної фази або температурою «зламу». Для розливання різних марок сталі величина  $t_{замв}$  повинна мати різні (цілком певні) значення. Для оцінки величини  $t_{замв}$  при розливанні різних марок сталі використовують вирази

$$t_{замв} = \begin{cases} 1375 + 60 \cdot \ln \eta; & 0,8 \leq F_p \leq 1,1 \\ 1340 + 68 \cdot \ln \eta; & F_p < 0,3 \text{ або } F_p > 1,5 \\ 1307 + 76 \cdot \ln \eta; & \text{інше} \end{cases} \quad (23)$$

де  $\eta$  – динамічна в'язкість ШУС, Па·с.

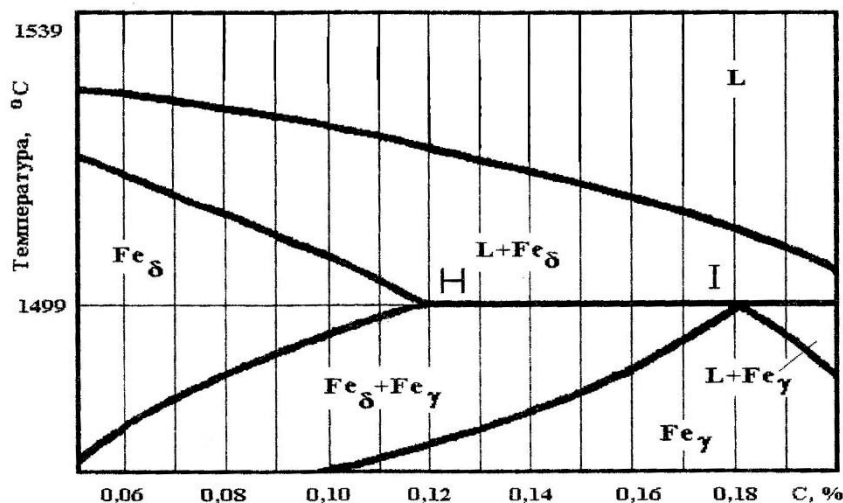


Рисунок 4 – Лівий верхній кут діаграми залізо-вуглець з перитектичним перетворенням [2]

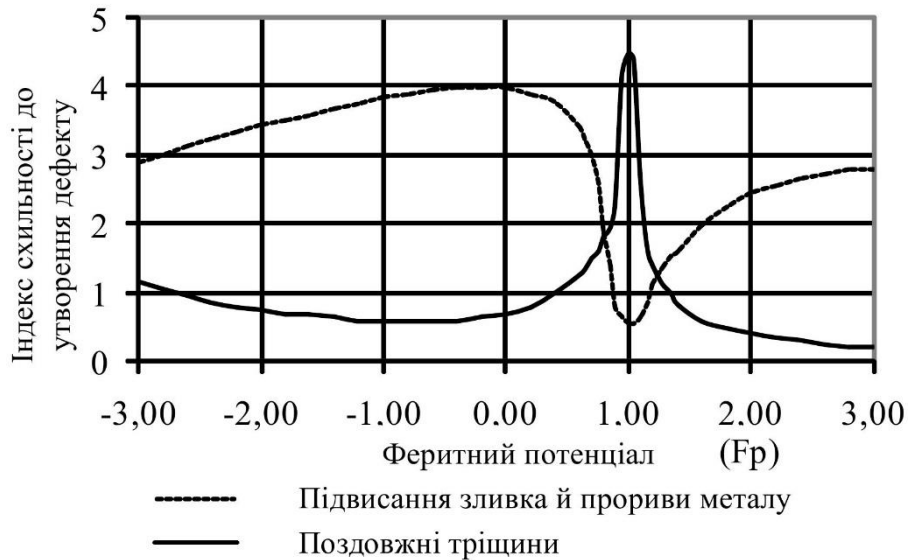



Рисунок 5 – Діаграма для визначення схильності сталі до утворення поверхневих тріщин та підвисань при розливанні на МБЛЗ [2]

Звіт з виконаної роботи повинен містити:

- назву і мету роботи;
- основні теоретичні положення;
- таблицю з вихідними даними для розрахунку;
- розрахунок основних параметрів ШУС;
- висновок, у якому слід вказати тип сталі за вмістом вуглецю та схильністю до утворення певного виду дефектів при розливанні, приблизний хімічний склад запропонованої ШУС та головні її властивості (основність, динамічну в'язкість та температуру затвердіння). [2]

Таблиця 6 – Вихідні дані для розрахунку [2]

