

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Український державний університет
науки і технологій**

Кафедра «Металургії чавуну і сталі»

В авторській редакції

**ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОБЛАДНАННЯ ФІНІШНИХ
ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ**

Навчально-методичні рекомендації
до практичних і лабораторних занять

Електронне видання

ДНІПРО
2024

Упорядники:
Є. В. Синегін, В. О. Рубан, С. В. Журавльова

Електронне видання

Схвалено Групою забезпечення якості освітньої програми
136.1.01 «Технології та обладнання виробництва металів і сплавів»
Протокол № 3 від 09.04.2024 р.

Т 38 Технологія та обладнання фінішних процесів виробництва сталі :
навчально-методичні рекомендації до практичних і лабораторних занять /
упоряд. Є. В. Синегін, В. О. Рубан, С. В. Журавльова ; Укр. держ. ун-т
науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2024. – 42 с.

В навчально-методичних рекомендаціях викладено вказівки до вивчення дисципліни «Технологія та обладнання фінішних процесів виробництва сталі», наведено рекомендації до самостійної роботи студентів при вивченні дисципліни, перелік питань для закріплення знань студентами та методичні вказівки для виконання практичних і лабораторних завдань.

Навчально-методичні рекомендації призначені для опанування освітньої компоненти «Технологія та обладнання фінішних процесів виробництва сталі» за спеціальністю 136 «Металургія» для ОПП «Технології та обладнання виробництва металів і сплавів» освітнього рівня бакалавр.

ЗМІСТ

1. Мета і завдання вивчення дисципліни	4
1.1. Мета вивчення дисципліни.....	4
1.2. Завдання вивчення дисципліни.....	4
2. Робоча програма дисципліни, теми та їх зміст.....	5
2.1. Робоча програма дисципліни	5
2.2. Назви тем та їх зміст.....	5
3. Практичні та лабораторні роботи	10
Практична робота № 1	10
Практична робота № 2	28
Лабораторна робота № 1.....	31
Перелік посилань.....	41

1. МЕТА І ЗАВДАННЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

1.1. Мета вивчення дисципліни

Засвоєння знань та придбання навичок в питаннях розливки сталі, основ теорії та сучасних технологій і обладнання розливки сталі.

1.2. Завдання вивчення дисципліни

Внаслідок вивчення дисципліни студенти повинні:

знати:

- історичні етапи розвитку, сучасний стан технологій розливки сталі;
- класифікацію машин безперервного розливання сталі;
- гідродинамічні процеси, що супроводжують розливання сталі;
- тепло- і масообмінні процеси, що виникають при розливанні сталі;
- структуру та показники якості зливків та безперервнолитих заготовок;
- сучасні положення технології розливки у зливки спокійної сталі з відкритим та закритим дзеркалом металу;
- склад та властивості шлакових сумішей та шлаків, що використовують для розливки спокійної сталі;
- сучасні положення технології розливки у зливки напівспокійної та киплячої сталі;
- шляхи об'єднання безперервної розливки сталі з прокатним виробництвом;

вміти:

- визначити оптимальний для конкретних умов виробництва сталі спосіб розливки;
- виконати розрахунки теплообміну між зливком (заготовкою) та виливницею (кристалізатором);
- виконати розрахунки швидкості витікання рідкої сталі з ковша;
- виконати розрахунки швидкості кристалізації зливка (заготовки);
- застосовувати положення технології розливки спокійної сталі у зливки та вносити необхідні корективи в процесі розливки;
- розрахувати основні конструктивні параметри МБЛЗ, швидкість витягування та режими первинного і вторинного охолодження.

2. РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ, ТЕМИ ТА ЇХ ЗМІСТ

2.1. Робоча програма дисципліни

Розподіл навчальних годин

	Усього	Семестр	
		7	8
		7.2	8.1
Усього годин за навчальним планом, у тому числі:	240	150	90
Аудиторні заняття, з них:	96	56	40
- лекції	72	40	32
- лабораторні роботи	8	8	0
- практичні заняття	16	8	8
- семінарські заняття	0	0	0
Самостійна робота, зокрема при:	144	94	50
Заходи семестрового контролю		Екзамен	Дифзалік

2.2. Назви тем та їх зміст

2.2.1. Способи розливання сталі

Особливості розливання сталі зверху, сифоном та на МБЛЗ.

2.2.2. Сталерозливний ківш і пристрої контролю швидкості розливання

Конструкція сталерозливного ковша. Конструкція та вогнетриви для сталерозливних стаканів. Улаштування стопора. Варіанти конструкції та вогнетриви для шиберних затворів. Принцип роботи стопора та шиберного затвору.

2.2.3. Обладнання для розливання сталі зверху і сифонним способом

Улаштування і варіанти конструкції виливниць, утеплювачів, прибуткових надставок, піддонів, центрових. Принципи їх розрахунку. Вогнетриви для сталерозливного ковша, стопора, сталерозливних стаканів, шиберних плит та утеплювачів.

2.2.4. Підготовка обладнання до розливки сталі зверху та сифонним способом

Підготовка сталерозливного ковша до прийому плавки. Обслуговування стаканів-дозаторів та заміна шиберних затворів. підготовка виливниць і піддонів до розливання. Визначення придатності виливниць до розливання

сталі. Зборка складів з виливницями при розливанні зверху та сифонним способом.

2.2.5. Основні технологічні параметри розливання сталі

Швидкість розливання сталі. Температурний режим розливання. Відстоювання зливків у виливницях. Умови, що визначають формування різних типів зливків.

2.2.6. Технологія розливання спокійної сталі

Структура зливків спокійної сталі. Основні параметри розливання спокійної сталі у зливки зверху та сифонним способом. Методи зменшення усадочної раковини. Визначення оптимальних параметрів температурно-швидкісного режиму розливання. Розливання сталі під захисними середовищами. Характерні дефекти зливків спокійної сталі розлитих зверху та сифонним методом. Витримка зливків спокійної сталі після розливання.

2.2.7. Технологія розливання киплячої і напівспокійної сталі

Структура зливків киплячої та напівспокійної сталі з різним ступенем розкисленості. Вибір оптимальних умов розливання і формування зливків киплячої сталі. Вплив технологічних параметрів розливання на морфологію зливка киплячої сталі. Швидкість розливання киплячої сталі. Методи корегування окисленості металу та інтенсифікації кипіння у виливницях. Швидкісне розливання киплячої сталі. Закупорення зливків киплячої і напівспокійної сталі. Порівняння методів хімічного і механічного закупорювання зливків. Особливості одержання зливків напівспокійної сталі. Визначення оптимального хімічного складу і швидкості розливання зливків напівспокійної сталі. Визначення тривалості витримки зливків для формування «здорової» кірки.

2.2.8. Техніко-економічні показники розливання сталі в зливки

Собівартість розливання сталі у зливки.

2.2.9. Дефекти сталевих зливків

Структура сталевих зливків. Хімічна неоднорідність. Неметалеві включення і газу. Поверхневі дефекти зливків. Дефекти усадочного походження. Внутрішні дефекти зливків.

2.2.10. Типи МБЛЗ

Класифікація МБЛЗ. Етапи розвитку технології безперервного розливання сталі. Вертикальні, вертикальні з вигином, радіальні, криволінійні та горизонтальні МБЛЗ. Валкові та стрічкові МБЛЗ. Характеристики деяких діючих МБЛЗ на заводах України та в світі.

2.2.11. Загальний огляд основних конструктивних вузлів МБЛЗ

Загальна схема радіальних і криволінійних МБЛЗ. Підйомно-поворотний стенд, варіанти його конструкції. Основні функції проміжного ковша. Обладнання для захисту металу від вторинного окислення. Функції кристалізатора і затравки. Будова зони вторинного охолодження (ЗВО) і її функції. Функції тягнуче-правильного агрегату (ТПА). Способи та устаткування для різання заготовки. Холодильники, що крокують, для остаточного (третинного) охолодження заготовок.

2.2.12. Конструкція промковша

Візок або підйомно-поворотний стіл промковша. Варіанти конструкції промковша. Пристрої для приймання металу зі сталерозливного ковша. Встановлення розливних стаканів. Встановлення термопар для постійного заміру температури металу в промковші. Пристрої для регулювання витрати металу з промковша.

2.2.13. Вогнетриви для безперервного розливання

Хімічний склад вогнетривких мас та вогнетривкої цегли для футеровки проміжного ковша. Вогнетриви для стопорних та шибєрних пристроїв, стаканів дозаторів. Хімічний склад і конструкція захисних труб і заглибних стаканів для захисту сталі від вторинного окислення.

2.2.14. Кристалізатор. Механізм хитання кристалізатора.

Гільзові, блочні та збірні кристалізатори. Кристалізатори зі змінною конусністю. Спеціальні покриття робочої поверхні. Охолодження кристалізатора. Заходи щодо підвищення стійкості гільзи кристалізатора. Механізми хитання кристалізатора, їх переваги і недоліки. Режими хитання кристалізатора. Устаткування для автоматичної подачі шлакоутворюючої суміші в кристалізатор. Визначення рівня металу в кристалізаторі.

2.2.15. Конструкція ЗВО і ТПА

Принципова схема ЗВО. Конструкції підтримуючих роликів. Різновиди конструкції форсунок для водяного і водоповітряного охолодження та схеми їх розміщення у ЗВО для різних заготовок. Конструкція ТПА та принципи розрахунку зусилля витягування заготовки.

2.2.16. Підготовка МБЛЗ до розливання

Підготовка до розливання промковша і кристалізатора. Розігрів захисних труб і заглибних стаканів. Підготовка ЗВО і центрування роликів. Введення затравки в кристалізатор. Фінальна перевірка готовності обладнання до розливання. Встановлення промковша в робочу позицію і центрування його відносно технологічної осі МБЛЗ.

2.2.17. Загальні вимоги до хімічного складу сталі, що розливатиметься на МБЛЗ, та її підготовка

Порівняння хімічного складу сталі, що розливатиметься на МБЛЗ, за вітчизняними та деякими міжнародними стандартами якості. Основні методи доведення сталі до заданого хімічного складу та їхня ефективність. Потенціал агрегату «ківш-піч» у підготовці сталі до безперервного розливання та його буферна функція у технологічному процесі.