| № з/п | Марка сталі | Хімічний склад сталі, % |      |      |      |      |      |       |       |      |              | Швидкість розливання |      |      | Переріз заготовки, мм |  | Час випередження $\tau_{вип}, c$ |
|-------|-------------|-------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|--------------|----------------------|------|------|-----------------------|--|----------------------------------|
|       |             | C                       | Mn   | Si   | Ni   | Cr   | Mo   | Ti    | S     | N    | $V_p, м/хв.$ | a                    | b    |      |                       |  |                                  |
| 1     | 09Г2С       | 0,09                    | 1,55 | 0,38 | 0,30 | 0,30 | 0,00 | 0,035 | 0,004 | 0,01 | 1,5          | 150                  | 200  | 0,25 |                       |  |                                  |
| 2     | ШХ15        | 1,00                    | 0,30 | 0,27 | 0,25 | 1,45 | 0,00 | 0     | 0,015 | 0    | 1,0          | 120                  | 120  | 0,1  |                       |  |                                  |
| 3     | 30ХМА       | 0,30                    | 0,55 | 0,27 | 0,30 | 0,95 | 0,20 | 0     | 0,030 | 0    | 1,5          | 150                  | 150  | 0,2  |                       |  |                                  |
| 4     | 45ХН2МФА    | 0,46                    | 0,65 | 0,35 | 1,55 | 1,00 | 0,25 | 0     | 0,020 | 0    | 1,5          | 170                  | 170  | 0,25 |                       |  |                                  |
| 5     | 10ХБФМ      | 0,12                    | 0,55 | 0,27 | 0,00 | 1,10 | 0,00 | 0     | 0,000 | 0    | 1,2          | 180                  | 180  | 0,1  |                       |  |                                  |
| 6     | 25Г2С       | 0,27                    | 1,47 | 0,70 | 0,30 | 0,30 | 0,00 | 0     | 0,035 | 0    | 0,8          | 180                  | 1000 | 0,2  |                       |  |                                  |
| 7     | 10ХСНД      | 0,10                    | 0,60 | 0,90 | 0,60 | 0,70 | 0,00 | 0     | 0,035 | 0    | 1,6          | 150                  | 150  | 0,25 |                       |  |                                  |
| 8     | 12ХН        | 0,12                    | 0,45 | 0,27 | 0,65 | 0,55 | 0,00 | 0     | 0,035 | 0    | 1,7          | 150                  | 180  | 0,1  |                       |  |                                  |
| 9     | 15CrMoG     | 0,15                    | 0,58 | 0,25 | 0,00 | 0,98 | 0,50 | 0     | 0,030 | 0    | 0,7          | 200                  | 1000 | 0,2  |                       |  |                                  |
| 10    | 70          | 0,71                    | 0,65 | 0,27 | 0,25 | 0,25 | 0,00 | 0     | 0,035 | 0    | 0,6          | 250                  | 1200 | 0,3  |                       |  |                                  |
| 11    | 12ХН        | 0,12                    | 0,45 | 0,27 | 0,65 | 0,55 | 0,00 | 0     | 0,035 | 0    | 0,6          | 220                  | 1800 | 0,1  |                       |  |                                  |
| 12    | 65Г         | 0,66                    | 0,65 | 0,27 | 0,03 | 0,65 | 0,00 | 0     | 0,035 | 0    | 0,5          | 300                  | 1500 | 0,2  |                       |  |                                  |
| 13    | OCB         | 0,25                    | 0,75 | 0,29 | 0,00 | 0,11 | 0,23 | 0     | 0,030 | 0    | 1,2          | 280                  | 300  | 0,3  |                       |  |                                  |
| 14    | X60         | 0,19                    | 1,15 | 0,27 | 0,30 | 0,30 | 0,06 | 0     | 0,030 | 0    | 1,2          | 250                  | 350  | 0,1  |                       |  |                                  |
| 15    | 4320        | 0,20                    | 0,55 | 0,25 | 1,83 | 0,50 | 0,00 | 0     | 0,040 | 0    | 0,5          | 300                  | 800  | 0,2  |                       |  |                                  |
| 16    | A105        | 0,20                    | 1,05 | 0,35 | 0,40 | 0,30 | 0,12 | 0     | 0,050 | 0    | 0,5          | 350                  | 2000 | 0,3  |                       |  |                                  |
| 17    | 17ГС        | 0,18                    | 1,20 | 0,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0     | 0,040 | 0    | 0,4          | 350                  | 2500 | 0,1  |                       |  |                                  |
| 18    | 50X         | 0,50                    | 0,65 | 0,27 | 0,30 | 0,95 | 0,00 | 0     | 0,035 | 0    | 1,6          | 150                  | 170  | 0,2  |                       |  |                                  |
| 19    | 20Г         | 0,20                    | 0,85 | 0,27 | 0,30 | 0,30 | 0,00 | 0     | 0,035 | 0    | 0,8          | 300                  | 400  | 0,3  |                       |  |                                  |
| 20    | 42CrMo4     | 0,42                    | 0,75 | 0,28 | 0,00 | 1,05 | 0,24 | 0     | 0,040 | 0    | 1,0          | 150                  | 1100 | 0,1  |                       |  |                                  |



## ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ РОЗРАХУНОК ЗЛИВКА І КОНСТРУКЦІЇ ВИЛИВНИЦІ ДЛЯ ЙОГО РОЗЛИВАННЯ

**Мета роботи:** ознайомитися з методикою розрахунку розмірів і форми зливка конструкції виливниці для його розливання.

### Загальні положення

Тип зливка визначається, здебільшого, сортаментом сталі. Зливки киплячої і напівспокійної сталі роблять розширеним донизу з пласким дном. Іноді при розливанні зверху під плоскою підставою розширеного донизу зливка для зменшення донного обрізу роблять кюмпельний приплив (за рахунок кюмпельного поглиблення в піддоні).

Зливки спокійної сталі найчастіше роблять розширеними догори з прибутковою частиною вгорі й округленим дном. У деяких випадках для виготовлення виробів невідповідального призначення застосовують розширені донизу зливки спокійної сталі. Верхня частина таких злиwkів є прибутковою й утеплюється теплоізоляційними плитами, що прикріплюють до стінок виливниці, або вмонтованою у виливницю шамотною футеровкою.

Форма поперечного перерізу зливка залежить, перш за все, від сортаменту прокату й типу обтискного стану. Поперечний переріз блюмінгових злиwkів звичайно роблять у формі квадрата або прямокутника з округленими кутами. Іноді для зменшення кількості тріщин грані блюмінгових злиwkів роблять опуклими або угнутими.

Поперечний переріз слябінгових злиwkів часто має форму прямокутника з округленими кутами. Іноді широкі грані слябінгових злиwkів для зменшення бічної утяжки при прокатці роблять опуклими (рідше угнутими для зменшення кількості тріщин). Вузькі грані слябінгових злиwkів для стійкого руху зливка рольгангом при прокатці «на ребро» звичайно робляться прямими.

Для зменшення кількості поздовжніх поверхневих тріщин широкі грані (рідше й вузькі) слябінгових злиwkів звичайно роблять хвилястими або ребристими. Блюмінгові зливки вкрай рідко мають хвилясту або ребристу поверхню. [2]

Поперечний переріз листових злиwkів, що прокатують на товстолистових станах без вертикальних валків, для зменшення бічної утяжки металу й одержання бічної крайки без закатів роблять або у вигляді витягнутого шестикутника, або у вигляді прямокутника із сильно опуклими вузькими гранями. Широкі грані таких злиwkів іноді роблять угнутими.

Поперечний переріз трубних злиwkів (призначених для одержання труб, коліс, бандажів тощо) малої ваги (до 0,5 т) робляться у формі кола. При більшій вазі трубних злиwkів їхній поперечний переріз завжди має форму багатокутника (6-, 8-, 12-кутник та ін.) з округленими кутами. Сторони багатокутника іноді робляться ввігнутими.

Поперечний переріз ковальських зливків звичайно роблять у формі 6- або 8- кутника з округленими кутами.

Нижче наведено методику розрахунку блюмового зливка. Методику розрахунку слябового зливків спокійної, киплячої і напівспокійної сталі дещо відрізняються. Їх можна знайти у спеціалізованій літературі. Ескізи слябового зливка та виливниці і прибуткової надставки з умовними позначеннями основних розмірів, що використовуються у розрахунку, наведені у додатку.

### Розрахунок ваги блюмового зливка і його розмірів

- 1) З таблиці 7 вписують вихідні дані для розрахунку.
- 2) Виходячи з сортаменту профілів, що прокатують, їхньої питомої ваги в замовленнях і різанням розкату на ціле число  $n$  штук, визначаємо вагу придатної частини зливка

$$M_{\text{прид}} = m \cdot l \cdot n, \text{ т}, \quad (24)$$

де  $m$  – вага 1 погонного метру профілю, т;  $l$  – довжина профілю, м;  $n$  – кількість профілів, на які розкатують розкат, шт. [2]

Таблиця 7 – Вихідні данні для розрахунку блюмового зливка [2]

| № з/п | Кількість рейок з 1 зливка $n$ , шт. | Тип рейки | Довжина рейки $l$ , м | Вага 1 пог. м рейки $m$ , кг |
|-------|--------------------------------------|-----------|-----------------------|------------------------------|
| 1     | 17                                   | 50        | 14,5                  | 51,5                         |
| 2     | 13                                   | 50        | 13,0                  | 51,5                         |
| 3     | 12                                   | 50        | 12,5                  | 51,5                         |
| 4     | 10                                   | 50        | 12,0                  | 51,5                         |
| 5     | 18                                   | 50        | 10,0                  | 51,5                         |
| 6     | 17                                   | 50        | 9,5                   | 51,5                         |
| 7     | 11                                   | 38        | 12,5                  | 38,0                         |
| 8     | 16                                   | 38        | 9,0                   | 38,0                         |
| 9     | 22                                   | 38        | 10,0                  | 38,0                         |
| 10    | 15                                   | 38        | 8,0                   | 38,0                         |
| 11    | 14                                   | 38        | 10,0                  | 38,0                         |
| 12    | 20                                   | 38        | 13,5                  | 38,0                         |
| 13    | 9                                    | 43        | 12,5                  | 43,0                         |
| 14    | 16                                   | 43        | 10,0                  | 43,0                         |
| 15    | 20                                   | 43        | 12,0                  | 43,0                         |
| 16    | 25                                   | 43        | 12,5                  | 43,0                         |
| 17    | 18                                   | 50        | 12,5                  | 43,0                         |
| 18    | 8                                    | 50        | 25,0                  | 51,5                         |
| 19    | 12                                   | 50        | 25,0                  | 51,5                         |
| 20    | 14                                   | 50        | 24,0                  | 51,5                         |

- 3) На підставі досвіду роботи заводів приймаємо величину втрат металу з окалиною (вигар) та обрізі і визначаємо повну вагу зливка:

$$M_{\text{злив}} = \frac{100 \cdot k \cdot M_{\text{прид}}}{100 - \phi_{\text{виг}} - \phi_{\text{г.обр}} - \phi_{\text{д.обр}}}, \text{ Т}, \quad (25)$$

де  $\phi_{\text{виг}}$ ,  $\phi_{\text{г.обр}}$  і  $\phi_{\text{д.обр}}$  – втрати металу з окалиною (1,5...2,5), головним та донним обрізом відповідно, % (таблиця 8);  $k = 1,05$  – витратний коефіцієнт, що враховує втрати металу після блюмінгу (на рейкобалковому стані).

- 4) Визначаючи вагу зливка слід враховувати, що на ножицях разом із головною частиною обрізають близько 1 % тіла зливка (100...150 мм до поясу). Тому вага тіла зливка, яка відповідає порожнині виливниці

$$M_{\text{Т}} = \left( \frac{100}{100 - \phi_{\text{виг}}} \right) \left( k \cdot M_{\text{прид}} + \frac{\phi_{\text{д.обр}} + 1}{100} \cdot M_{\text{злив}} \right), \text{ Т}. \quad (26)$$

- 5) Приймаючи густину твердої сталі  $\rho_{\text{ТВ}} = 7,8 \text{ т/м}^3$ , визначаємо об'єм тіла зливка  $V_{\text{м}}$ .
- 6) Визначаємо умовний розмір сторони середнього перерізу  $D_{\text{ум}}$  зливка і його площу  $F_{\text{ум}}$  виходячи із співвідношення  $\eta = H/D_{\text{ум}}$  (таблиця 9) [2]

$$D_{\text{ум}} = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{Т}}}{\eta}}, \text{ м}. \quad (27)$$

$$F_{\text{ум}} = D_{\text{ум}}^2, \text{ м}^2. \quad (28)$$

Таблиця 8 – Обріз злиwkів різних типів сталі [2]

| Обріз, %                         | Тип сталі   |               |          |
|----------------------------------|-------------|---------------|----------|
|                                  | кипляча     | напівспокійна | спокійна |
| Головний $\phi_{\text{г.обр}}$ : | -           | 2,5...8,0     | 12...16  |
| - рядова сталь                   | 5,0...9,0   | -             | -        |
| - хім. закупорювання             | 3,5...6,0   | -             | -        |
| - якісна сталь                   | 10,0...13,0 | -             | -        |
| Донний $\phi_{\text{д.обр}}$     |             | 1...4         |          |

- 7) Використовуючи знайдену площу  $F_{\text{ум}}$ , обираємо розміри його сторін  $a_{\text{сер}}$  і  $b_{\text{сер}}$ , виходячи з умови отримання необхідних розмірів зливка. Для злиwkів, які прокатують у блюмси, доцільна прямокутна форма з різницею сторін  $\Delta = a_{\text{сер}} - b_{\text{сер}} = 100...120$ . Тоді середній розмір більшої сторони  $a_{\text{сер}}$

$$a_{\text{сеп}} = \frac{\Delta + \sqrt{\Delta^2 + 4 \cdot F_{\text{YM}}}}{2}, \text{ м}, \quad (29)$$

а середній розмір  $b_{\text{сеп}}$  меншої розраховуємо з прийнятої різниці сторін  $\Delta$ .

$$b_{\text{сеп}} = a_{\text{сеп}} - \Delta, \text{ м}. \quad (30)$$

- 8) Виходячи з прийнятого у п. 6 співвідношення  $\eta$ , розраховуємо орієнтовну висоту тіла зливка  $H'$  (нижче цю величину буде уточнено).
- 9) Ухил\*  $\alpha_k$  граней зливка розраховуємо за залежністю з таблиці 9.
- 10) Визначаємо різницю відповідних довжин сторін верхнього  $A$  і нижнього  $a$  поперечного перерізів зливка

$$\Delta A = A - a = \frac{2H' \cdot \alpha_k}{100}, \text{ м}. \quad (31)$$

В зливках спокійної сталі за нижній переріз приймають умовний переріз, проведений в донній частині зливка. [2]