2.2.18. Технологія розливання сталі на МБЛЗ

Пуск МБЛЗ. Відокремлення затравки. Введення тепло ізолюючої суміші на дзеркало металу в промковші. Наповнення кристалізаторів. Введення шлакоутворюючих сумішей в кристалізатор. Вимір температури металу та відбір проб металу на хім. склад в ході розливки. Регулювання температурно-швидкісного режиму розливання. Підтримка рівня металу в кристалізаторі при стопорній, шиберній розливці та розливанні відкритим струменем. Заміна Заглибних стаканів, захисної труби та промковша при розливанні сталі довгими серіями. Різання заготовки.

2.2.19. Автоматизація процесу розливання сталі на МБЛЗ

Пости керування МБЛЗ та їх функції. Типова інформація, що відображується на моніторах операторських станцій. Системи прогнозування й запобігання проривів металу під кристалізатором. Системи динамічного супроводу заготовки за температурою.

2.2.20. Структура безперервнолитої заготовки

Механізм формування макроструктур цих зон безперервнолитої заготовки. Напруги і деформації в кінці заготовки при її формуванні.

2.2.21. Типові дефекти безперервнолитої заготовки

Класифікація дефектів безперервнолитої заготовки. Дефекти профілю, поверхні та внутрішні дефекти заготовки, їх причини та заходи, щодо їх попередження й усунення. Механізм формування слідів хитання та вибір оптимальних режимів хитання для мінімізації їх глибини. Наслідки формування глибоких слідів хитання.

2.2.22. Методи динамічного впливу на метал для підвищення якості заготовки

Класифікації та фундаментальні принципи впливу зовнішніх динамічних дій на формування структури заготовки. Зміна характеру циркуляційних потоків в рідкій фазі заготовці. Електромагнітна обробка сталі. Електрофізичний вплив. Обробка ультра- та інфразвуком, вібраційна обробка. Електрогідроімпульсна обробка. Обробка сталі інокуляторами. Системи динамічного «м'якого» обтиснення заготовки.

2.2.23. Альтернативні варіанти конструкції МБЛЗ

Напівбезперервна розливка. Валкова розливка. Стрічкова розливка. Альтернативні охолоджувачі. Розливка порожнистих заготовок. Електрошлаковий та вакуумнодуговий переплав. Зміна перерізу заготовки в процесі розливки.

2.2.24. Концепції поєднання безперервної розливки і прокатки в одному комплексі.

Основні передумови створення комплексів «безперервна розливка – прокатка». Принципові схеми сортових і слябових ливарно-прокатних агрегатів. Сучасні концепції ливарно-прокатних агрегатів.

3. ПРАКТИЧНІ ТА ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Практична робота № 1

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 плоским 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 зливків 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 зливків звичайно роблять у формі квадрата або прямокутника з округленими кутами. Іноді для зменшення кількості тріщин грані блюмінгових зливків роблять опуклими або угнутими.

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

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

Поперечний переріз листових зливків, 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 зливків іноді роблять угнутими.

Поперечний переріз трубних зливків (призначених для одержання труб, коліс, бандажів тощо) малої ваги (до 0,5 т) робляться у формі кола. При більшій вазі трубних зливків 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.

Оскільки методики розрахунку блюмового і слябового зливків спокійної, киплячої і напівспокійної сталі дещо відрізняються, то нижче наведені три методики з яких студент обирає одну, відповідно до індивідуального завдання. По завершенню розрахунку за визначеними розмірами необхідно побудувати ескіз зливка та виливниці у масштабі 1:25, як це показано у додатках А-Г.

Розрахунок ваги блюмового зливка і його розмірів

1) З таблиці 3.1 виписують 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

$$M_{\text{прид}} = m \cdot l \cdot n, \text{ т}, \quad (3.1)$$

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

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

$$M_{\text{злив}} = \frac{100 \cdot k \cdot M_{\text{прид}}}{100 - \varphi_{\text{виг}} - \varphi_{\text{г.обр}} - \varphi_{\text{д.обр}}}, \text{ т}, \quad (3.2)$$

де $\varphi_{\text{виг}}$, $\varphi_{\text{з.обр}}$ і $\varphi_{\text{д.обр}}$ – втрати металу з окалиною (1,5...2,5), головним та донним обрізом відповідно, % (таблиця 3.2); $k = 1,05$ – витратний коефіцієнт, що враховує втрати металу після блюмінгу (на рейкобалковому стані).

Таблиця 3.1 – Вихідні данні для розрахунку блюмового зливка

№ 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

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

$$M_m = \left(\frac{100}{100 - \varphi_{\text{виг}}} \right) \left(k \cdot M_{\text{прод}} + \frac{\varphi_{\text{д.обр}} + 1}{100} \cdot M_{\text{злив}} \right), \text{ т.} \quad (3.3)$$

5) Приймаючи густину твердої сталі $\rho_{\text{те}} = 7,8 \text{ т/м}^3$, визначаємо об'єм тіла зливка V_m .

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 3.3)

$$D_{ум} = \sqrt[3]{\frac{V_m}{\eta}}, \text{ м.} \quad (3.4)$$

$$F_{ум} = D_{ум}^2, \text{ м}^2. \quad (3.5)$$

Таблиця 3.2 – Обріз зливків різних типів сталі

Обріз, %	Тип сталі		
	кипляча	напівспокійна	спокійна
Головний $\varphi_{з.обр}$:	-	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 $\varphi_{д.обр}$		1...4	

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

$$a_{сер} = \frac{\Delta + \sqrt{\Delta^2 + 4 \cdot F_{ум}}}{2}, \text{ м,} \quad (3.6)$$

а середній розмір $b_{сер}$ меншої розраховуємо з прийнятої різниці сторін Δ .

$$b_{сер} = a_{сер} - \Delta, \text{ м.} \quad (3.7)$$

8) Виходячи з прийнятого у п. б) співвідношення η , розраховуємо орієнтовну висоту тіла зливка H' (нижче цю величину буде уточнено).

9) Ухил α_k граней зливка розраховуємо за залежністю з таблиці 3.3.

10) Визначаємо різницю відповідних довжин сторін верхнього A і нижнього a поперечного перерізів зливка

$$\Delta A = A - a = \frac{2H' \cdot \alpha_k}{100}, \text{ м.} \quad (3.8)$$

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

Таблиця 3.3 – Основні конструктивні параметри виливниць і прибуткових надставок

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

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

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

11) Знаючи різницю Δ , знаходимо розміри верхнього і нижнього перерізів

$$A = a_{сер} + \frac{\Delta A}{2}, \text{ м.} \quad (3.9)$$

Решту розмірів (B , a і b) розраховуємо виходячи з величини Δ і ΔA .

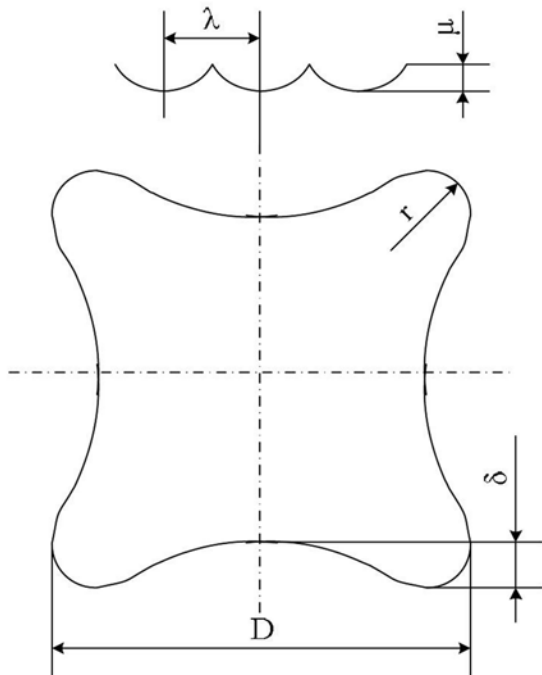


Рисунок 3.1 – Поперечний переріз блюмінгового зливка

12) Уточнення розмірів зливка здійснюється з урахуванням прогинання граней δ (6 мм для високовуглецевої сталі і 10...15 мм – для середньо- і низьковуглецевої) та параметрів хвиль на поверхні тіла зливка (висота μ і крок λ хвиль, радіусів виступів $r_{вист}$ і западин $r_{зан}$). Ці параметри (рис. 3.1) тіла зливка відповідно до практичних рекомендацій [3] становлять для зливок низьковуглецевої сталі $\mu = 10...15$ мм, $\lambda = 100...110$ мм.

13) Параметр δ і радіус закруглення кутів зливка звичайно міняються по висоті тіла зливка, оскільки на різній

висоті поперечні перерізи, залишаючись подібними один одному, мають різні середні розміри. Однак параметри хвиль на поверхні зливка, 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

$$A_{ym} = A + k_1 \cdot \delta + k_2 \cdot \mu, \text{ м,} \quad (3.10)$$

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 $r_{вист} > r_{зан}$, 1 – за $r_{вист} = r_{зан}$ і 0 – за відсутності хвиль.

Аналогічно розраховують розміри усіх поперечних перерізів зливка.

Визначення розмірів виливниці

14) З урахування знайдених вище розмірів поперечних перерізів і коефіцієнта лінійної усадки α знаходимо розміри поперечних перерізів порожнини виливниці у світлі

$$A_{вил} = \left(1 + \frac{\alpha}{100}\right) \cdot A, \text{ м.} \quad (3.11)$$

За даними [5, 6] лінійна усадка α складає близько 3 %. Аналогічно розраховуємо $B_{вил}$, $a_{вил}$ і $b_{вил}$.