- 11) Знаючи різницю  $\Delta$ , знаходимо розміри верхнього і нижнього перерізів

$$A = a_{\text{сеп}} + \frac{\Delta A}{2}, \text{ м}. \quad (32)$$

- 12) Решту розмірів ( $B$ ,  $a$  і  $b$ ) розраховуємо виходячи з величини  $\Delta$  і  $\Delta A$ .  
Уточнення розмірів зливка здійснюється з урахуванням прогинання граней  $\delta$  (6 мм для високовуглецевої сталі і 10...15 мм – для середньо- і низьковуглецевої) та параметрів хвиль на поверхні тіла зливка (висота  $\mu$  і крок  $\lambda$  хвиль, радіусів виступів  $r_{\text{вист}}$  і западин  $r_{\text{зап}}$ ). Ці параметри (рис. 6) тіла зливка відповідно до практичних рекомендацій становлять для злиwkів низьковуглецевої сталі  $\mu = 10...15$  мм,  $\lambda = 100...110$  мм.
- 13) Параметр  $\delta$  і радіус закруглення кутів зливка звичайно міняються по висоті тіла злитка, оскільки на різній висоті поперечні перерізи, залишаючись подібними один одному, мають різні середні розміри. Однак параметри хвиль на поверхні злитка, зазвичай, не міняються з висотою, а міняються лише розміри перехідних ділянок від хвилястої грані до округленого кута. Після визначення розмірів деталей уточнюються розміри перерізу. Уточнення цих розмірів може бути виконане за формулами

$$A_{\text{ут}} = A + k_1 \cdot \delta + k_2 \cdot \mu, \text{ м}, \quad (33)$$

\* У літературі, присвяченій розливанню злиwkів і конструкції виливниць, часто використовують терміни *конусність* (на одну сторону).

Таблиця 9 – Основні конструктивні параметри виливниць і прибуткових надставок [2]

| Параметр  | Спокійна сталь                                       |   | Кипляча сталь                              |  |
|---|--|---|--|--|
|   | блюмові  | листові                                   | блюмові                                    | листові                                    |
| $\eta = H/D$<br>$H/A$   | 2,80...3,35<br>–                                     | 1,7...2,3<br>2,5...3,0                    | 3,0...3,5<br>–                             | 2,1...2,7<br>3,2...3,5                     |
| Ухил, % :<br>- широкої грані<br>- вузької грані   | $(0,9...1,1) \cdot \eta$<br>$(0,9...1,1) \cdot \eta$ | $(0,7...0,9)H/A$<br>0,6...0,7 від широкої | 1,0...1,3<br>1,0...1,3                     | 1,2...1,3<br>0,7...0,8 від широкої         |
| Середня товщина стінок<br>зміцнених бандажами<br>- широкої грані<br>- вузької грані           | $(0,19...0,21)D$<br>$(0,19...0,21)D$                 | $(0,24...0,25)D$<br>$(0,19...0,21)D$      | $(0,18...0,20)D$<br>$(0,18...0,20)D$       | $(0,24...0,25)D$<br>$(0,19...0,20)D$       |
| Змінення середньої товщини<br>стінки по висоті виливниці<br>- вгорі<br>- всередині<br>- внизу | $(1,0...1,1)S$<br>$S$<br>$(0,9...1,0)S$              | $(1,0...1,1)S$<br>$S$<br>$(0,9...1,0)S$   | $(0,90...0,95)S$<br>$S$<br>$(1,05...1,1)S$ | $(0,90...0,95)S$<br>$S$<br>$(1,05...1,1)S$ |
| Радіус закруглення внутрішніх<br>кутів виливниці  | $(0,08...0,10)D$                                     | $(0,08...0,10)D$                          | $(0,08...0,10)D$                           | $(0,08...0,10)D$                           |
| Форма днища виливниці   | напівкуляста   | сфероїдальна                              | крізна (без дна)                           | крізна (без дна)                           |
| Ухил стінок футерівки<br>прибуткової надставки, %   | 17...20  | 17...20                                   | –  | –  |

\* Ухил граней великих ковальських зливків може складати 2,5...6,0 %.

де  $k_1$  – емпіричний коефіцієнт, що залежить від характеру кривизни граней і складає 0 для плоских граней,  $2/3$  – для опуклих по дузі граней, 1 – для хвилястих або угнутих граней;  $k_2$  – емпіричний коефіцієнт, що залежить від співвідношення між радіусами виступів і западин та складає  $2/3$  за  $r_{\text{вист}} > r_{\text{зап}}$ , 1 – за  $r_{\text{вист}} = r_{\text{зап}}$  і 0 – за відсутності хвиль. [2]

Аналогічно розраховують розміри усіх поперечних перерізів зливка.

### Визначення розмірів виливниці

- 14) З урахування знайдених вище розмірів поперечних перерізів і коефіцієнта лінійної усадки  $\alpha$  знаходимо розміри поперечних перерізів порожнини виливниці у світлі

$$A_{\text{вил}} = \left(1 + \frac{\alpha}{100}\right) \cdot A, \text{ м.} \quad (34)$$

За даними [4] лінійна усадка  $\alpha$  складає близько 3 %. Аналогічно розраховуємо  $B_{\text{вил}}$ ,  $a_{\text{вил}}$  і  $b_{\text{вил}}$ .

- 15) Радіуси округлення кутів відповідних перерізів визначаємо за формулами

верхнього перерізу  $r_1 = 0,1\sqrt{A_{\text{вил}} \cdot a_{\text{вил}}}, \text{ м,} \quad (35)$

нижнього перерізу  $r_2 = 0,1\sqrt{B_{\text{вил}} \cdot b_{\text{вил}}}, \text{ м.} \quad (36)$

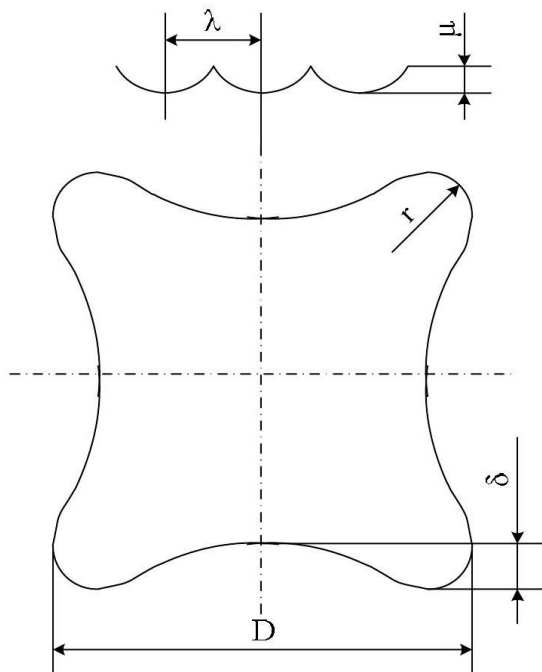


Рисунок 6 – Поперечний переріз блюмінгового зливка [2]

Для створення сприятливих умов формування донної частини зливка і зменшення утяжки в нижньому торці розкату днищу квадратних і прямокутних виливниць для розливання спокійної сталі надають сфероїдальної форми.

- 16) Радіуси сфероїдальної поверхні днища можна визначити за формулами

$$R_1 = \frac{a_{\text{вил}}}{2} \left(1 + \frac{\alpha_{\text{к}}}{100}\right), \text{ м,} \quad (37)$$

$$R_2 = \frac{b_{\text{вил}}}{2} \left(1 + \frac{\alpha_{\text{к}}}{100}\right), \text{ м.} \quad (38)$$

- 17) При розливанні сталі зверху, обираємо верхній діаметр пробки  $d$ , що зазвичай коливається в межах 270...350 мм.

- 18) Знаходимо висоту скошу дна виливниці для гнізда пробки при верхньому діаметрі  $d$

$$f = R_1 - \sqrt{R_1^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}, \text{ м.} \quad (39)$$

19) Висота донної частини виливниці

$$h_d = R_1 - f, \text{ м.} \quad (40)$$

20) Положення центру дуги циліндричної поверхні меншого радіусу

$$e = h_d - \sqrt{R_2^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}, \text{ м.} \quad (41)$$

21) Розміри перерізу в місці переходу до донної частини зливка

$$a_1 = a_{\text{вил}} + 2h_d \cdot \frac{\alpha_{\text{к}}}{100}, \text{ м,} \quad (42)$$

аналогічно розраховуємо довжину  $b_1$ .

22) Розміри  $a_1$  і  $b_1$  можуть також бути розраховані за формулами

$$a_1 = 2 \cdot R_1 \text{ та } b_1 = 2 \cdot R_2, \text{ м.} \quad (43)$$

23) Радіус закруглення кутів в цьому перерізі

$$r = 0,1\sqrt{a_1 \cdot b_1}, \text{ м.} \quad (44)$$

24) Об'єм донної частини порожнини виливниці визначають за формулою

$$V_d = \frac{8 \cdot R_1^3}{3} - \frac{\pi \cdot f^2 (3 \cdot R_1 - f)}{3} - \frac{h_d}{3} \cdot [(R_1 - R_2)(4R_1 - d) + 0,86 \cdot r^2], \text{ м}^3. \quad (45)$$

25) Визначаємо об'єм порожнини виливниці, в якому знаходиться тіло зливка з урахуванням об'ємної усадки

$$V_{\text{вил}} = V_{\text{т}} \left(1 + \frac{\varepsilon}{100}\right), \text{ м}^3, \quad (46)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт повної об'ємної усадки сталі, який приблизно дорівнює потрійному коефіцієнту лінійної усадки  $\varepsilon \approx 3\alpha = 9\%$ .

26) Тоді об'єм порожнини виливниці без донної частини

$$V_{\text{п}} = V_{\text{вил}} - V_d, \text{ м}^3. \quad (47)$$

27) Тіло зливка зазвичай має форму обеліску. Його висота до місця переходу до донної частини може бути визначена за формулою

$$H_{\Pi} = \frac{V_{\Pi}}{F_1 + F_2 + 4F_{\text{сер}}}, \text{ м.} \quad (48)$$

де  $F_1$  – площа верхнього перерізу

$$F_1 = A_{\text{вил}} B_{\text{вил}} - 0,86r_1^2, \text{ м}^2, \quad (49)$$

$F_2$  – площа перерізу в місці переходу до донної частини

$$F_2 = a_1 b_1 - 0,86r_2^2, \text{ м}^2, \quad (50)$$

$F_{\text{сер}}$  – площа середнього перерізу

$$F_{\text{сер}} = \frac{(A_{\text{вил}} + a_1)(B_{\text{вил}} + b_1)}{4} - 0,215(r_1 + r_2)^2, \text{ м}^2. \quad (51)$$

**28)** Визначаємо висоту порожнини виливниці

$$H = H_{\Pi} + h_{\text{д}}, \text{ м.} \quad (52)$$

**29)** Задаючись товщиною дна  $S_{\text{д}}$  (на практиці коливається в межах 250...300 мм) знаходимо повну висоту виливниці

$$H_{\text{вил}} = H + S_{\text{д}}, \text{ м.} \quad (53)$$

Зазвичай  $H_{\text{вил}} = 1,1 \cdot H$ .

**30)** Перевіряємо прийняту у п. 6 величину співвідношення  $\eta = H/D$ . Для цього визначаємо середній розмір внутрішньої сторони виливниці

$$D = \sqrt{F_{\text{сер}}}, \text{ м.} \quad (54)$$

**31)** За формулами з таблиці 9 визначаємо товщину  $S$  стінок виливниці (з урахуванням бандажів по середині граней).

**32)** Товщина стінок по кутах  $S_{\text{кут}}$  складає близько 80 % від величини  $S$ .

Приймаємо форму зовнішніх граней виливниці опуклою й товщину стінок по висоті виливниці – однаковою. Оскільки товщина стінок виливниці, як показала практика, менша за 180 мм, то в місці розташування бандажа передбачаємо пасок товщиною близько 25 % товщини стінки, тобто  $S_{\text{п}} = 35$  мм. Висоту паска приймаємо рівної 250 мм, висоту бандажа – 150 мм, товщину вгорі 35 мм (приблизно 25 % товщини стінки), унизу – 38 мм. Радіус закруглення нижнього внутрішнього кута бандажа конструктивно приймаємо 35 мм. З урахуванням кращої роботи бандажа розташовуємо його на 20 мм нижче торця виливниці. [2]

**33)** Визначаємо зовнішні розміри виливниці зверху і знизу

$$A_{\text{ЗОВ}} = A_{\text{ВИЛ}} + 2(S + S_{\text{П}}), \text{ м}, \quad (55)$$

$$B_{\text{ЗОВ}} = B_{\text{ВИЛ}} + 2(S + S_{\text{П}}), \text{ м}, \quad (56)$$

$$a_{\text{ЗОВ}} = a_{\text{ВИЛ}} + 2S + \frac{S_{\text{Д}} \cdot \alpha_{\text{К}}}{100}, \text{ м}, \quad (57)$$

$$b_{\text{ЗОВ}} = b_{\text{ВИЛ}} + 2S + \frac{S_{\text{Д}} \cdot \alpha_{\text{К}}}{100}, \text{ м}. \quad (58)$$

Розміри та розташування вух визначаємо конструктивно з урахуванням зручності роботи стріперних кранів.