15) Радіуси округлення кутів відповідних перерізів визначаємо за формулами

верхнього перерізу
$$r_1 = 0,1\sqrt{A_{вил} \cdot a_{вил}}, \text{ м,} \quad (3.12)$$

нижнього перерізу
$$r_2 = 0,1\sqrt{B_{вил} \cdot b_{вил}}, \text{ м.} \quad (3.13)$$

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

$$R_1 = \frac{a_{вил}}{2} \left(1 + \frac{\alpha_{\kappa}}{100}\right), \text{ м,} \quad (3.14)$$

$$R_2 = \frac{b_{вил}}{2} \left(1 + \frac{\alpha_{\kappa}}{100}\right), \text{ м.} \quad (3.15)$$

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

18) Знаходимо висоту скосу дна виливниці для гнізда пробки при верхньому діаметрі d

$$f = R_1 - \sqrt{R_1^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}, \text{ м.} \quad (3.16)$$

19) Висота донної частини виливниці

$$h_\partial = R_1 - f, \text{ м.} \quad (3.17)$$

20) Положення центру дуги циліндричної поверхні меншого радіусу

$$e = h_\partial - \sqrt{R_2^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}, \text{ м.} \quad (3.18)$$

21) Розміри перерізу в місці переходу до донної частини зливка

$$a_1 = a_{вил} + 2h_\partial \cdot \frac{\alpha_\kappa}{100}, \text{ м,} \quad (3.19)$$

аналогічно розраховуємо довжину b_1 .

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

$$a_1 = 2 \cdot R_1 \text{ та } b_1 = 2 \cdot R_2, \text{ м.} \quad (3.20)$$

23) Радіус закруглення кутів в цьому перерізі

$$r = 0,1\sqrt{a_1 \cdot b_1}, \text{ м.} \quad (3.21)$$

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

$$V_\partial = \frac{8}{3} \cdot R_1^3 - \frac{\pi}{3} \cdot f^2(3 \cdot R_1 - f) - \frac{h_\partial}{3} \cdot [(R_1 - R_2)(4R_1 - d) + 0,86 \cdot r^2], \text{ м}^3. \quad (3.22)$$

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

$$V_{вил} = V_m \left(1 + \frac{\varepsilon}{100}\right), \text{ м}^3, \quad (3.23)$$

де ε – 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

$$V_n = V_{вил} - V_\delta, \text{ м}^3. \quad (3.24)$$

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

$$H_n = \frac{V_n}{F_1 + F_2 + 4F_{сер}}, \text{ м}. \quad (3.25)$$

де F_1 – площа верхнього перерізу

$$F_1 = A_{вил} B_{вил} - 0,86r_1^2, \text{ м}^2, \quad (3.26)$$

F_2 – площа перерізу в місці переходу до донної частини

$$F_2 = a_1 b_1 - 0,86r_2^2, \text{ м}^2, \quad (3.27)$$

$F_{сер}$ – площа середнього перерізу

$$F_{сер} = \frac{(A_{вил} + a_1)(B_{вил} + b_1)}{4} - 0,215(r_1 + r_2)^2, \text{ м}^2. \quad (3.28)$$

28) Визначаємо висоту порожнини виливниці

$$H = H_n + h_\delta, \text{ м}. \quad (3.29)$$

29) Задаючись товщиною дна S_δ (на практиці коливається в межах 250...300 мм) знаходимо повну висоту виливниці

$$H_{вил} = H + S_\delta, \text{ м}. \quad (3.30)$$

Зазвичай $H_{вил} = 1,1 \cdot H$.

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

$$D = \sqrt{F_{сер}}, \text{ м}. \quad (3.31)$$

31) За формулами з таблиці 3.3 визначаємо товщину S стінок виливниці (з урахуванням бандажів по середині граней).

32) Товщина стінок по кутах $S_{кут}$ 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 $S_n = 35$ 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.

33) Визначаємо зовнішні розміри виливниці зверху і знизу

$$A_{зов} = A_{вил} + 2(S + S_n), \text{ м}, \quad (3.32)$$

$$B_{зов} = B_{вил} + 2(S + S_n), \text{ м}, \quad (3.33)$$

$$a_{зов} = a_{вил} + 2S + \frac{S_{\partial} \cdot \alpha_{\kappa}}{100}, \text{ м}, \quad (3.34)$$

$$b_{зов} = b_{вил} + 2S + \frac{S_{\partial} \cdot \alpha_{\kappa}}{100}, \text{ м}. \quad (3.35)$$

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

Розрахунок прибуткової надставки

34) Вага металу у прибутковій надставці у холодному стані

$$M_{пр} = M_{злив} - M_{т}, \text{ т}. \quad (3.36)$$

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

$$M_{пр.рід} = 1,03M_{злив} - M_{т}, \text{ т}. \quad (3.37)$$

36) Визначаємо об'єм рідкого металу у прибутковій надставці

$$V_{np.pid} = \frac{M_{np.pid}}{\rho_{pid}}, \text{ м}^3. \quad (3.38)$$

де $\rho_{pid} = 7,0...7,2$ – густина рідкої сталі, т/м³.

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

$$A_{np} = A_{вил} - c, \text{ м.} \quad (3.39)$$

$$B_{np} = B_{вил} - c, \text{ м.} \quad (3.40)$$

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

$$F'_{np} = A_{np} \cdot B_{np} - 0,86r_1^2, \text{ м}^2. \quad (3.41)$$

39) З таблиці 3.3 приймаємо ухил граней прибуткової надставки. Тоді рівень H_n метал у прибутковій частині зливка знаходиться з кубічного рівняння [3]

$$1,33 \cdot \frac{\alpha_{np.k}^2}{10^4 \cdot A_{np} \cdot B_{np}} \cdot H_n^3 - \frac{\alpha_{np.k}}{100} \cdot \left(\frac{1}{A_{np}} + \frac{1}{B_{np}} \right) \cdot H_n^2 + H_n = \frac{V_{np.pid}}{A_{np} \cdot B_{np}}, \text{ м.} \quad (3.42)$$

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

$$a_n = A_{np} - 2 \cdot H_n \cdot \frac{\alpha_{np.k}}{100}, \text{ м,} \quad (3.43)$$

$$b_n = B_{np} - 2 \cdot H_n \cdot \frac{\alpha_{np.k}}{100}, \text{ м.} \quad (3.44)$$

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

$$r_{np} = \frac{b_n - C}{2}, \text{ м.} \quad (3.45)$$

42) Площа перерізу прибуткової надставки на рівні наповнення її металом

$$F''_{np} = a_n b_n - 0,36 \cdot r_{np}^2, \text{ м}^2. \quad (3.46)$$

43) Повна висота прибуткової надставки H_{np} на 80...100 мм вища за рівень металу у ній.

44) За формулами (3.43) і (3.44) визначаємо розміри a_{np} і b_{np} верхньої крайки прибуткової надставки підставляючи замість рівня металу H_n загальну висоту прибуткової надставки H_{np} .

45) Конструктивно приймаємо товщину нижньої основи прибуткової надставки 40...70 мм, товщину бокових стінок $\delta_{стін} = 40...50$ мм, товщину основного шару футерівки $\delta_{фут} = 65...100$ мм, товщину обмазки $\delta_{обм} = 5$ мм знаходимо верхні розміри прибуткової надставки $A_{np.зов}$ і $B_{np.зов}$.

46) Розміри нижньої основи прибуткової надставки обираємо відповідно до розмірів виливниці. Розміри лап і вух обираються конструктивно.

Розрахунок ваги листового зливка спокійної сталі і його розмірів

1) З таблиці 3.4 виписують вихідні дані для розрахунку.

2) Визначаємо орієнтовні розміри зливка виходячи з умови, що на слябінгу прокатують зливки вагою 6...30 т. Висота злиwkів H' не має перевищувати 2,5 м, ширина $b'_{сер}$ зазвичай на 100 мм більша за ширину листа, а товщина зливка $a'_{сер}$ визначається із співвідношення η (див. табл. 3.3).

3) Виходячи з прийнятих розмірів зливка та густини рідкої сталі визначаємо його орієнтовну вагу M' .

4) Розраховуємо вагу одного погонного метру листа m , виходячи з розмірів його перерізу та густини твердої сталі після прокатки $\rho_{тв.прок} \approx 7850 \text{ кг/м}^3$.

5) Розраховуємо вагу одного слябу

$$M_{сляб} = 10^{-3} \cdot m \cdot l \cdot n \cdot k, \text{ т.} \quad (3.47)$$

де m – вага одного погонного метру листа, кг/пог. м; l – довжина листа, м; n – кількість листів, які отримують з одного слябу (зазвичай близько 15), шт.;

$k = 1,1$ – витратний коефіцієнт, що враховує втрати на листопрокатному стані.

Таблиця 3.4 – Вихідні дані для розрахунку листового зливка спокійної сталі

№ з/п	Марка сталі	Розміри листа, мм		
		товщина a_l	ширина b_l	довжина l_l
1	Ст3сп	10	1350	6150
2	14Г2	9,5	1300	6100
3	16ГС	7	1300	5250
4	ГЮТ	3	1320	4200
5	08Ю	11	1400	6250
6	08ГСЮТ	11,5	1400	7000
7	16ГС	3,7	1350	4300
8	14Г2	4,7	1400	5000
9	Ст5сп	9	1350	6050
10	Ст2сп	4	1370	4500
11	08Ю	3,5	1325	4250
12	12ГС	8,5	1400	6000
13	Ст4сп	10,5	1400	6200
14	08ГСЮТ	8	1400	5500
15	09Г2	4,5	1360	4700
16	Ст3сп	6	1400	8000
17	12ГС	6,5	1350	5200
18	09Г2	7,5	1350	8000
19	Ст5сп	5,5	1470	5100
20	ГЮТ	5	1450	5050

б) Уточнюємо масу зливка з урахуванням вигару, обрізі та кількості слябових заготовок, які одержують на слябінгу з одного зливка

$$M_{злив} = \frac{100 \cdot n_1 \cdot M_{сляб}}{100 - \varphi_{виг} - \varphi_{г.обр} - \varphi_{д.обр}}, \text{ т.} \quad (3.48)$$

де $\varphi_{виг}$, $\varphi_{г.обр}$ і $\varphi_{д.обр}$ – втрат металу з окалиною (1,5...2,5), головним та донним обрізом відповідно, % (таблиця 3.2); n_1 – кількість слябів, які отримують з одного зливка (зазвичай не більше 3), шт.