### Розрахунок прибуткової надставки

**34)** Вага металу у прибутковій надставці у холодному стані

$$M_{\text{пр}} = M_{\text{злив}} - M_{\text{Т}}, \text{ т}. \quad (59)$$

**35)** При кристалізації зливка близько 3 % рідкого металу переходить з прибуткової надставки у порожнину виливниці. Тоді вага рідкого металу у прибутковій надставці

$$M_{\text{пр.рід}} = 1,03M_{\text{злив}} - M_{\text{Т}}, \text{ т}. \quad (60)$$

**36)** Визначаємо об'єм рідкого металу у прибутковій надставці

$$V_{\text{пр.рід}} = \frac{M_{\text{пр.рід}}}{\rho_{\text{рід}}}, \text{ м}^3. \quad (61)$$

де  $\rho_{\text{рід}} = 7,0 \dots 7,2$  – густина рідкої сталі, т/м<sup>3</sup>.

**37)** З практичного досвіду приймаємо, що розміри сторін вікна основи прибуткової надставки менші за розміри сторін верхнього перерізу виливниці на світлі на  $c = 40 \dots 60$  мм. Тоді ці розміри

$$A_{\text{пр}} = A_{\text{ВИЛ}} - c, \text{ м}. \quad (62)$$

$$B_{\text{пр}} = B_{\text{ВИЛ}} - c, \text{ м}. \quad (63)$$

**38)** Радіус закруглення кутів приймають звичайно таким самим, як і для верхнього перерізу виливниці. Тоді площа вікна прибуткової надставки

$$F'_{\text{пр}} = A_{\text{пр}} \cdot B_{\text{пр}} - 0,86r_1^2, \text{ м}^2. \quad (64)$$

**39)** З таблиці 9 приймаємо ухил граней прибуткової надставки. Тоді рівень  $H_{\text{н}}$  металу у прибутковій частині зливка знаходиться з кубічного рівняння

$$1,33 \cdot \frac{\alpha_{\text{пр.к}}^2}{10^4 \cdot A_{\text{пр}} \cdot B_{\text{пр}}} \cdot H_{\text{н}}^3 - \frac{\alpha_{\text{пр.к}}}{100} \cdot \left( \frac{1}{A_{\text{пр}}} + \frac{1}{B_{\text{пр}}} \right) \cdot H_{\text{н}}^2 + H_{\text{н}} = \frac{V_{\text{пр.рід}}}{A_{\text{пр}} \cdot B_{\text{пр}}}, \text{ м.} \quad (65)$$

- 40) Визначаємо розміри сторін перерізу прибуткової надставки на рівні наповнення її металом

$$a_{\text{н}} = A_{\text{пр}} - 2 \cdot H_{\text{н}} \cdot \frac{\alpha_{\text{пр.к}}}{100}, \text{ м,} \quad (66)$$

$$b_{\text{н}} = B_{\text{пр}} - 2 \cdot H_{\text{н}} \cdot \frac{\alpha_{\text{пр.к}}}{100}, \text{ м.} \quad (67)$$

- 41) Приймаючи на бокових гранях головної частини зливка площадки шириною **C** щонайменше 100 мм для захоплення зливка кліщами знаходимо величину радіуса закруглення

$$r_{\text{пр}} = \frac{b_{\text{н}} - C}{2}, \text{ м.} \quad (68)$$

- 42) Площа перерізу прибуткової надставки на рівні наповнення її металом

$$F''_{\text{пр}} = a_{\text{н}} b_{\text{н}} - 0,36 \cdot r_{\text{пр}}^2, \text{ м}^2. \quad (69)$$