Величину коефіцієнтів n і n_1 слід обирати таким чином, щоб отримана за формулою (3.48) величина якомога менше відрізнялася від отриманої у п. 3).

7) Розраховуємо вагу тіла зливка, враховуючи, що на ножицях разом із головною частиною обрізають близько 1 % тіла зливка

$$M_m = \left(\frac{100}{100 - \varphi_{\text{виз}}} \right) \left(n_1 \cdot M_{\text{сляб}} + \frac{\varphi_{\text{д.обр}} + 1}{100} \cdot M_{\text{злив}} \right), \text{ т.} \quad (3.49)$$

8) Знаючи вагу зливка та густину рідкої сталі визначаємо його об'єм $V_{\text{злив}}$.

9) Визначаємо об'єм прибуткової частини зливка

$$V_{\text{пр.під}} = V_{\text{злив}} \left[1 - \frac{M_m}{M_{\text{злив}}} (1 - \alpha) \right], \text{ м}^3. \quad (3.50)$$

За даними [3, 4] лінійна усадка α складає близько 3 %.

10) Знаючи об'єм всього зливка $V_{\text{злив}}$ та його прибуткової частини $V_{\text{пр.під}}$ знаходимо об'єм тіла зливка V_m .

11) Визначаємо товщину зливка

$$a_{\text{сер}} = \sqrt{\frac{V_m}{\eta \cdot b_{\text{сер}}} + \frac{V_{\text{пр.під}}}{0,9\eta(b_{\text{сер}} - 2c)}}, \text{ м.} \quad (3.51)$$

де $c = 0,02 \dots 0,05$ – відстань від крайки верхнього перерізу тіла зливка до основи його прибуткової частини (див. додаток А), м.

12) Виходячи з ширини $b_{\text{сер}}$, визначеної у попередньому пункті товщини $a_{\text{сер}}$ тіла зливка та його об'єму V_m , знаходимо його орієнтовну висоту H'_m .

13) За залежністю з таблиці 3.3 розраховуємо ухил широкої $\alpha_{\text{к.ш}}$ і вузької $\alpha_{\text{к.в}}$ граней зливка.

14) Визначаємо довжини сторін верхнього (A і B) і нижнього (a і b) поперечного перерізів зливка

$$A = a_{\text{сер}} + \frac{\alpha_{\text{к.в}} \cdot H'_m}{100}, \text{ м.} \quad (3.52)$$

Аналогічно розраховуємо ширину B верхнього перерізу зливка та нижнього (a і b) поперечного перерізів зливка. При цьому слід враховувати різний ухил широкої $\alpha_{\text{к.ш}}$ і вузької $\alpha_{\text{к.в}}$ граней зливка та те, що нижній переріз зливка менший за верхній (тобто для нього замість знаку «+» в формулі буде «-»).

15) Донна частина зливка утворюється шляхом плавного з'єднання бокових граней з площиною основи із радіусом закруглення $R = 300 \dots 370$ мм. Тобто у попередньому пункті розраховані розміри уявного нижнього перерізу (без

урахування закруглення). Виходячи з них розраховуємо розміри перерізу зливка на відстані R від нижнього перерізу

$$a_R = a + \frac{2\alpha_{к.б} \cdot R}{100}, \text{ м.} \quad (3.53)$$

Аналогічно розраховуємо ширину b_R цього перерізу враховуючи ухил $\alpha_{к.ш}$ широкої грані зливка.

16) Розраховуємо об'єм донної частини зливка

$$V_{\partial} = R \cdot (a_R - 2R)(b_R - 2R) + \frac{\pi \cdot R^2}{2} \cdot \left(a_R + b_R - \frac{8}{3} \cdot R \right), \text{ м}^3. \quad (3.54)$$

17) Об'єм $V_{осн}$ основної частини тіла зливка (над донною частиною)

$$V_{осн} = V_m - V_{\partial}, \text{ м}^3. \quad (3.55)$$

18) Розраховуємо умовний розмір сторін тіла зливка

$$D = \frac{a_{сеп} + b_{сеп}}{2}, \text{ м.} \quad (3.56)$$

19) За формулою з табл. 3.3 визначаємо радіус закруглення бокових граней r .

20) Визначаємо висоту $H_{осн}$ основної частини тіла зливка, для чого скористаємося формулою для визначення об'єму обеліска

$$H_{осн} = \frac{6 \cdot V_{осн}}{a_R \cdot b_R + A \cdot B + (a_R + A)(b_R + B) - 6 \cdot 0,215 \cdot (r + r)^2}, \text{ м.} \quad (3.57)$$

21) Розраховуємо уточнену повну висоту тіла зливка H_m , яка складається з висоти основної $H_{осн}$ і донної R частини.

22) Уточнення розмірів поперечного перерізу зливка виконують із урахуванням, що для запобігання утворення заходів при прокатці вузькі грані зливка мають бути опуклими, а широкі угнутими (рис. 3.2). Величина прогину граней δ звичайно становить 15...25 мм. Для поліпшення якості поверхні зливка широким граням краще надавати хвилястої форми (див. рис. 3.2) з висотою хвилі $\lambda = 20...25$ мм і кроком $\mu = 100$ мм. Уточнення розмірів поперечного перерізу зливка виконуємо за формулою (3.10).

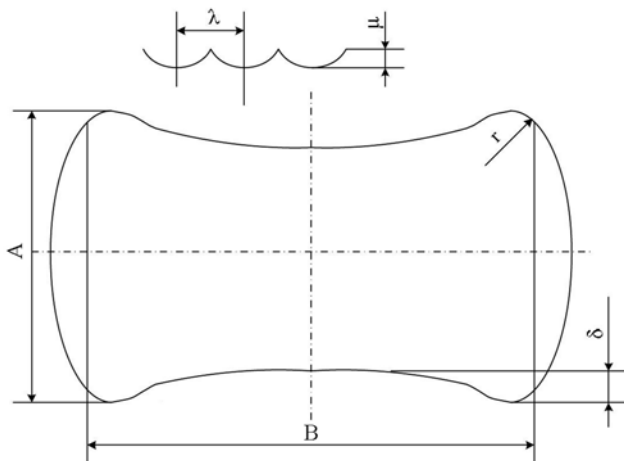


Рисунок 3.2 – Поперечний переріз листового зливка

Визначення розмірів прибуткової частини зливка

23) При розливанні зверху розміри основи прибуткової частини зливка зазвичай на $2c = 40 \dots 100$ мм менші відповідних розмірів верхнього перерізу тіла зливка (див. п. 5). Виходячи з цього розраховуємо розміри A_{np} і B_{np} основи прибуткової надставки.

24) Приймаючи з таблиці 3.3 ухил внутрішніх стінок прибуткової надставки розраховуємо за формулою (3.42) висоту H_n прибуткової частини зливка у рідкому стані.

25) Виходячи з прийнятого ухилу і розрахованої висоти прибуткової частини зливка за формулами (3.43) і (3.44) розраховуємо розміри a_{np} і b_{np} верхнього перерізу прибуткової частини зливка.

Проектування виливниці

26) За формулами з таблиці 3.3 визначаємо товщину широкої $S_{шир}$ і вузької $S_{вуз}$ сторін виливниці.

27) Виходячи з внутрішніх розмірів виливниці та товщини її стін розраховують зовнішні розміри виливниці $a_{зов}$, $b_{зов}$, $A_{зов}$ і $B_{зов}$.

28) Товщина дна S_δ виливниці зазвичай в 1,5 рази більша за товщину широкої стінки виливниці.

29) Радіус закруглення зовнішніх поверхонь широких і вузьких граней виливниці приймаємо $R_{вил} = 250$ мм.

30) Всі інші розміри виливниці також визначаються конструктивно.

31) Визначаємо об'єм виливниці

$$V_{вил} = \frac{H_m + S_\delta}{6} \cdot \left[(A + 2 \cdot S_{шир})(B + 2 \cdot S_{вуз}) + (a + 2 \cdot S_{шир})(b + 2 \cdot S_{вуз}) + (A + a + 4 \cdot S_{шир})(B + b + 4 \cdot S_{вуз}) - 0,215(2 \cdot R_{вил})^2 \cdot (H_m + S_\delta) \right] - V_m, \text{ м}^3. \quad (3.58)$$

32) Приймаючи густину чавуну $\rho_{чав} = 7,1$ т/м³ розраховуємо вагу виливниці $M_{вил}$ та відношення її ваги до ваги зливка $M_{вил}/M_{злив}$.

Проектування прибуткової надставки

Вибір розмірів прибуткової надставки здійснюють конструктивно. При цьому керуються двома міркуваннями:

- футерівка надставки має на 50...100 мм перевищувати рівень залитого металу;
- висота футерівки прибуткової надставки має бути кратною одному з розмірів стандартної цеглини (якщо надставка футерується цеглою).

33) Приймаємо товщину стінок корпусу прибуткової надставки 45 мм, а товщину нижньої полиці – $H_{н.п} = 60$ мм.

34) Приймаємо футерівку прибуткової надставки двошаровою. Кожний шар складається з двох рядів стандартних шамотних цеглин, поставлених на торець. Тоді товщина футеровки складає $2 \times 65 = 130$ мм.

35) Враховуючи можливу неточність виготовлення корпусу прибуткової надставки та цеглин, приймаємо $H_{\phi} = 475$ мм.

36) Визначимо розміри верхнього вікна прибуткової надставки

$$a_{np} = A_{np} - 2 \cdot (H_{н.п} + H_{\phi}) \cdot \frac{\alpha_{np.к}}{100}, \text{ м.} \quad (3.59)$$

Аналогічно розраховуємо ширину b_{np} верхнього вікна прибуткової надставки.

37) Враховуючи товщину стінок корпусу прибуткової надставки та товщину футеровки находимо зовнішні розміри прибуткової надставки у нижньому ($A_{np.зов}$ і $B_{np.зов}$) і верхньому ($a_{np.зов}$ і $b_{np.зов}$) перерізі.