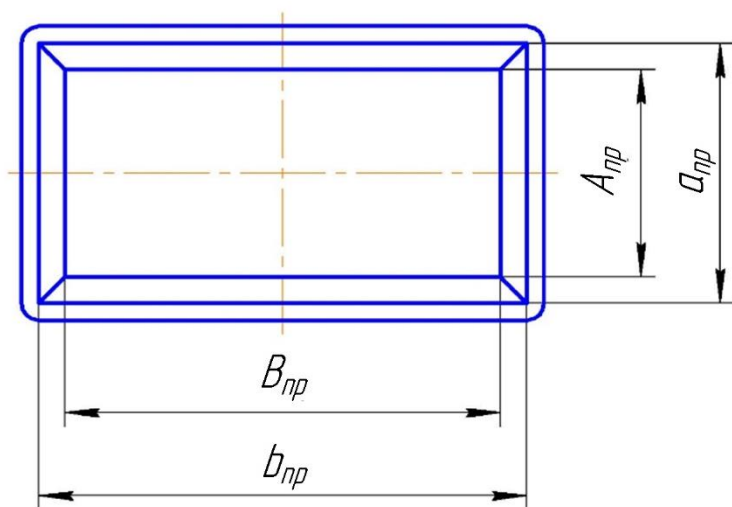
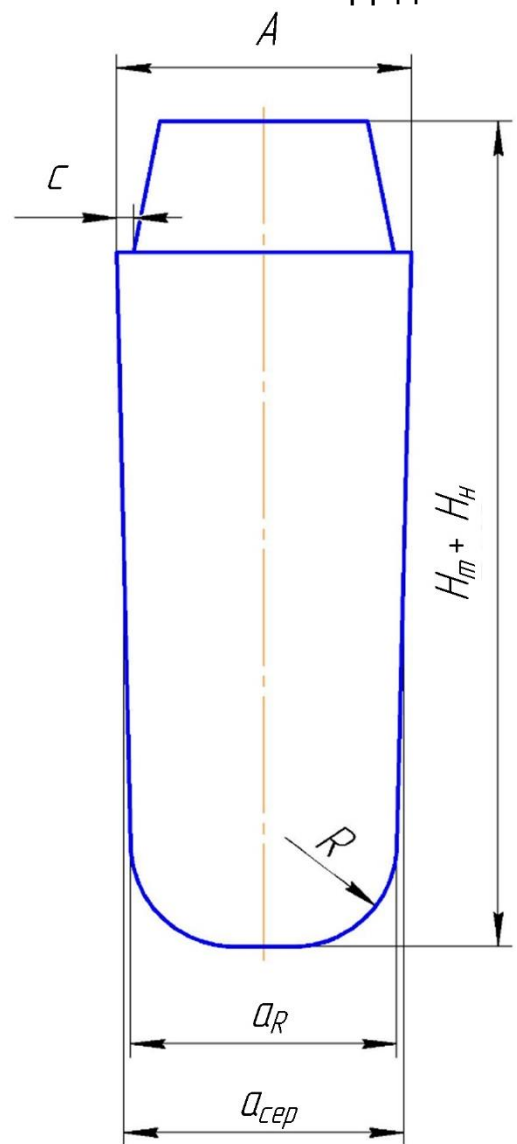
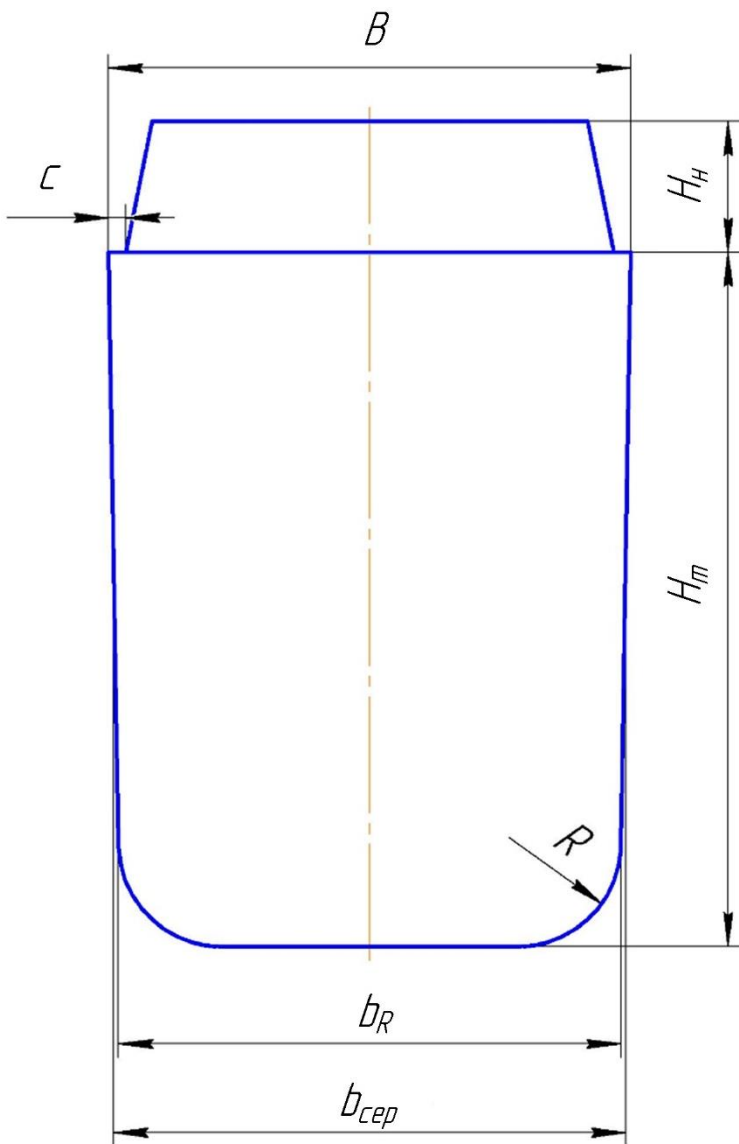
- 43) Повна висота прибуткової надставки **H<sub>пр</sub>** на 80...100 мм вища за рівень металу у ній.
- 44) За формулами (66) і (67) визначаємо розміри **a<sub>пр</sub>** і **b<sub>пр</sub>** верхньої крайки прибуткової надставки підставляючи замість рівня металу **H<sub>н</sub>** загальну висоту прибуткової надставки **H<sub>пр</sub>**.
- 45) Конструктивно приймаємо товщину нижньої основи прибуткової надставки 40...70 мм, товщину бокових стінок  $\delta_{\text{стін}} = 40...50$  мм, товщину основного шару футерівки  $\delta_{\text{фут}} = 65...100$  мм, товщину обмазки  $\delta_{\text{обм}} = 5$  мм знаходимо верхні розміри прибуткової надставки **A<sub>пр.зов</sub>** і **B<sub>пр.зов</sub>**.
- 46) Розміри нижньої основи прибуткової надставки обираємо відповідно до розмірів виливниці. Розміри лап і вух обираються конструктивно. [2]

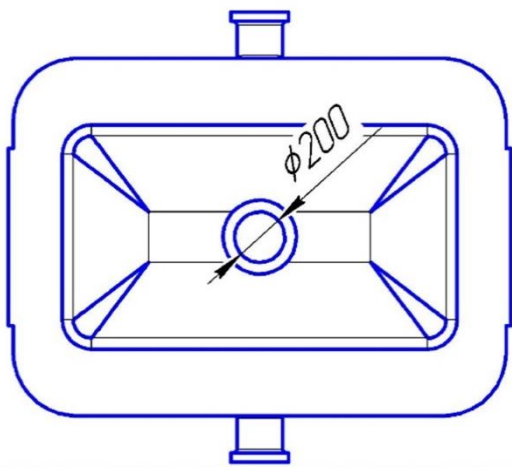
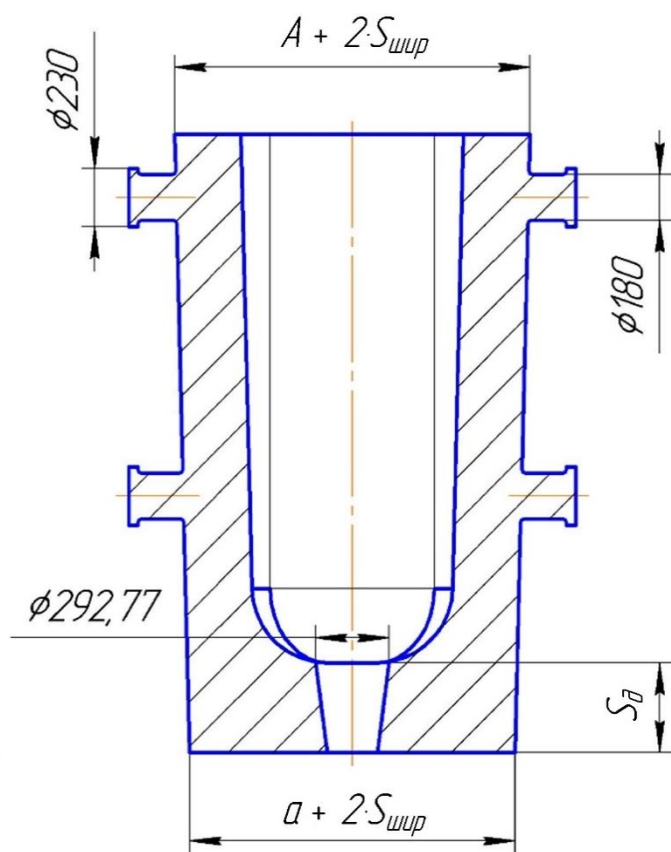
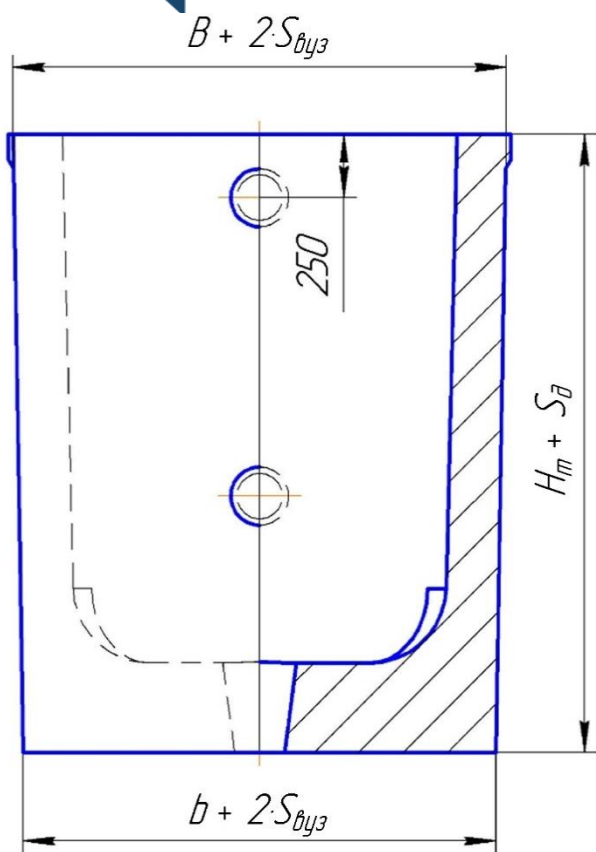
## ЛІТЕРАТУРА