Всі інші розміри прибуткової надставки приймаємо конструктивно.

Розрахунок листового зливка та виливниці для розливання киплячої та напівспокійної сталі

- 1) З таблиці 3.5 виписують вихідні дані для розрахунку.
- 2) Виходячи з розмірів слябу a_c , b_c і l_c та густини $\rho_{тв}$ твердої сталі розраховуємо його вагу $M_{сляб}$.
- 3) Враховуючи задану кількість n слябів з одного зливка та втрати металу з окалиною і обрізом розраховуємо за формулою (3.48) вагу зливка $M_{злив}$.
- 4) Виходячи з ваги зливка та густини $\rho_{тв}$ твердої сталі розраховуємо його об'єм $V_{злив}$.

5) За формулою (3.4) розраховуємо умовний діаметр зливка $D_{ум}$. Величину η для листового зливка обрати з табл. 3.3. Виходячи з одержаних у попередньому пункті параметрів розраховуємо висоту зливка H .

Таблиця 3.5 – Вихідні данні для розрахунку листового зливка киплячої та напівспокійної сталі

№ з/п	Марка сталі	Розміри сляба, мм			Кількість слябів з одного зливка n , шт
		товщина a_c	ширина b_c	довжина l_c	
1	10пс	120	1000	2600	5
2	08пс	120	1200	2600	4
3	20пс	130	1000	2800	3
4	10пс	160	900	2700	5
5	08пс	180	1000	2600	2
6	08пс	170	900	2900	2
7	Ст3пс	170	1000	3000	2
8	20пс	170	900	3000	6
9	Ст3пс	170	1200	2800	2
10	08кп	130	1000	2700	3
11	10пс	150	1100	2800	4
12	10пс	170	900	3000	2
13	08пс	120	1200	2600	4
14	08пс	180	1200	2900	4
15	08кп	130	1100	2800	5
16	08пс	150	1200	2900	5
17	08пс	140	1200	3000	4
18	08кп	150	1100	2800	3
19	Ст3пс	120	1100	2700	6
20	20пс	120	1000	2600	3

6) За розрахованими у п. 4) об'ємом зливка $V_{злив}$ та його висотою H визначаємо середню площу перерізу зливка $F_{сер}$.

7) З табл. 3.3 обираємо формулу і розраховуємо радіус r закруглення кутів зливка (виливниці).

8) Розраховуємо середню ширину $b_{сер}$ зливка приймаючи, що її величина на 62 мм більша за ширину слябу b_c .

9) Розраховуємо середню товщину $a_{сер}$ зливка

$$a_{сер} = \frac{F_{сер} - 0,86 \cdot r^2}{b_{сер}}, \text{ м.} \quad (3.60)$$

10) За залежністю з таблиці 3.3 розраховуємо ухил широкої $\alpha_{к.ш}$ і вузької $\alpha_{к.в}$ граней зливка.

11) За формулою (3.52) розраховуємо розміри A і B верхнього та нижнього a і b перерізів зливка.

12) Уточнення розмірів зливка здійснюють аналогічно до п. 22) розрахунку листового зливка спокійної сталі.

Проектування виливниці

13) Розраховуємо висоту виливниці $H_{вил}$ приймаючи, що її величина на 10 % більша за висоту зливка H .

14) З урахуванням лінійної усадки $\alpha \approx 3\%$ розраховуємо внутрішні розміри $a_{вил}$ і $b_{вил}$ дна виливниці.

15) Розміри $A_{вил}$ і $B_{вил}$ верхнього внутрішнього перерізу виливниці розраховуємо з урахуванням вільного борту виливниці висотою $H_{вил} - H$

$$A_{вил} = 1,03 \cdot A + 2 \cdot \frac{\alpha_{к.в} \cdot (H_{вил} - H)}{100}, \text{ м.} \quad (3.61)$$

16) Аналогічно із урахуванням ухилу $\alpha_{к.ш}$ широкої грані розраховують ширину $B_{вил}$ верхнього внутрішнього перерізу.

17) З таблиці 3.3 обирають формули і розраховують середню товщину широкої $S_{ш}$ і вузької $S_{вуз}$ стін виливниці та їх товщину вгорі ($S_{ш}^6$ і $S_{вуз}^6$) і внизу ($S_{ш}^H$ і $S_{вуз}^H$).

18) Виходячи з внутрішніх розмірів виливниці та товщини її стін розраховують зовнішні розміри виливниці $a_{зов}$, $b_{зов}$, $A_{зов}$ і $B_{зов}$.

Практична робота № 2

Паспорт розливки сталі на МБЛЗ

Мета роботи: ознайомлення студентів з паспортом розливки сталі на МБЛЗ. Навчити студентів аналізувати технологічні параметри розливки, розраховувати її технологічні та техніко-економічні показники.

Загальні положення

Розливка сталі є важливим етапом сталеплавильного виробництва, який в значній мірі визначає вихід та якість готової металопродукції. Техніко-

економічні показники металургійного виробництва тісно пов'язані з рівнем технології розливки сталі, і особливо, з найсучаснішим способом розливання на МБЛЗ, цим же визначається необхідність подальшого її удосконалення.

На практичному занятті у якості навчального посібника використовують паспорта розливки сталі на МБЛЗ, яка здійснювалась в умовах конвертерного цеху ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат».

Паспорт розливки плавки на МБЛЗ є документом, який відображає відповідність технологічних параметрів розливки плавки тим, що запропоновані технологічною інструкцією та іншою нормативно-технічною документацією. Паспорт заповнює контролер відділу технічного контролю (ВТК) відповідної ділянки сталеплавильного цеху.

Паспорта зберігають тривалий період часу, на протязі якого можлива експлуатація продукції з розливої сталі, щоб у випадку непередбаченого виходу продукції з ладу, можна було встановити його причини.

Формат паспорта формується у відповідності до технології підприємства протягом значного часу, поки не дійдуть до висновку, що він містить всі необхідні дані. Змінення у технології розливки і поява відповідно нових для контролю параметрів викликає необхідність у змінненні формату паспорта.

У паспорт вносять найбільш важливі дані з технології розливання металу, які містяться у технологічній інструкції та дозволяють потім контролювати вірність виконання положень даної інструкції. У випадку відхилення від положень технологічної інструкції контролер ВТК повинен фіксувати їх та робити відповідні зауваження у паспорті розливки сталі. Ці зауваження можуть вплинути на маркування розливої плавки сталі та слугувати для контролю технологічної дисципліни.

Дані, що містить паспорт, можуть бути використані для вивчення та аналізу стану технології розливання металу, технологічних та техніко-економічних показників процесу. У наступній роботі передбачено проведення такого аналізу.

Порядок та методика виконання роботи

Робота із паспортом розливки плавки виконується студентами самостійно. На початку заняття кожному студенту видається паспорт розливки конкретної плавки.

Студент повинен ознайомитися з формою та змістом паспорта розливки сталі на МБЛЗ і виконати зазначені розрахунки. Обсяг роботи визначає та уточнює викладач.

Завдання для самостійної роботи

В процесі роботи з паспортом розливки сталі на МБЛЗ студент повинен виконати наступні завдання.

1) Визначити тривалість розливки плавки зі сталковша та на кожному струмку.

2) Побудувати графіки змінення температури металу у промковші впродовж розливання та швидкості витягання заготовки для кожного струмка.

3) Побудувати графіки змінення витрат води та повітря у зоні вторинного охолодження (ЗВО).

4) Визначити середню швидкість падіння температури металу у промковші впродовж розливання плавки, °С/хв..

5) Розрахувати витрати охолоджуючої води у кристалізатора та ЗВО протягом розливання усієї плавки та на 1 т придатного металу, м³.

6) Розрахувати витрати повітря для розпилення води у ЗВО впродовж розливання усієї плавки та на 1 т придатного металу, м³.

7) Розрахувати вихід придатного металу, %.

8) Розраховувати кількість металу, відлитого на кожному струмку даної плавки та усієї плавки, т.

9) Розрахувати кількість металу, який було відрито на кожному кристалізаторі МБЛЗ:

$$M = n \cdot (a \times b \times l_{\text{сер}}) \cdot \rho_{\text{тв}}, \text{ т}, \quad (3.62)$$

де n – кількість відлитих заготовок, шт.; a , b – відповідно, ширина та товщина заготовки, м; $l_{\text{сер}}$ – середня довжина відлитих на одному струмені заготовок даної плавки, м; $\rho_{\text{тв}}$ – густина твердої сталі, т/м³.

10) Розрахувати швидкість витікання металу з сталковша у промківш на початку розливання ($H_{\text{ст.к}}$), у середині розливання ($1/2 H_{\text{ст.к}}$) та у кінці розливання плавки ($1/4 H_{\text{ст.к}}$):

$$w_{ст.к} = 60 \cdot \mu \sqrt{2g \left(H_{ст.к} + H_{ш} \frac{c_{ш}}{c_p} \right) + \sqrt{2gH_n}}, \quad (3.63)$$

де μ – коефіцієнт витрати; g – прискорення вільного падіння м/с²; $H_{ст.к}$ – рівень металу у стальковші, м; $H_{ш}$ – товщина шару шлаку на дзеркалі металу у стальковші, м; $\rho_{ш}$ – густина шлаку, т/м³; ρ_p – густина рідкої сталі, т/м³; H_n – висота падіння струменя металу між стальковшем та промковшем, м.

11) Згідно з формулою (3.63) розрахувати швидкість витікання металу з промковша.

Лабораторна робота № 1

Вибір шлакоутворювальної суміші і розрахунок її витрат для розливи сталі на МБЛЗ

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

Загальні положення

Шлакоутворювальні суміші (ШУС) у практиці безперервного розливання застосовують для поліпшення процесу ковзання твердої скоринки уздовж поверхні кристалізатора, а також захисту дзеркала металу від контакту з атмосферою й від втрат тепла випромінюванням. Введення ШУС у кристалізатор найбільш доцільно здійснювати за допомогою автоматизованих систем шнекового типу, які дозволяють рівномірно розподіляти ШУС на поверхні дзеркала металу у кристалізаторі.

Розташована на дзеркалі металу ШУС, під впливом тепла рідкої сталі утворює три яскраво виражених шари (рис. 3.3): рідкий шар, розташований безпосередньо на дзеркалі сталі; розм'якшений (спечений) шар, який розташований над рідким шаром і в міру витрати рідкого шару підживлює його; порошкоподібний шар, розташований над розм'якшеним шаром, що зменшує відведення тепла через дзеркало металу.

Рідкий шар ШУС виконує наступні основні технологічні функції:

- запобігає вторинному окисленню за контакту дзеркала металу з атмосферою;

* Заснована на методиці, наведеній у підручнику О.М. Смірнова [4]

- асимілює неметалеві включення, які спливають у шлак;
- зменшує силу тертя між заготовкою й стінкою кристалізатора за рахунок наявності рідкого прошарку шлаків;
- підвищує рівномірність і дозволяє регулювати інтенсивність тепловідведення від твердої скоринки до стінки кристалізатора;
- підвищує якість поверхні безперервнолитої заготовки.

Основними властивостями ШУС прийнято вважати:

- в'язкість рідкої ШУС по всьому робочому діапазону температур;
- температуру «зламу» (температура початку виділення кристалічної фази);
- температури розм'якшення, плавлення й розтікання ШУС.

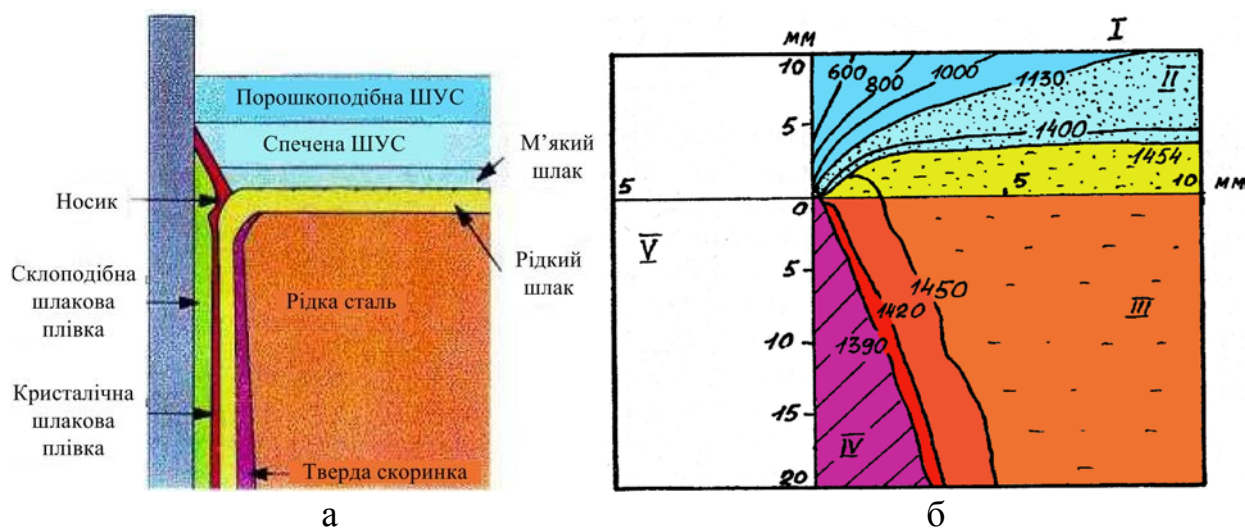


Рисунок 3.3 – Схема розташування шарів ШУС у кристалізаторі (а) і розподіл температур в області меніску (б): I – сипка шлакоутворювальна суміш; II – розм'якшений рідкий шлак; III – рідка сталь; IV – тверда скоринка; V – стінка кристалізатора

В залежності від цих параметрів вибирають хімічний склад ШУС кристалізатора являє собою дрібнодисперсну багатоконпонентну систему, основними складовими якої є С, СаО, SiO₂, В₂О₃, Na(К, Li)₂О й з'єднання фтору, якими можуть бути СаF₂, NaF та ін. Крім основних компонентів, у ШУС присутня деяка кількість домішок: Al₂О₃, MgO, ВаО, MnO, Fe₂О₃.

На рисунку 3.4 наведена псевдо-потрійна діаграма для вибору орієнтовного хімічного складу ШУС для розливання різних марок сталей.

Порядок виконання роботи

- 1) З таблиці 3.6 виписують 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 3.4.

3) Обчислюємо параметр кристалізатора

$$R = \frac{2(a+b)}{a \cdot b}, 1/\text{м}. \quad (3.64)$$

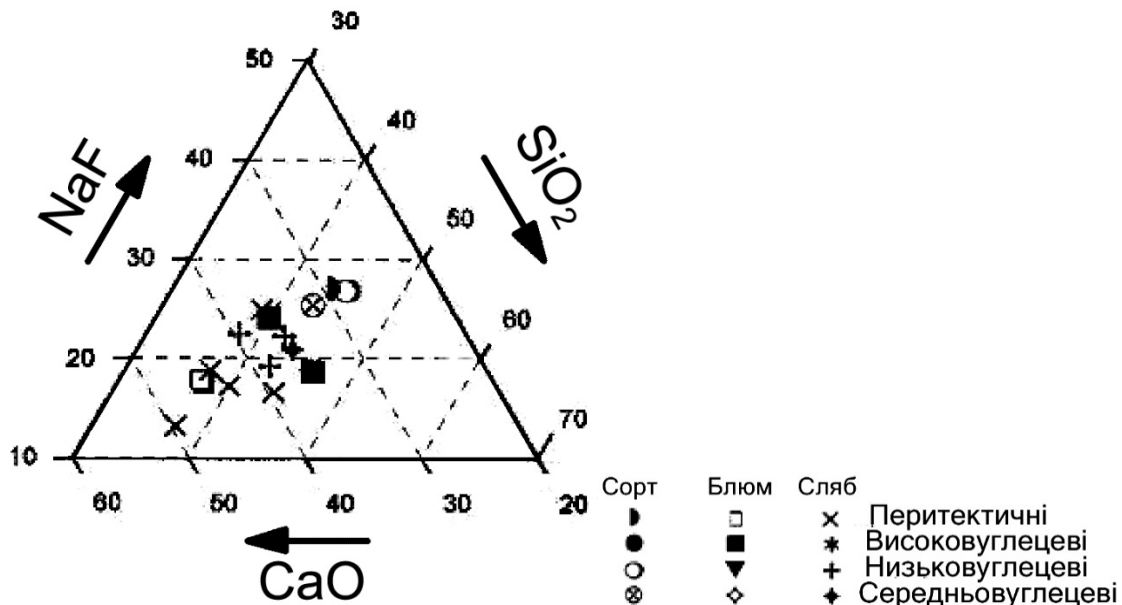


Рисунок 3.4 – Псевдопотрійна діаграма для визначення орієнтовного хімічного складу ШУС

4) Оптимальна питома витрата ШУС на 1 м² поверхні заготовки складає

$$Q_s = \frac{2}{R-5}, \text{ кг/м}^2. \quad (3.65)$$

5) Інтенсивність подачі ШУС у кристалізатор складає

$$\Delta m = 2 \cdot (a+b) \cdot V_p \cdot Q_s, \text{ кг/хв}. \quad (3.66)$$

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

$$\eta = \left(\frac{0,015 f_{onm} \tau_{вун}}{Q_s V_p} \right)^2, \text{ пуаз}^*, \quad (3.67)$$

* 1 пуаз = 0,1 Па·с

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

$$f_{opt} = \frac{16,44}{\tau_{вип}}, 1/\text{хв.} \quad (3.68)$$

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

$$F_p = 2,5(0,5 - [C]_{eq}), \quad (3.69)$$

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

$$[C]_{eq} = [C] + 0,04[Mn] - 0,14[Si] + 0,1[Ni] - 0,04[Cr] - 0,1[Mo] - 0,24[Ti] - 0,7[S] + 0,7[N], \% \quad (3.70)$$

Величина $F_p > 1$ відповідає формуванню повністю феритної структури в області температури солідус (для чистого $\delta\text{-Fe}$ $F_p = 1,25$). 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 3.5).

8) З рис. 3.6 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 $t_{затв}$, яку ще називають температурою початку виділення кристалічної фази або температурою «зламу». Для розливання різних марок сталі величина $t_{затв}$ повинна мати різні (цілком певні) значення. Для оцінки величини $t_{затв}$ при розливанні різних марок сталі використовують вирази

$$t_{затв} = \begin{cases} 1375 + 60 \cdot \ln \eta; & 0,8 \leq F_p \leq 1,1 \\ 1340 + 68 \cdot \ln \eta; & F_p < 0,3 \text{ або } F_p > 1,5 \\ 1307 + 76 \cdot \ln \eta; & \text{інше} \end{cases} \quad (3.71)$$

де η – динамічна в'язкість ШУС, Па·с.

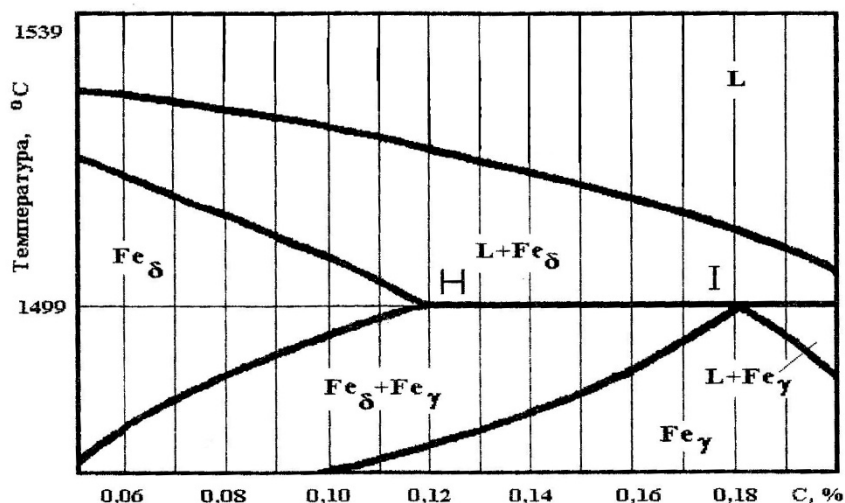


Рисунок 3.5 – Лівий верхній кут діаграми залізо-вуглець з перитектичним перетворенням

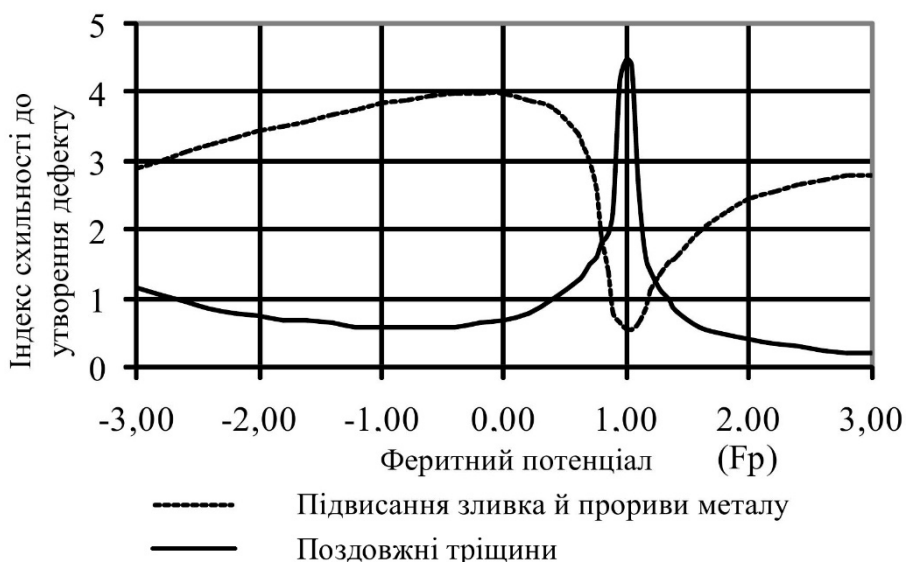


Рисунок 3.6 – Діаграма для визначення схильності сталі до утворення поверхневих тріщин та підвисань при розливанні на МБЛЗ

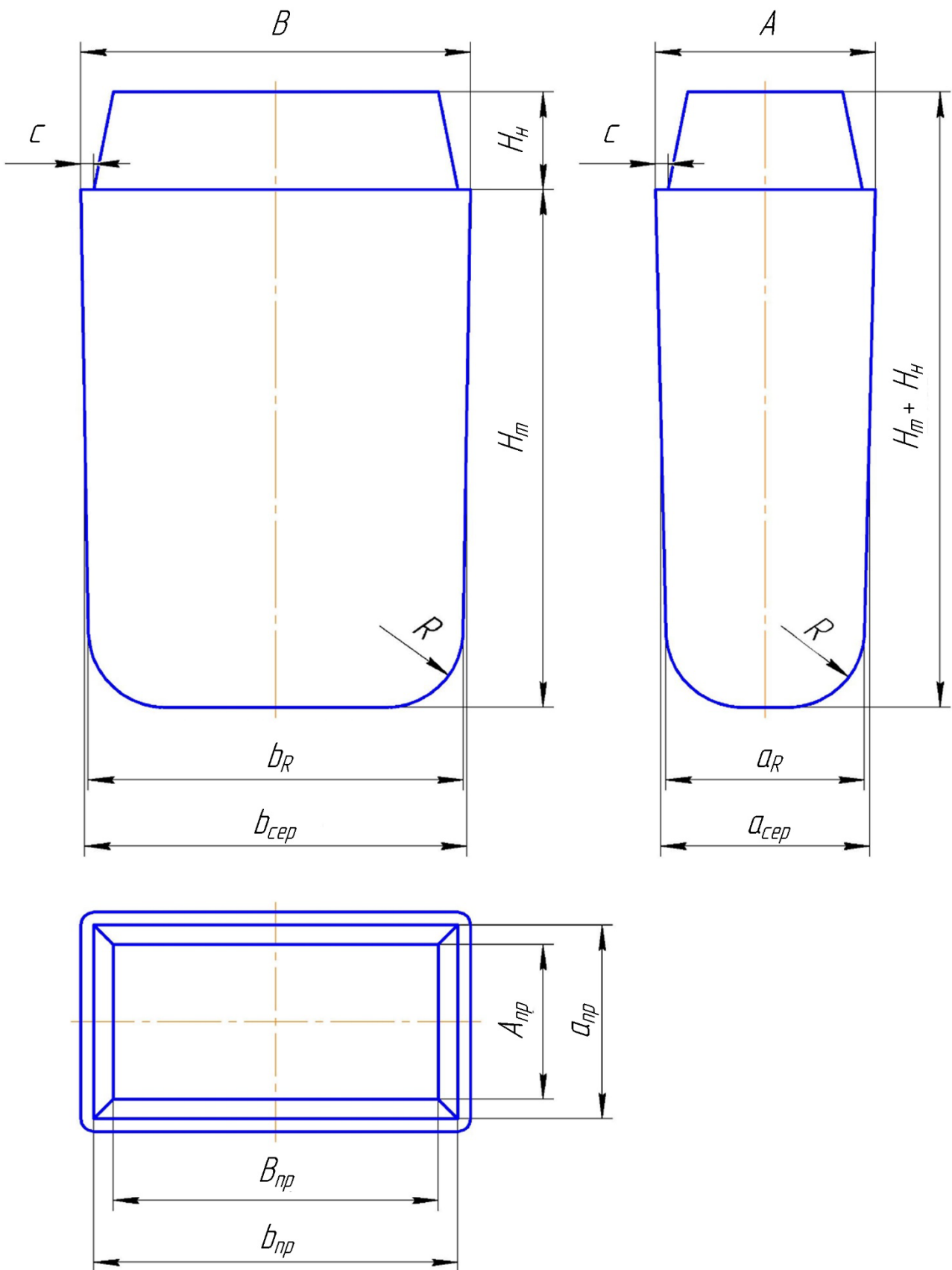
Звіт з виконаної роботи повинен містити:

- 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).

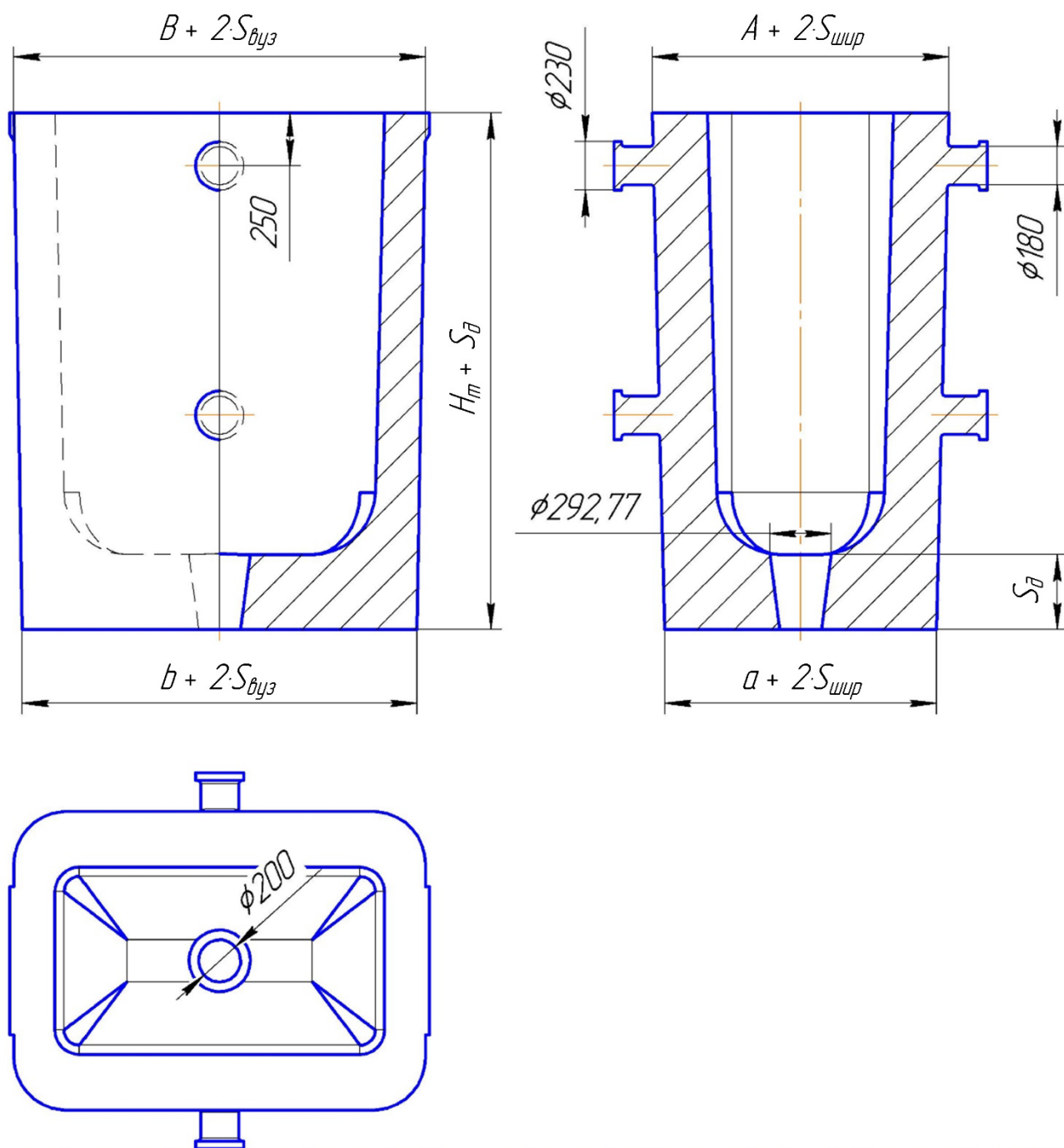
Таблиця 3.6 – Вихідні дані для розрахунку

№ з/п	Марка сталі	Хімічний склад сталі, %										Швидкість розливання V_p , м/хв.	Переріз заготовки, мм		Час випередження $\tau_{вип}$, с
		C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Ti	S	N	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	

Листовий зливков спокійної сталі

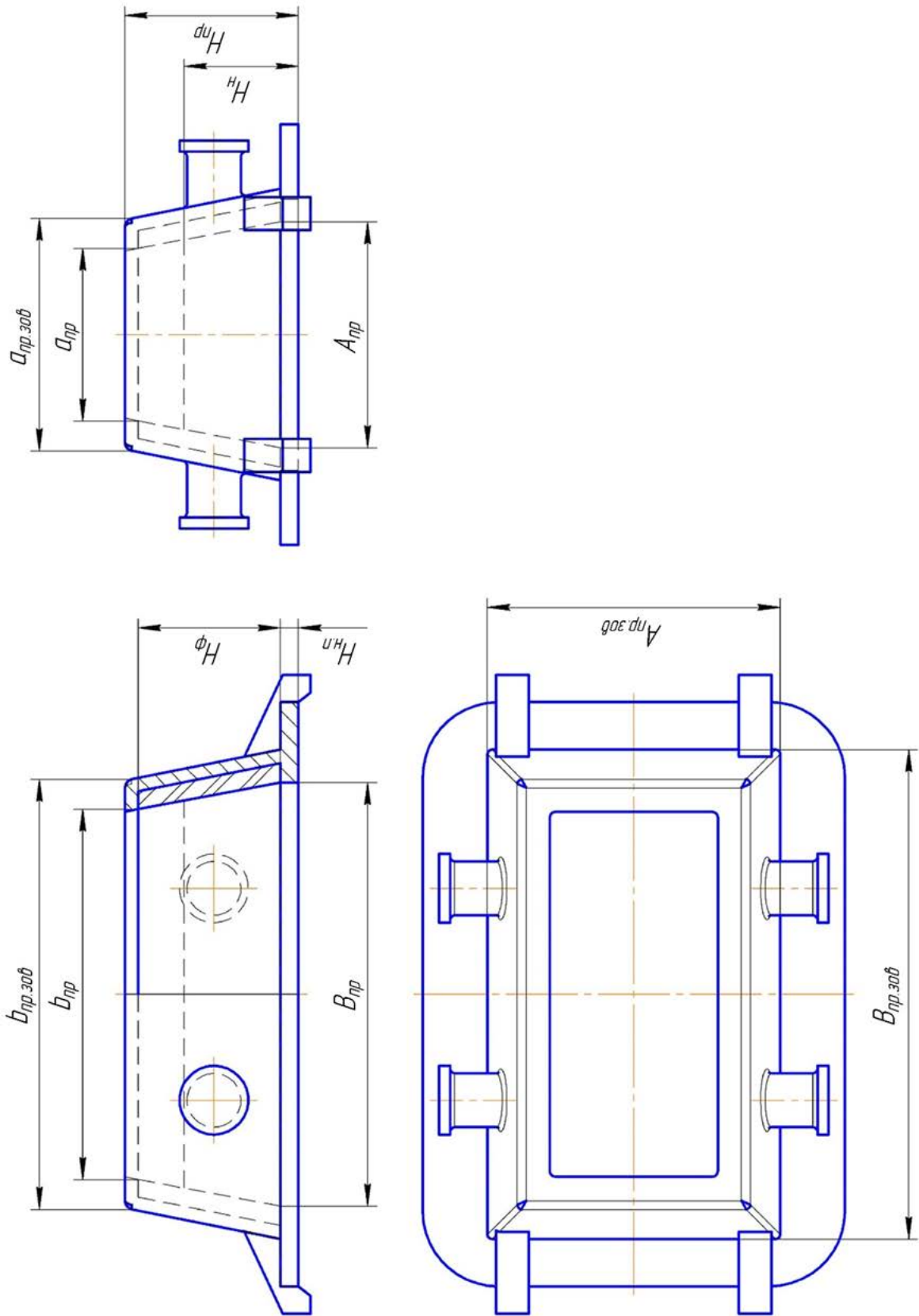


Слябова виливниця для розливання спокійної сталі

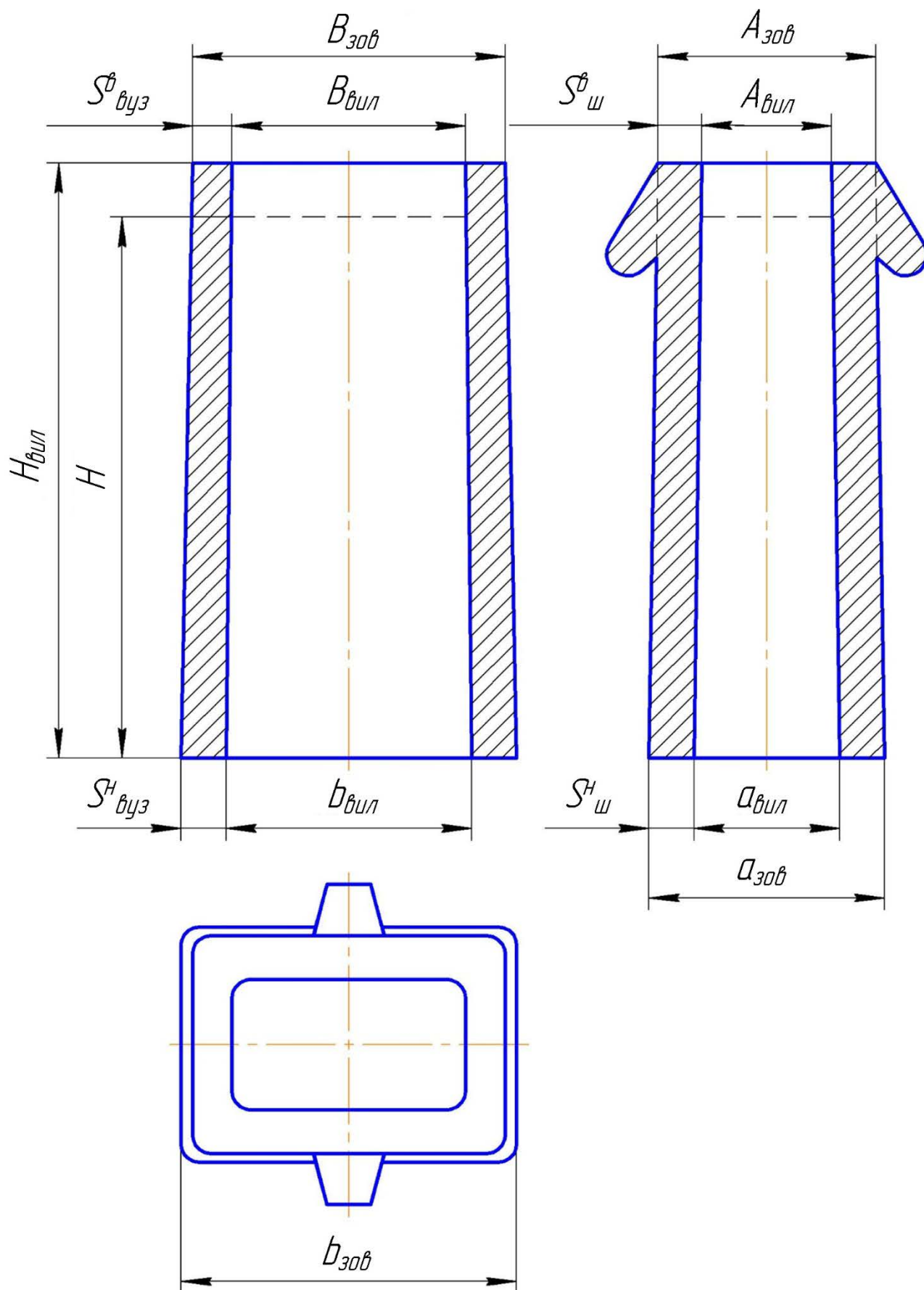


Додаток В

Прибуткова надставка для розливання слябового зливка спокійної сталі



Слябова виливниця для розливання киплячої та напівспокійної сталі



ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Исаев Е. И., Бойченко Б. М., Чуванов А. П. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Разливка и кристаллизация стали» для студентов специальности 11.01. Днепропетровск : ДМетИ, 1991. 16 с.
2. Исаев Е. И., Бойченко Б. М., Шибко О. В. Методичні вказівки до практичних занять і НДРС по дисципліні «Розливка та кристалізація сталі», «Розрахунок листового сталюого зливка і виливниці для розливання спокійної, киплячої, напівспокійної сталі» для студентів спеціальності 11.01. Дніпропетровськ : ДМетІ, 1992. 38 с.
3. Смирнов О. М., Куберський С. В., Штепан Є. В. Безперервне розливання сталі : підручник / Донбас. держ. техн. ун-т. Алчевськ : ДонДТУ, 2011. 518 с.
4. Разливка стали / под. ред. В. И. Баптизманского. Киев, Донецк : Вища школа, 1977. 200 с.
5. Тришевский И. С., Панич Б. И., Николаенко Н. А. Слитки и изложницы. Киев : Государственное издательство научно-технической литературы УССР, 1959. 223 с.

Навчально-методичне видання

**Синегін Євген Володимирович,
Рубан Володимир Олександрович,
Журавльова Світлана Валеріївна**

ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОБЛАДНАННЯ ФІНІШНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ

Навчально-методичні рекомендації
до практичних і лабораторних занять

Електронне видання

Експертний висновок склав канд. техн. наук, доц. Олександр Стоянов

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 766 від 31.10.2024)

В авторській редакції

Комп'ютерна верстка В. О. Рубан

Формат 60x84_{1/16}. Ум. друк. арк. 2,44. Обл.-вид. арк. 1,13.
Зам. № 83

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, м. Дніпро, 49010.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010