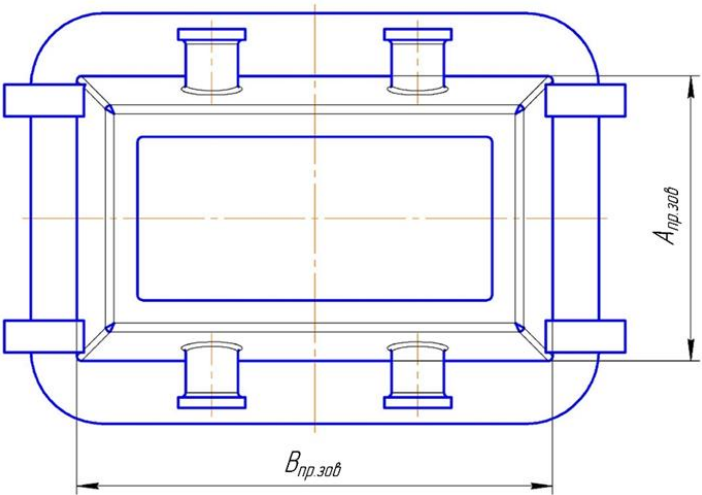
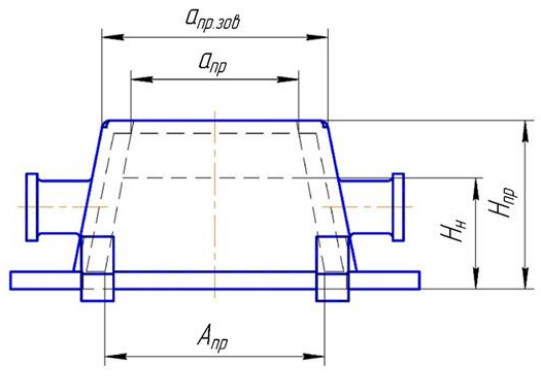
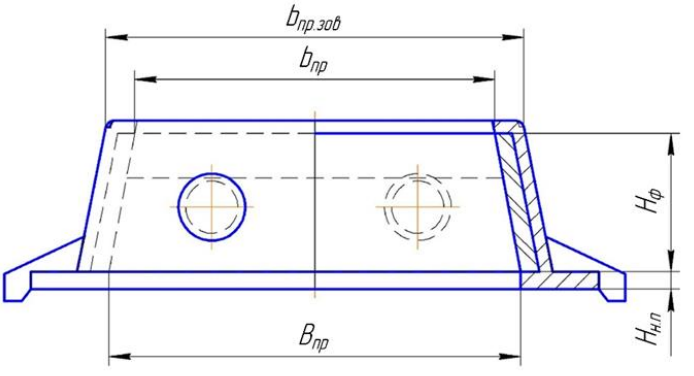
1. Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни «Теорія розливки і кристалізації сталі» для студентів напряму 6.050401 – металургія чорних металів, спеціальності 136 – металургія (бакалаврський рівень) / Уклад.: Є.В. Синегін, Л.С. Молчанов, Д.О. Мусунов, С.В. Журавльова. Дніпро : НМетАУ, 2017. 36 с.
2. Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни «Технологія та обладнання фінішних процесів виробництва сталі» для студентів спеціальності 136 – металургія (бакалаврський рівень) / Уклад.: Є.В. Синегін, Л.С. Молчанов, С.В. Журавльова. Дніпро : НМетАУ, 2019. 40 с.  
[https://nmetau.edu.ua/file/tehnologiya\\_ta\\_obladnannya\\_finishnih\\_protsesiv\\_vi\\_robnitstva\\_stali.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/tehnologiya_ta_obladnannya_finishnih_protsesiv_vi_robnitstva_stali.pdf)
3. Ісаєв Є. І., Бойченко Б. М., Чуванов О. П. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Розливання та кристалізація сталі» для студентів спеціальності 11.01. Дніпропетровськ : ДМетІ, 1991. 16 с.
4. Ісаєв Є. І., Бойченко Б. М., Шибко О. В. Методичні вказівки до практичних занять і НДРС по дисципліні «Розливка та кристалізація сталі», «Розрахунок листового сталюго зливка і виливниці для розливання спокійної, киплячої, напівспокійної сталі» для студентів спеціальності 11.01. Дніпропетровськ : ДМетІ, 1992. 38 с.
5. Смірнов О. М., Куберський С. В., Штепан Є. В. Безперервне розливання сталі : підручник. Алчевськ : ДонДТУ, 2011. 518 с.
6. Розливання сталі / за ред. В. І. Баптизманського. Київ-Донецьк : Вища школа, 1977 р. 200 с.
- 7.

# ДОДАТКИ

Додаток 1









*Навчально-методичне видання*

**Євген Володимирович Синегін  
Христина Василівна Малій**

**ТЕОРІЯ, ТЕХНОЛОГІЯ РОЗЛИВАННЯ І  
КРИСТАЛІЗАЦІЇ МЕТАЛУ**

**методичні рекомендації  
до виконання практичних робіт**

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції