

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Матеріалознавства та ливарного виробництва»

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

«_____» _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Розробка технології лиття в піщано-глинисту форму вилівка «Кронштейн СТА-202» з підвищенням якості литва на основі дослідження впливу конструкції шлаковловлювача на ефективність затримки шлаку»

Виконав здобувач вищої освіти II-го курсу групи ПМ-22М-1

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Сергій ЛІТВІНЕНКО

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____ Сергій КОНОНЧУК

Рецензент:

Кропивницький – 2023

Анотація

ЛІТВІНЕНКО Сергій. Розробка технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кронштейн СТА-202» з підвищенням якості литва на основі дослідження впливу конструкції шлаковловлювача на ефективність затримки шлаку. Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2023. – 81 с.

Вибрано ливарне обладнання та описано роботу ливарного цеху. Розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кронштейн СТА-202». Досліджено вплив конструкції шлаковловлювача на ефективність затримки шлаку. Розроблено практичні рекомендації щодо підвищення якості та зменшення собівартості литва.

Актуальність роботи полягає у розробці технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кронштейн СТА-202» з використанням сучасного ливарного обладнання. Дослідження впливу конструкції шлаковловлювача на ефективність затримки шлаку в САЕ-програмі параметричного моделювання підтвердило можливість затримки шлаку за рахунок використання ребристого шлаковловлювача. Встановлено, що швидкість потоку металу зменшується на 0,028 м/с або 14,5 % у порівнянні з традиційним. Дана обставина дозволяє зменшити довжину шлаковловлювача до першого живильника. Очікувана економія металу складе 0,26 %

Практичне значення: запропоновано нову конструкцію ребристого шлаковловлювача, який дозволяє підвищити ефективність затримки шлаку за рахунок зменшення швидкості потоку розплаву гальмуючими ребрами без додаткових витрат металу.

Ключові слова: плавильна піч, формувальна лінія, шлаковловлювач, шлакове включення, витрата металу, піщано-глиниста суміш.

Summary

LITVINENKO Serhii. Development of a sand and clay casting technology for the "STA-202 Bracket" casting with improvement of casting quality based on the study of the influence of the slag collector design on the slag retention efficiency. Qualification work at the second (master's) level of higher education: CUNTU, 2023.– 81 p.

Foundry equipment is selected and the work of the foundry shop is described. The technology of casting in a sand-clay mold of casting "STA-202 Bracket" has been developed. The influence of the design of the slag catcher on the efficiency of slag retention was investigated. Practical recommendations have been developed to improve the quality and reduce the cost of the product..

Keywords: melting furnace, molding line, slag catcher, slag inclusion, metal consumption, sand-clay mixture.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	6
1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ	8
1.1. Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху	8
1.2. Плави́льне відділення	9
1.3. Формувально заливно вибивне відділення	24
1.4. Стержневе відділення	26
1.5. Сумішоприготувальне відділення	28
1.6. Очисне відділення	31
1.7. Відділення ґрунтування виливків	33
1.8. Допоміжні відділення	34
1.9. Висновки по розділу	35
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В ПІЩАНО-ГЛИНИСТУ ФОРМУ ВИЛИВКА «КРОНШТЕЙН СТА-202»	37
2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок	37
2.2. Послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка	38
2.3. Розрахунок та конструювання ливниково-живильної системи	41
2.4. Опис процесу проектування ливарного оснащення	46
2.5. Опис технологічного процесу виготовлення виливка	48
2.6. Висновки по розділу	50
3. ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЛИТВА НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ ШЛАКОВЛОВЛЮВАЧА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАТРИМКИ ШЛАКУ	51
3.1. Причини утворення шлакових включень і способи їх запобігання	51
3.2. Основи проектування шлаковловлювачів	59

3.3. Параметричне моделювання течії розплаву в каналі шлаковловлювач	64
3.4. Перевірка формувальної здатності ребристого шлаковловлювача	74
3.5. Висновки і рекомендації по розділу	76
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	79
ДОДАТКИ	82

ВСТУП

Актуальність роботи. Ливарне виробництво є заготівельною базою промисловості. Жодна галузь хімічної промисловості, енергетики, приладо-, літако-, корабле-, машинобудування не можуть обійтися без заготовок, які отримують литтям. Литі деталі займають біля 50 % від загальної маси машин і механізмів. У верстатобудуванні ця частка може сягати до 90 % маси машини.

З іншого боку, існують деталі такої конструкції, що їх отримати іншими способами, окрім лиття, практично неможливо, або економічно недоцільно.

Литі деталі у порівнянні з деталями, отриманими механічною обробкою мають кращі механічні властивості. Коефіцієнт використання металу при цьому значно вищий і складає 80...95 %.

Найбільш поширеним способом є лиття у разові піщано-глинисті форми. Даний процес має відносно невелику енергоємність, трудомісткість та матеріалоємність, є економічним і дозволяє механізувати та автоматизувати виробництво.

Основним завданням ливарного виробництва є отримання виливків заданої якості, конфігурації і механічних властивостей з мінімальними припусками на механічну обробку.

Важливу роль у формуванні якості литва відіграє ливниково-живильна система. Вона повинна бути по можливості якомога меншою, проте забезпечувати плавне заповнення форми металом без завихрювань, розмивання форми, захвату газів і шлакових включень. Видалення газів і шлакових включень з металу при заливці форми забезпечує шлаковловлювач. Тому дослідження, спрямовані на удосконалення ливниково-живильної системи є актуальними.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кронштейн СТА-202» з підвищенням якості литва на основі дослідження впливу конструкції шлаковловлювача на ефективність затримки шлаку.

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- вибір обладнання для виготовлення виливків та опис роботи ливарного цеху;
- розробка технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кронштейн СТА-202»;
- дослідження впливу конструкції шлаковловлювача на ефективність затримки шлаку;
- розробка рекомендацій щодо підвищення якості та зменшення собівартості литва.

Об'єкт дослідження – технологічний процес лиття в піщано-глинисту форму.

Предмет дослідження – підвищення ефективності затримки шлаку на основі застосування в шлаковловлювачі гальмівних ребер.

Практичне значення – запропоновано нову конструкцію ребристого шлаковловлювача, який дозволяє підвищити ефективність затримки шлаку за рахунок зменшення швидкості потоку розплаву гальмуючими ребрами без додаткових витрат металу

Особистий внесок – розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кронштейн СТА-202», запропоновано шлаковловлювач з гальмуючими ребрами та досліджено в комп'ютерній програмі параметричного моделювання їх вплив на ефективність затримки шлаку.

1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ

1.1.Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху.

Місце розташування ливарного цеху вибираємо якомога далі від житлових районів, при цьому необхідно враховувати можливість використання джерел електроенергії, природного газу, матеріалів, палива, води, трудових ресурсів.

Враховуючи проходження транспортних шляхів Одеської залізниці, яка пов'язує місто Кропивницький з іншими містами України, зокрема, Донецьким вугільним басейном та Криворізьким металургійним комбінатом, наявність автомобільних магістралей та близькість і компактність розташування селищ, які можуть забезпечити підприємство трудовими ресурсами, місце побудови ливарного цеху доцільно вибрати на околиці міста. Обране місце повинно забезпечити захист навколишнього середовища від екологічних забруднень, що пов'язано з переважними напрямками вітру, а саме: взимку – південно-східний, влітку – північно-західний напрямки.

Формувальні стержневі матеріали планується постачати залізницею з Дніпровського кар'єру. Постачання технічної води можливе із водоочисних споруд, які знаходяться на околиці міста, поряд з ливарним цехом. Питну воду можливо постачати з свердловини глибиною 260 м, яка також розташована поруч. Постачання електричної енергії здійснюється від мережі енергосистеми через підстанцію 186.135/6 КВ/ГПП і цехові трансформаторні підстанції. Напруга мережі цеху 380/220 В. Розподіл електроенергії здійснюється по радіальним і магістральним схемам.

Забезпечення цеху стисненим повітрям здійснюється за рахунок компресорної станції з встановленими в ній компресорними автоматами.

Теплоносієм для систем опалення і вентиляції є високотемпературна вода, яка подається системою теплопостачання від котельної. Обігрів цеху здійснюється за допомогою повітря із систем припливної вентиляції.

Всі ворота ливарного цеху забезпечені повітряними тепловими завісами. Все обладнання, що викидає шкідливі речовини оснащено місцевими технологічними уловлювачами та фільтрами.

Ливарний цех призначений для випуску виливків із чавуну методом лиття в піщано-глинисту форму. Річна кількість випуску виливків цеху складає його виробничу програму. У виробничу програму цеху входить литво: для основної продукції заводу; для запасних частин; для запуску виробництва; для внутрішніх потреб заводу; для власних потреб ливарного цеху.

Режим роботи ливарного цеху – це розподілення в часі та просторі всіх робіт, які виконуються при виготовленні виливків. Режим роботи цеху встановлюється на основі аналізу виробничої програми. Оптимальний для даних умов режим роботи залежить від масштабу виробництва, максимальної ваги виливків, серійності виробництва, роду металу і типу плавильних печей, характеру технологічного процесу. Режим роботи цеху встановлюється на основі аналізу виробничої програми. Вибираємо паралельний режим роботи цеху в дві зміни, як найбільш оптимальний.

Цей режим роботи передбачає всі технологічні операції виконувати одночасно на різних виробничих ділянках цеху [4].

1.2. Плавильне відділення.

1.2.1. Характеристика сплаву що виплавляється.

Згідно з завданням на випуск кваліфікаційну роботу розглянемо сірий чавун марки СЧ-200 ДСТУ 8833:2019. Сірий чавун має здатність розсіювати вібраційні коливання при змінних навантаженнях, тому цей сплав широко використовується для виготовлення виливків станин металорізальних верстатів, деталей двигунів внутрішнього згорання, компресорів, кришок, корпусів редукторів, різноманітних деталей машин сільськогосподарського призначення, тощо. Хімічні та механічні властивості даного сплаву приведені в табл. 1.1 – 1.2.

Таблиця 1.1

Хімічний склад сплаву СЧ 200 ДСТУ 8833:2019

Марка сплаву	Вміст хімічних компонентів у сплаві, %				
	C	Si	Mn	S	P
СЧ 200	3,3 – 3,5	1,4 – 2,2	0,7 – 1,0	< 0,15	< 0,2

Таблиця 1.2

Механічні властивості сплаву СЧ 200 ДСТУ 8833:2019

Марка сплаву	Міцність на розтяг, МПа	Відносне видовження, %	Твердість HB·10 ⁻¹ , МПа
СЧ 200	200	—	1700...2410

Класифікація сплавів. У залежності від хімічного складу, умов кристалізації та способів обробки у рідкому стані можна одержати різні за структурою і властивостями чавуни [5]. Форма включень графіту є однією з важливих характеристик, що визначають тип чавуну. Сірий чавун з пластинчастим графітом (СЧ) – це найбільш поширений ливарний сплав. Механічні властивості його визначаються співвідношенням структурних складових – фериту, перліту, графіту. Включення графіту зменшують міцність за рахунок утворення надрізів у структурі та є концентратами внутрішньої напруги.

Кремній, у тих межах, що він знаходиться у чавуні весь розчиняється у рідкому та твердому металі не створює нових фаз.

Сірка підвищує схильність чавуну до утворення гарячих тріщин, знижує механічні і ливарні властивості. Також сірка подрібнює евтектичне зерно, збільшує межу переохолодження розплаву.

Фосфор знижує ударну в'язкість та холодостійкість.

Фосфор і сірка в чавуні є шкідливими домішками. Їх необхідно видаляти з розплаву шляхом проведення десульфурації та дефосфорації металу. Також бажано використовувати чисті від даних елементів вихідні матеріали, та не допускати насичення розплаву шкідливими домішками в процесі плавки металу.

1.2.2. Розрахунок балансу метала.

За відсутності даних щодо річної продуктивності цеху, розраховуємо загальну масу металевий завалки для плавильних печей, що припадає на 1 т придатних виливків:

$$M = \frac{100(\Pi + Л + Б)}{100 - C - У}, \quad (1.5)$$

де $\Pi, Л, Б$ – відповідно придатне литво, ливники, брак, т;

C – зливи та сплески, прийняті по виробничим даним, %;

$У$ – угар і безповоротні втрати, прийняті по виробничим даним, %.

Для сплаву СЧ200:

$$M = \frac{100 \cdot (1 + 0,525 + 0,05)}{100 - 6 - 3} = 1,731 \text{ т/}$$

Тобто, щоб отримати 1 т придатних виливків необхідно 1,731 т металозавалки.

Відносний вміст придатного литва, ливників, браку від металозавалки визначаємо за формулами:

$$n = \frac{\Pi}{M} \cdot 100 \%, \quad (1.6)$$

$$л = \frac{Л}{M} \cdot 100 \%, \quad (1.7)$$

$$б = \frac{Б}{M} \%, \quad (1.8)$$

де n – вага придатного литва, т; $л$ – вага ливників, т; $б$ – вага браку, т.

$$n = \frac{1}{1,731} \cdot 100 = 57,78\%;$$

$$л = \frac{0,525}{1,731} \cdot 100 = 30,33\%;$$

$$б = \frac{0,05}{1,731} \cdot 100 = 2,89\%$$

Масова доля угару і безповоротних втрат, зливів та сплесків визначаємо за формулами, т:

$$Y = \frac{y}{100} \cdot M, \quad (1.9)$$

$$C = \frac{c}{100} \cdot M, \quad (1.10)$$

де y – угар, %; c – зливи та сплески, %.

Для сплаву сталь СЧ200:

$$Y = \frac{6}{100} \cdot 1,731 = 0,104 \text{ т}$$

$$C = \frac{3}{100} \cdot 1,731 = 0,052 \text{ т}$$

Кількість рідкого металу, т:

$$Q_{pm} = M - Y, \quad (1.11)$$

для сплаву СЧ200:

$$Q_{pm} = 1,731 - 0,104 = 1,627 \text{ т}$$

Розрахунки балансу метала заносимо в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3

Баланс метала сплаву СЧ200

Компонент	Вміст	
	%	т
Придатне литво	57,78	1
Ливники	30,33	0,525
Брак	2,89	0,05
Угар, безповоротні втрати	6	0,104
Зливи і сплески	3	0,052
Всього	100	1,731

1.2.3. Вибір плавильних агрегатів.

Для плавки чавуну призначеного для отримання фасонних виливків в якості плавильного агрегату використовуються дугові плавильні електропечі з ефективними системами очищення відхідних газів [4]. Чавун СЧ200 відноситься до конструкційних чавунів звичайних марок. Тому, з економічних міркувань доцільніше використовувати кислу футерівку. Використовувана при цьому шихта за сіркою і фосфором повинна відповідати технічним умовам, адже десульфурація і дефосфорація в кислих печах не проводиться.

Для плавки, перегріву металу та доводки по хімічному складу застосовуємо дугову електропіч. Ємність печі вибирається на підставі розрахункових даних програми цеху рівною 2...3 годинної потреби цеху в рідкому металі. Приймаємо дугову електропіч ємністю 10 тон моделі ДСП – 10, загальний вид якої представлено на рис. 1.1, а технічна характеристика приведена в табл. 1.4.

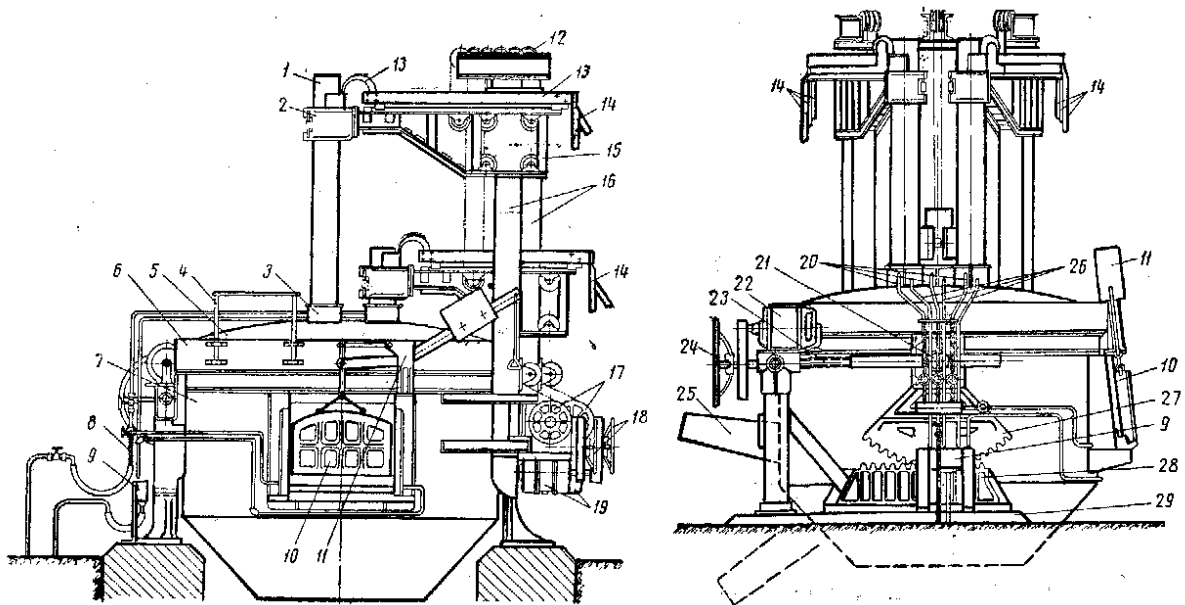


Рисунок 1.1 – Дугова електросталеплавильна піч з номінальною ємністю 10 т

Представлена на рис. 1.1 піч має наступну будову: 1 – електрод; 2 – електродотримач; 3 – охолоджувач електрода (економайзер); 4 – місток для обслуговування електродів зводу; 5 – звід печі; 6 – зводове кільце; 7 – корпус

печі; 8 – трубопровід подачі холодної води; 9 – зливальний бак для води, що іде з охолоджуваних пристроїв; 10 – завантажувальне вікно; 11 – пристрій підйому завантажувальних дверей; 12 – блоки підвіски електродотримачів; 13 – струмопідвідні шини до електродотримачів; 14 – кабелі електричного струму; 15 – каретка електродотримача; 16 – стійки кареток електродотримачів; 17 – механізм підйому кареток електродів; 18 – штурвали ручного підйому електродів; 19 – електродвигуни підйому електродів; 20 – трубки подачі холодної води економайзерів; 21 – гайка механізму нахилу печі; 22 – електро двигун нахилу печі; 23 – гвинт механізму нахилу печі; 24 – штурвал ручного нахилу печі; 25 – жолоб випускного отвору; 26 – зливальні трубки; 27 – зубчастий сегмент; 28 – опора з зубчастою рейкою; 29 – фундамент.

Таблиця 1.4

Технічна характеристика дугової електропечі ДСП – 10

Параметр	Показник
Номінальна потужність трансформатора, кВт	8000
Ємність печі, т	10,0
Тривалість плавки (повний цикл), год	2,1
Продуктивність, т/год	4,76
Маса металоконструкцій печі, т	80

Будова печі. Фундамент печі (рис. 1.1) споруджується з залізобетону і зв'язується з кладкою прямока. Прямок під піччю проти її жолоба робиться таких розмірів, щоб у ньому міг поміститися сталерозливний ківш при повному нахилі печі. Під робочим вікном роблять прямока для шлаковні. У випадку близького розташування ґрунтових вод прямока повинен надійно ізолюватися від проникнення в нього вологи. Кути прямока зміцнюються металевим обрамленням. Прямки перекриваються знімними чи такими, що відсуваються по рейках, металевими щитами. Навколо прямока повинно бути улаштоване металеве поруччя [1].

Корпус печі (рис.1.2). Корпус печі складається зі звареного чи клепаного кожуха із сталевих листів товщиною від 12 до 30 мм з

внутрішньою футеровкою. Порівняно донедавна середня частина корпусу виготовлялася циліндричною. В даний час на ряді заводів застосована нова конструкція корпусу печі, яка дозволяє підвищити її ємність і подовжити термін служби. Наприклад, на рис. 1.2 корпус печі зроблений конічним з нахилом від вертикалі 6° , із днищем у вигляді зрізаного конуса. Це збільшило верхній діаметр робочого простору на 310 мм і корисний об'єм на $0,93 \text{ м}^3$ [1].

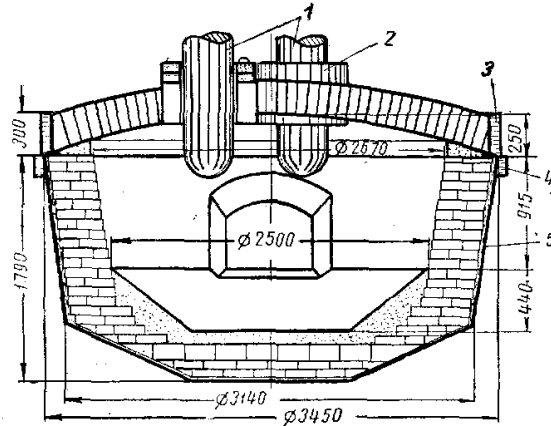


Рисунок 1.2 – Корпус і футеровка печі:

- 1 – електроди; 2 – охолоджувач електродів; 3 – водоохолоджуване зводове кільце;
4 – водоохолоджуване кільце жорсткості корпусу; 5 – корпус печі

У верхній частині корпус підсилюється кільцем жорсткості, яке рекомендується виконувати зі швелера, привареного до кожуха суцільним швом. Кільцева порожнеча, що утворюється, використовується для створення водяного охолодження верхньої частини печі. Робоче вікно печі має сталеву раму, охолоджувану водою. Рама робочого вікна, а також зливний жолоб (зварений чи литий) кріпляться до кожуха печі болтами. У кладці робочого простору й у кожусі проти робочого вікна влаштовується випускний отвір. В печах великої ємності він оточується водоохолоджуваною рамою [1].

Вогнетривка кладка. Вогнетривка кладка основної печі робиться в такий спосіб. На дно кожуха, після видалення залишків попередньої кладки, насипається шар дрібного шамотного порошку товщиною 5 – 6 мм, на який кладеться два ряди шамотної цегли насухо, із засипанням швів шамотним порошком. Поверх шамоту кладеться шар магнезитової цегли на ребро з засипанням швів магнезитовим порошком. Потім кладуться східчасті укуси товщиною в $1\frac{1}{2}$ цегли насухо з

засипанням швів магнезитовим порошком. Бокові стінки кожуха обкладаються листовим азбестом товщиною 20 мм. Стіни кладуться товщиною в півтори цегли в перев'язку всуху. Кладка стін йде уступами відповідно конусності кожуха. Магнезитова кладка закінчується, не доходячи до верха на шість рядів. На неї кладеться два ряди хромомагнезитової цегли, а потім чотири ряди динасової. Поверх шару динасу робиться конічна подушка з кварцового піску. Отвір робочого вікна і випускний отвір викладаються з магнезитової цегли з арковим перекриттям. Набивання поду робиться магнезитовим порошком з рідким склом поступово в три-чотири шари із щільною утрамбовкою кожного шару пневматичними трамбовками [1].

Кладка поду і стін кислої печі виконується з динасової цегли аналогічним способом. Під набивається просіяним кварцовим порошком чи кварцовим піском з рідким склом. На верхній торець стіни, що стикається зі склепінням, кладеться шар хромистої руди з домішкою вогнетривкої глини для запобігання приварюванню склепіння до стін. На багатьох підприємствах упроваджена набивна футеровка стін сталеплавильних печей з механізованим завантаженням [1].

У цьому випадку кожух обкладається листовим азбестом товщиною 20 мм. Кладеться шамотна цегла на плашку в півцегли. Потім шарами товщиною 150 – 200 мм трамбується набивна частина футеровки. Склад набивної маси для кислих печей: кварцовий пісок 92 %, водяний розчин рідкого скла з питомою вагою 1,3 – 8 %. Маса для основних печей: магнезитовий порошок або мелені відходи магнезитової чи хромомагнезитової цегли з розміром зерна 5 – 6 мм 92 – 94 %, вогнетривка глина 8 – 6 % [1].

Після кожного випуску робиться заправка стін тією ж масою через верх печі при знятому склепінні. Застосування набивної футеровки дозволяє підвищити стійкість стін до 8000 – 10000 плавов, у той час як звичайна основна футеровка вимагає ремонту через 50 і менше плавов. Заслінка робочого вікна футерується у всіх випадках шамотною цеглою [1].

Склепіння викладається у склепінному кільці коритного або двотаврового перерізу. Такий спосіб виконання кладки дає можливість швидко міняти

склепіння. Кладка або набирання склепіння робиться з динасової, а на основних печах також із термостійкої хромомagneзитової цегли. При цьому застосовується фасонна склепінна цегла (Держстандарт 1566 – 50) і нормальна цегла. Для набирання склепіння на підлозі цеху робиться дерев'яний або литий чавунний шаблон, верхня поверхня якого відповідає контуру нижньої поверхні склепіння. На шаблоні по штирях установлюються шаблони отворів для електродів. Для опорного кільця склепіння шаблон має плоску опорну частину. На рис. 1.3 показане склепіння, яке лежить на шаблоні, і розташування цеглин склепіння при наборі його з фасонної і спеціальної цегли. Найбільш уразлива частина склепіння – отвори для електродів і частина склепіння між ними; ці частини необхідно виконувати особливо ретельно [1].

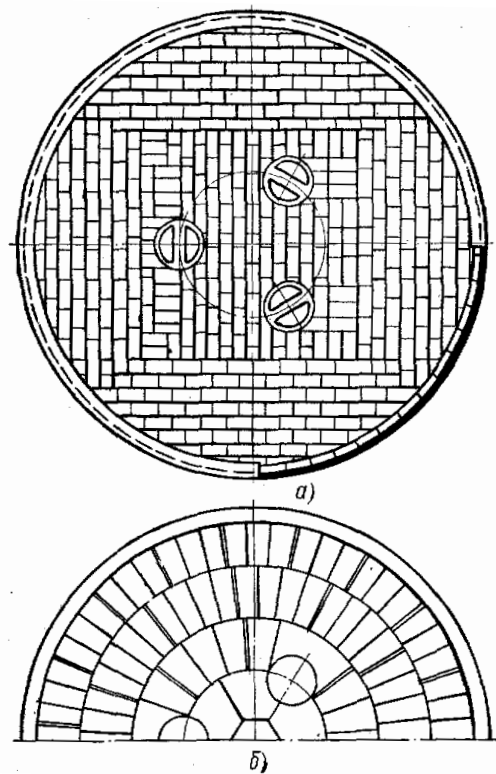


Рисунок 1.3 – Склепіння електропечі: *а* – набране нормальною цеглою; *б* – набране спеціальною цеглою

Механізм нахилу. Механізм нахилу має забезпечувати плавний нахил печі убік зливного жолоба до 45° і убік робочого вікна до 15° . У невеликих печей (до 5 т) механізм нахилу знаходиться збоку печі (див. рис. 1.1). Він складається з укріпленої на фундаменті стійки, у верхній частині якої в підшипнику шарнірно закріплений гвинт нахилу. Гвинт нахилу проходить

через гайку, також шарнірно закріплену на корпусі печі. При обертанні гвинта гайка переміщується уздовж його і здійснює нахил печі. Нахил печі може здійснюватись вручну або електродвигуном через редуктор. Такий механізм нахилу є компактним і самогальмівним, але, будучи розташованим на одній стороні печі, викликає в корпусі додаткові напруги. Тому механізм нахилу великих печей міститься в прямку під піччю. Такі механізми виготовляються з приводом від електродвигуна і з застосуванням гідравліки.

Недоліком нижніх механізмів повороту є можливість ушкодження їх при випадковому прориві металу в прямокутний підпіччю.

Механізм переміщення електродів служить для втримання електродів у потрібному положенні у злових отворах, а також для їх підйому й опускання. Механізм повинен здійснювати як швидкий підйом, наприклад, при короткому замиканні внаслідок обвалу шихти, так і повільний при поступовому підйомі рівня розплавленого металу у ванні печі в міру розплавлення шихти. Відстанню від кінця електрода до металу визначається довжина дуги, а довжиною дуги – електрична потужність, що забирається піччю, тому що чим довша дуга, тим вище її опір. Сучасні електропечі обладнуються автоматичними пристроями, які підтримують задану силу струму регулюванням положення електродів по висоті. При автоматичному регулюванні швидкість підйому чи опускання електродів знаходиться в межах 0,4 – 1,2 м/хв. Переміщення електродів може здійснюватись і не автоматично – від електродвигунів, що включаються вручну. Кожний електрод має окремий механізм підйому.

Стійки є основною частиною механізму переміщення електродів. Вони представляють собою колони прямокутного або круглого перерізу. Стійки кріпляться до корпусу печі і нахиляються разом з нею. У верхній своїй частині стійки з'єднуються для надання більшої жорсткості конструкції. Величина переміщення електродів 1 – 2 м. Уздовж стійок переміщуються каретки, що несуть електродотримачі. Переміщення кареток здійснюється лебідками за посередництвом тросів. Вага каретки з електродотримачем врівноважується противагою, поміщеною усередині стійки.

Електродотримачі. Конструкція електродотримача має забезпечити міцне закріплення в ньому електрода, а також легке здійснення ослаблення затиску для пересування електрода в електродотримачі. Через електродотримач підводиться електроенергія, тому повинен бути забезпечений мінімальний опір на поверхні контакту електрод-електродотримач. Це вимагає щільного контакту електродотримача й електрода по всій його висоті і підбору відповідного матеріалу для електродотримача.

В даний час найчастіше застосовуються електродотримачі кліщові і клинові (рис. 1.4). Найбільш розповсюдженим матеріалом електродотримачів є лита сталь. Сталеві електродотримачі можуть працювати в парі з графітовими електродами без водяного охолодження. Бронзові електродотримачі вимагають обов'язкового водяного охолодження, тому що їх поверхня при нагріванні легко оплавляється і окислюється. Це збільшує контактний опір, підсилює нагрівання і швидко виводить електродотримач з ладу. Кріплення електродотримачів до несучої конструкції виконується на міканітових прокладках для електричної ізоляції. Струм до електродотримачів підводиться уздовж каретки за допомогою мідних шин, укріплених на ізоляторах. Один кінець шин з'єднується з кабелями, а інший з гнучким пакетом мідних стрічок, приєднаних до електродотримача.

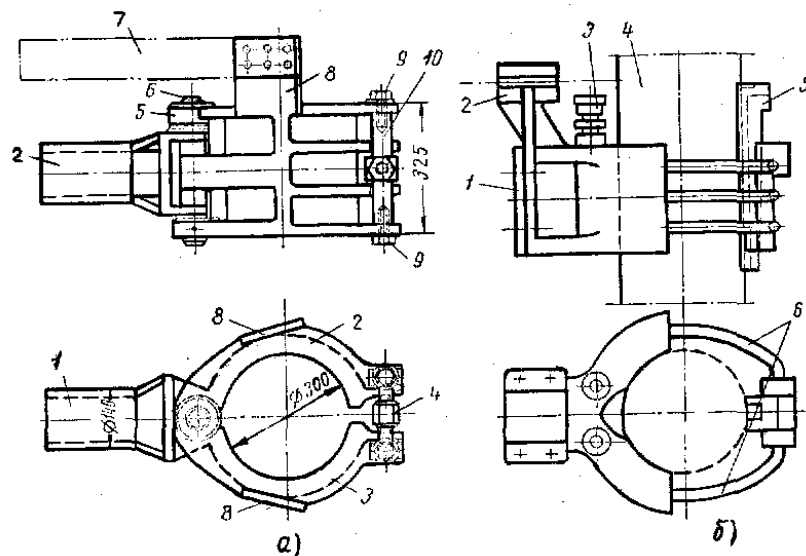


Рисунок 1.4 – Електродотримачі: *а* – кліщовий; *б* – клиновий

З трансформаторного приміщення до печі струм підводиться гнучкими кабелями, що утворюють петлю для можливості пересування кареток електродотримачів і нахилу печі. Застосовуються пустотілі кабелі з азбестовою ізоляцією перерізом до 500 мм². При цьому на кожен фазу в потужних печах підводиться до двох десятків кабелів. Щоб уникнути зіткнення один з одним, кабелі окремих фаз скріплюються дерев'яними колодками. В конструкції електропроводки до електропечі є багато контактів, які вимагають постійного нагляду – підтяжки й очищення від оксидів. Особливо ретельно потрібно стежити за пакетом мідних стрічок, які приєднуються до електродотримача, тому що він піддається дії гарячих газів, що прориваються з печі.

Охолоджувачі електродів (економайзери). Охолоджувачі електродів служать для ущільнення кільцевої щілини в склепінні навколо електрода. Охолоджувачі електродів виготовляються литими або звареними з водяним охолодженням. На рис. 1.5 показані різні види охолоджувачів. Щоб уникнути замикання струмів, що наводяться, кільця охолоджувачів робляться розрізними. Охолоджувачі можуть міститися на поверхні склепіння чи утоплюватися в його кладку. Для кращого ущільнення в останніх конструкціях охолоджувачів застосовується набивка зі зволоженої шлакової вати з добавкою невеликої кількості вогнетривкої глини. Для обслуговування електродів і електродотримачів над склепінням установлюється зварений місток із поручнями, які спираються на склепінне кільце або на верхню частину кожуха.

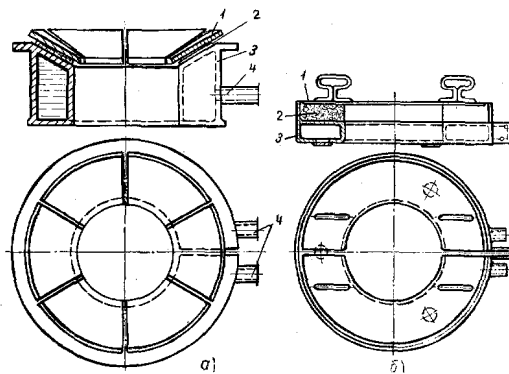


Рисунок 1.5 – Охолоджувачі електродів: *а* – з ущільнюючими секторами *б* – з ущільненням шлаковою ватою

Механізація завантаження дугових печей. Механізація завантаження печей найбільш ефективно здійснюється через знімне склепіння. При цьому шихта завантажується в робочий простір печі, що відкривається. Застосовуються три системи печей: із склепінням, що відвертається; з від'їжджаючим склепінням; з від'їжджаючою ванною.

В печах зі склепінням, що відвертається, склепінне кільце кріпиться до масивної основи стійок електродотримачів, яка має конічний отвір. В цей отвір входить верхня частина колони, яка є поршнем гідравлічного циліндра. Для завантаження шихти в піч у циліндр нагнітається масло, і колона разом зі стійками електродотримачів і склепінням трохи піднімається, а потім відвертається убік, так що простір над піччю звільняється. Існують конструкції подібних пристроїв і без гідравліки на електроприводі. Конструкція печей із склепінням, що відвертається, дуже компактна, але вимагає дуже якісного виконання, тому що колона і склепіння при підйомі сприймають великі згинаючі зусилля.

В печі з від'їжджаючим зводом стійки з каретками і зводове кільце кріпляться на металевій конструкції у вигляді моста. Зводове кільце підвішується на ланцюгах. Вся конструкція може пересуватися по рейках уздовж прольоту. При завантаженні спочатку піднімається звід, а потім міст із зводом і стійками електродотримачів від'їжджає убік. Перевагою цієї конструкції є простота у виготовленні й обслуговуванні, хоча вона і більш громіздка. Недолік такої конструкції – необхідність мати довгі струмопровідні кабелі, тому що електродотримачі від'їжджають на значну відстань.

Останнього недоліку позбавлена піч з від'їжджаючою ванною. Тут зберігається така ж металева конструкція у вигляді моста для стійок електродотримачів і підйому склепіння, але вона нерухомо закріплена на механізмі нахилу печі, а ванна виїжджає з-під зводу під завантаження. У положенні ванни під зводом вона закріплюється на механізмі нахилу.

В світі найбільш поширеною є остання конструкція електропечей. Завантаження печі робиться за допомогою спеціальних корзин із дном, що

відкривається, і займає всього 3 – 5 хв. Втрати теплоти ванною і зводом за цей час незначні.

Електричне устаткування дугових печей. Особливістю роботи дугових електропечей є те, що при великих споживаних потужностях вони працюють при низьких напругах – не вище 300 В. Тому поруч з електропеччю розміщується понижуючий трансформатор. Оскільки в процесі плавки потрібна зміна напруги на електродах, трансформатор має декілька ступенів напруги. До кожного з електродів підводиться одна фаза трифазного струму. Включаючи їх трикутником або зіркою, можна змінювати напругу на електродах. Особливістю роботи дугової електропечі є надзвичайно нерівномірне навантаження впродовж плавки і часті короткі замикання в період розплавлення твердої шихти. Для пом'якшення поштовхів струму при коротких замиканнях включається дросель і установка забезпечується системою захисту. Трансформатори конструюються так, щоб вони могли витримувати великі короткочасні перевантаження.

Кожна пічна установка забезпечується необхідними контрольними приладами й автоматикою для керування тепловим режимом роботи печі.

1.2.4. Розрахунок шихти. Розрахунок шихти методом підбору виконано згідно рекомендацій [7].

Баланс металу на 1 т придатних виливків зводимо до таблиці 1.5.

1.2.5. Устрій і робота плавильного відділення. Плавильне відділення розташоване з торцевої сторони ливарного цеху. Шихтові матеріали, які поступають на склад по залізниці, розвантажуються на спеціальний майданчик вздовж колії. Металева шихта з відкритих вагонів розвантажуються мостовим краном з магнітною шайбою. Зберігається шихта в закромах, які заглиблені відносно пола складу на 4 м. Доставка металевої шихти до місця її зберігання для подальшого завантаження в плавильні печі робиться також за допомогою мостового магнітного крана. Флюси завантажуються мостовим грейферним краном в спеціальні ємності.

Таблиця 1.5 - Баланс металу СЧ200 на 1т придатних виливків

Компоненти	%	т
Придатна частина		
Чавун ливарний	43,22	0,748
Лом сталъний	4,99	0,086
Лом чавунний	11,37	0,197
Феросиліцій	3,6	0,062
Феромарганець	0,6	0,010
Відходи власного виробництва	36,22	0,627
Всього по придатній частині	100,00	1,731
Витратна частина		
Ливники	30,33	0,525
Брак	2,89	0,050
Зливи і сплески	3	0,052
Всього відходів	36,22	0,627
Угар і безповоротні втрати	6	0,104
Придатне литво	57,78	1,000
Всього по витратній частині	100,00	1,731

Біля плавильних печей розташовано бункери для шихтових матеріалів і флюсів. Металева шихта із бункерів поступає в вагові дозатори (печі оснащено установкою для зважування шихти).

Завантаження печей металозавалкою здійснюється мостовим краном вантажопідйомністю $Q = 20$ т, оснащеного магнітною шайбою. Для обслуговування печей, транспортування рідкого металу від них до заливальної ділянки застосовується мостовий кран $Q = 20$ т.

Вогнетривка футерівка виконується вогнетривкою цеглою на розчині, шамотна футерівка має 25...30 % вогнетривкої глини і 70...75 % молотого

шамоту або кварцового піску. Подину набивають формувальною сумішшю. Після ремонту футерівку сушать.

1.2.6. Вибір ковшів. Для транспортування рідкого металу від плавильних агрегатів використовуються кранові барабанні ковші місткістю 1000 кг згідно рекомендацій [4]. Приймаємо 8 ковшів з урахуванням запасних і тих, що знаходяться в ремонті. Дані про вибрані ковші приведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

Ковшове господарство цеху

Тип ковша	Місткість, кг	Кількість
Крановий барабанний ківш	1000	8

1.3. Формувально заливно вибивне відділення

При виробництві виливків використовується автоматична формувальна лінія моделі ІЛ 225 [9], технічна характеристика якої приведена в таблиці 1.7.

Комплексна автоматична лінія формування й вибивання на базі прохідних однопозиційних пневматичних важільних пресових автоматів модель ІЛ 225, яка виробляється Івано-Франківським заводом "Авто-литмаш", показано на рис. 1.6. Ця лінія, а також 19 її модифікацій призначені для виготовлення виливок із сталі й чавуну в одноразових формах.

Лінія складається (рис.1.6) з формівних пресових автоматів 1, 2 для нижніх і верхніх півформ, механізму свердління вентиляційних отворів 3, кантувача нижніх півформ 4, механізму зрізання зайвої суміші 5, кантувача на 360° верхніх півформ 6, складальника форми 7, укладача форм на підпочні плити 8, механізму піднімання підпочних плит 9, механізму скріплення форм роликами 10, роликового приводного конвеєра 11, механізму опускання підпочних плит 12, механізму видавлювання форм 13, інерційної вибивної решітки 14, штовхачів, розміщених над роликовими

конвеєрами 15, розпаровника порожніх опок 16, кантувача порожніх опок 17 і механізму зачищення опок 18.

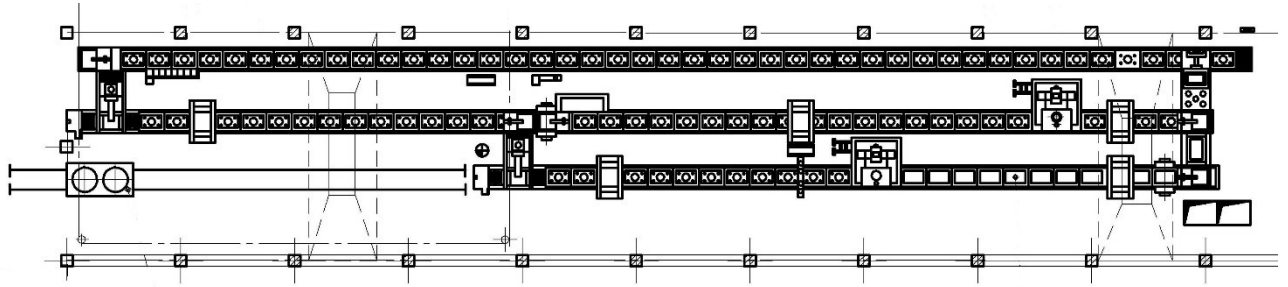


Рисунок 1.6 - Комплексна автоматична лінія моделі ІЛ 225

Форми виготовляють методом верхнього пресування на пневматичних важільних формівних автоматах. Рівномірність густини суміші досягається тим, що для пресування застосовується багатоплунжерна головка і вібрація суміші під час пресування. Роликові конвеєри, які з'єднують агрегати лінії, є нагромаджувачами. Швидкість, яку забезпечують роликові конвеєри, в 4,5 рази перевищує технологічно необхідну, тому оброблені предмети (опоки, півформи, форми) швидко передаються до нового агрегату, що забезпечує безперебійну роботу агрегатів.

Таблиця 1.7

Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії моделі ІЛ 225

Назва характеристики	Числове значення
Розміри опок /внутрішні/, мм	900 × 600 × 125-250
Продуктивність, форм/год	240
Маса виливки, кг	60
Кількість опок	100
Виграти повітря, м /год	110
Потужність, кВт	115
Маса, кг	220000
Габаритні розміри, мм	65200 × 9300 × 6855

Роликові конвеєри складаються з окремих уніфікованих секцій довжиною 4,5 і 6 м. Електропривод роликових конвеєрів складається з електродвигуна, черв'ячного редуктора і фрикційної муфти. На кожному валу на шпонках встановлено фрикційні диски, між якими за допомогою тарілчастих пружин затиснено приводні зірочки, що захищає привод від поломок.

1.4. Стержневе відділення

Оскільки за номенклатурою стержнів їх маса не перевищує 7 кг, приймаємо універсальний автомат для виготовлення стержнів моделі 4509А. Стержні виготовляються у гарячих ящиках з швидко твердіючих термореактивних сумішей, це дає можливість підвищити точність стержня, а відповідно і точність виливків. Зменшення ливарних припусків дозволяє зменшити витрати на механічну обробку. Крім того, зникає необхідність у виготовленні каркасів, в громіздких (що займають великі площі) сушильних агрегатах, зростає продуктивність одиниці площі [8]. Технічна характеристика автомату приведена в табл. 1.8 .

Таблиця 1.8

Технічна характеристика пікострільного автомату моделі 4509А

Назва характеристики	Величина
Найбільша маса стержня, кг	7
Продуктивність, зйомів/год.	70...94
Розміри стержневого ящика, мм	800×630×450
Тривалість циклу, с	95
Ємність робочого резервуара, л	25
Потужність електродвигуна, кВт	140
Габарити, мм	3600×2600×3000
Маса, кг	13000

Стержневий автомат мод. 4509А показано на рис. 1.7.

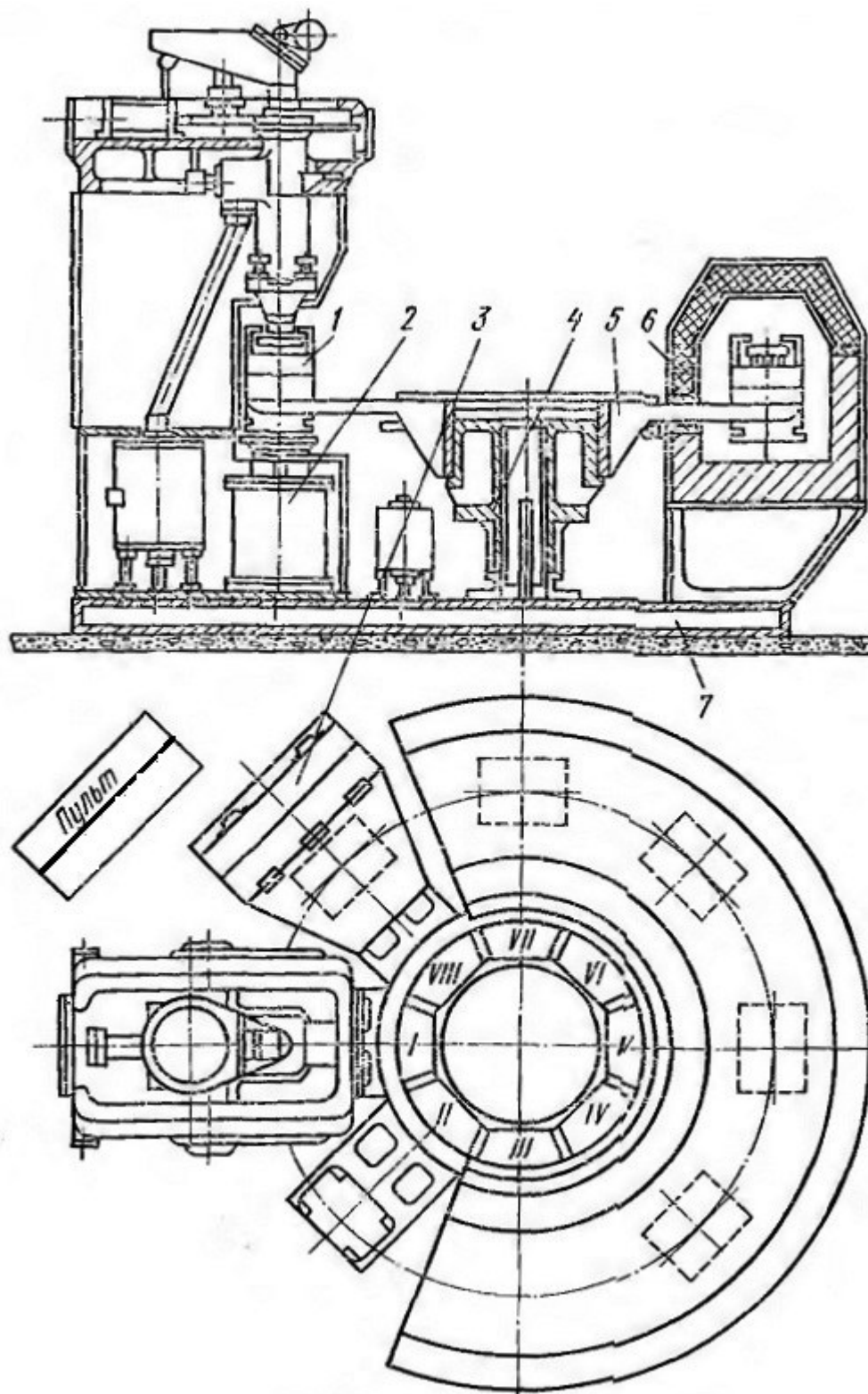


Рисунок 1.7 - Стержневий автомат мод. 4509А

1.4.1. Устрій і робота стержневого відділення. Стержнева суміш до стержневих автоматів моделі 4509А із сумішеприготувального відділення за допомогою стрічкового конвеєра передається безпосередньо в бункери для

роздачі, що розташовані над стержневими автоматами. На території ділянки є спеціальне місце, на якому зберігають стелажі з готовими стержнями.

Технологічний процес виготовлення стержнів по гарячій оснастці полягає в тому, що стержнева суміш, яка заповнює порожнину попередньо нагрітого стержневого ящика, на протязі 15 - 60 с твердіє. Отриманий стержень не потребує додаткової сушки, а його міцність достатня для транспортування і простановки в форму. Головна особливість технологічного процесу виготовлення стержнів по гарячій оснастці полягає в тому, що отримані стержні володіють високою міцністю.

На позиції 1 здійснюється прижим стержневого ящика нагрітого до 180 - 270°C до пісcomетної голівки і заповнення його сумішшю. Позиція 2 передбачена вільною для переналагодження автомата і заміни стержневих ящиків. На 3 - 4 позиціях стержні затвердівають в ящиках, які знаходяться в нагрівальній печі. На позиції 8 виконується розкриття стержневого ящика, видалення готового стержня і обдув внутрішньої порожнини ящика стиснутим повітрям.

Для очищення робочої поверхні ящика і покриття її роздільним складом машина має рухомі форсунки, які при русі уперед обдувають стиснення повітрям робочу поверхню розкритого ящика, а при русі назад – покривають її роздільним складом.

1.5. Сумішоприготувальне відділення

Для приготування формувальної суміші вибираємо змішувач ливарний типу бігунів періодичної дії з вертикальними котками моделі 15104 [10]. Технічна характеристика бігунів наведена у табл. 1.9.

Склад формувальної суміші приймаємо за необхідними вимогами [12] (табл. 1.10).

Таблиця 1.9

Технічна характеристика змішувача моделі 15104

Назва характеристики	Величина
Об'єм замісу, т	2,0
Продуктивність, м ³ /год	40...60
Розміри чаші, м – висота × внутрішній діаметр	1130 × 2540 ± 13,5
Кількість котків, шт	2
Частота обертання вертикального вала, об/хв	29±3
Продуктивність витяжної вентиляції, м ³ /год	6000
Габаритні розміри, мм:	3850×3150×3250
Маса змішувача, кг	11000

Таблиця 1.10

Склад і фізико-механічні властивості формувальної суміші

Складова суміші і параметри	Значення параметру
Зворотня суміш, %	96
Пісок кварцевий КО2, КО16, %	3
Вугілля гранульоване, %	0,15
Бентоніт, %	0,15
Вода, %	до вологості 3,0 - 4,0
Вміст глиняної складової, %	11
Вміст активного бентоніту, %	8
Втрати при прожарюванні %	3
Вологість, %	3,5
Міцність на стиснення у сирому стані, МПа	0,12 - 0,15
Газопроникність, одиниць	80
Плинність (по Орлову), одиниць	80

Для приготування стержневої суміші приймаємо змішувач ливарний типу бігунів моделі 15101, технічна характеристика якого наведена в табл. 1.11.

Таблиця 1.11

Технічна характеристика бігунів моделі 15101

Назва характеристики	Величина
Місткість замісу, м ³	0,3
Час перемішування, хв	15
Продуктивність, м ³ /год	1,5
Потужність, кВт	15
Габарити, мм	2000×1865×2895
Маса, кг	4000

Склад стержневої суміші приймаємо за необхідними вимогами [12] (табл. 1.12).

Таблиця 1.12 – Склад стержневої суміші і фізико-хімічні властивості

Складові суміші і властивості	Значення параметра
Пісок кварцевий, %	95,24
Смола СФ, %	3,54
Каталізатори М1, %	0,7
Гас, %	0,52
Керосин освітлювальний, %	0,62
Газопроникність, одиниць	80
Міцність на стиснення у сирому стані, МПа	0,005 - 0,01
Вологість, %	1,8-2,8

1.5.1 Устрій і робота сумішоприготувального відділення. Сумішоприготувальне відділення розташоване біля формувальної і стержневої дільниць. Змішувачі обладнують бункерами для сипучих і рідких компонентів. Матеріали подаються за допомогою стрічкового конвеєра. Відпрацьована суміш з-під вибивної решітки автоматичної формувальної лінії поступає на конвеєр, на якому збирається просип з формувальних машин, просіюється на барабанному решеті, підлягає електромагнітній сепарації і після цього охолодженою до $T = 38 - 40$ °С і зволоженою поступає у змішувач для приготування формувальних сумішей.

Стержнева суміш складається з сухого кварцового піску, термореактивного зв'язуючого матеріалу, каталізатора і незначної кількості інших добавок, які покращують технологічні властивості суміші. В якості зв'язуючого матеріалу застосовують карбамідно-фуранові смоли, які представляють собою продукт з'єднання карбамідної смоли з різною кількістю фурилового спирту.

Каталізатор – розчин мінеральних чи органічних кислот і солей – значно прискорює затвердіння суміші при нагріванні.

В якості добавок застосовують окис заліза, графіт, стеарат кальцію і рідке скло. Окис заліза підвищує теплопровідність суміші, графіт сріблястий виконує роль вогнетривкого наповнювача, інші добавки – зменшують припасність і підвищують текучість суміші.

1.6. Очисне відділення

В числі витрат праці по виготовленню виливків очисні операції складають до 40%, причому в очисних відділеннях застосовується найбільша кількість ручної праці.

У очисному відділенні виконуються операції щодо видалення стержнів з виливків, обрізання ливниково-живильної системи, зачистки, обрубки.

У відділенні повинні бути робочі місця для остаточного контролю, комплектування і вивозу виливків. Для очистки та охолодження виливків із сталі 35Л приймаємо галтовочний барабан безперервної дії моделі ОБ-90 [4]. Технічна характеристика барабана наведена у табл. 1.13.

Таблиця 1.13

Технічна характеристика галтовочного барабана моделі ОБ-90

Назва характеристики	Величина
Продуктивність, т/год	3,5
Об'єм завантаження, м ³	1,8
Габаритні розміри, мм	3500×1650×1500
Маса, т	3,9
Потужність електродвигуна, кВт	7,5

Також для очистки виливок застосовуємо дробометну камеру моделі 86414,
Технічна характеристика дробометної камери наведена в таблиці 1.14.

Таблиця 1.14

Технічна характеристика дробометної камери

Продуктивність камери, т/год	10
Максимальна вага виливок	12
Дробометний апарат	
Число обертів за хвилину	2500
Діаметр дробу, мм	1,5 : 2,0
Електродвигун А02-62-4	
Потужність, кВт	17
Число обертів за хвилину	1450
Ремінна передача, 5-ти струмкова	$i = 175$
Елеватор	
Швидкість руху ленти, м/хв.	75,8
Виробництво, т/год	24,0
Шаг ковшів, мм	300
Об'єм ковша, м ³	0,003
Лента:	
Ширина, мм	160
Довжина, мм	15000
Електродвигун А02-21-4	
Потужність, кВт	2,8
Кількість обертів за хвилину	1440
Редуктор РМ-250	$i = 23,34$
Сито просіву дробу	
Кількість обертань барабану сита за хвилину	30
Електродвигун А02-21-4	
Потужність, кВт	1,1
Кількість обертань за хвилину	1400
Редуктор РМ250	$i = 31,5$
Шаг шнека, мм	250
Конвеєр підвісний цепний	
Швидкість конвеєра, м/хв.	1
Розгорнута довжина траси, м	199,5
Шаг підвісок, мм	800
Кількість підвісок	249
Електродвигун А02-32-4	
Потужність, кВт	3
Кількість обертань за хвилину	1430
Редуктор РМ350	$i = 31,5$

Для зачистки виливків від залишків ливниково-живильної системи та облою приймаємо зачисні станки моделі 3М634 [10]. Технічна характеристика наведена в табл. 1.15.

Таблиця 1.15

Технічна характеристика зачисного станка моделі 3М634

Назва характеристики	Величина
Зернистість	80 - 125
Продуктивність, т/год	0,5 - 0,6
Частота обертання шпинделя, об/хв	955 - 1425
Потужність електродвигуна, кВт	7,5

1.7. Ґрунтування виливків

У масовому та крупносерійному виробництві ґрунтовка виконується на конвеєрі, який об'єднує всі фарбувально-сушильні агрегати. До таких агрегатів відносяться: миюча машина (табл. 1.16), прохідна фарбувальна камера (табл. 1.17), прохідна сушильна камера (табл. 1.18)

Для транспортування дрібних виливок до 10 кг рекомендуються набірні касети на 2 - 8 виливок або корзини.

Таблиця 1.16

Технічна характеристика миючої машини

Назва характеристики	Величина
Продуктивність, кг/хв	70
Тривалість промивки виливків ,хв	10
Температура миючої рідини, °С	90
Габаритні розміри виливків, мм	425×315×250
Ємність ванни, м ³	3,3
Швидкість руху виливків через камеру, м/хв	0,65
Потужність електродвигуна, кВт	11,4

Таблиця 1.17

Технічна характеристика прохідної фарбувальної камери

Назва характеристики	Величина
Розмір фарбованих виливок, мм Довжина × ширина × висота	370×360×250
Кількість відсмоктувального повітря, Нм ³ /год	8000
Потужність, кВт	4,7
Загальна вага, кг	897

Таблиця 1.18

Технічна характеристика сушильної прохідної камери

Назва характеристики	Величина
Максимальний розмір виливків, мм довжина × ширина × висота	2700×800×500
Температура сушки, °С	90
Продуктивність камери, кВт	10,2
Загальна вага, кг	20760

1.8. Допоміжні відділення

До допоміжних відділень ливарного цеху відносяться:

- 1) Склади шихтових, формувальних та допоміжних матеріалів;
- 2) Ковшове відділення, де проводиться поточний ремонт ковшів, а також підготовка їх до роботи;
- 3) Модельно-ремонтна майстерня, яка забезпечує нормальне функціонування модельного оснащення;
- 4) Цехові комори, в яких зберігаються різного виду допоміжні матеріали, інструменти;
- 5) Цехові лабораторії: формувальних матеріалів і сумішей, хімічна, спектральна, механічних випробувань та ін.;

- 6) Ремонтно-механічна майстерня, яка виконує поточний і середній ремонт обладнання цеху;
- 7) Санітарно-технічна майстерня, в якій виконується поточний та середній ремонт, а також підтримується нормальне функціонування водопроводів, каналізації, опалення і вентиляції цеху;
- 8) Електрична майстерня, яка виконує поточний і середній ремонт, а також забезпечує нормальне функціонування електрообладнання і освітлення цеху;
- 9) Дільниця регенерації суміші.

Для дільниці регенерації суміші вибираємо барабанні решета і електромагнітні сепаратори. Приймаємо барабанні решета моделі 176М, характеристика яких наведена в табл. 1.19.

Таблиця 1.19

Технічна характеристика барабанного решета моделі 176М

Назва характеристики	Величина
Продуктивність, м ³ /год	30
Частота обертання, об/хв	23
Потужність, кВт	5,5
Маса, кг	1730
Габарити, мм	3700×1860×1700

Дільницю регенерації формувальної суміші зазвичай розміщують у підвальному приміщенні цеху

1.9. Висновки по розділу

1. Обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху.
2. Описано роботу плавильного, формувально заливно вибивного, стержньового, сумішоприготувального, очисного відділень, дільниць обрубки та ґрунтовки виливків, складів шихтових матеріалів, модельного оснащення та готової продукції, відділу технічного контролю та лабораторії, адміністративних та побутових приміщень.

3. Для плавки металу було обрано дугові електропечі ДСП-10 ємністю 10т. Описано будову печі, наведено її технічні характеристики.
4. Для виготовлення форм обрано автоматичні ливарні лінії ІЛ-225. Описано будову лінії та її технічні характеристики.
5. Для виготовлення стержнів обрано стержневі автомати 4509А. Описано будову стержневого автомата та його технічні характеристики.
6. Для відбивання ливників та очистки поверхні відливків застосовується галтувальний барабан ОБ-90, очистка поверхні здійснюється також в дробометній камері мод. 86414, зачистка залишків ливників виконується на обдирно-шліфувальних верстатах мод. 3М634.

2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В ПІЩАНО-ГЛИНИСТУ ФОРМУ ВИЛИВКА «КРОНШТЕЙН СТА-202»

2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок

Деталь – це виріб, виконаний із однорідного матеріалу без використання збірних або монтажних операцій. Виливком називається деталь, отримана безпосередньо литтям металу в спеціальну форму, в якій проходить кристалізація.

Деталь – кронштейн СТА - 202 (додаток МР-8.131.23.05.02.01.00) виготовляється литтям у піщано-глинисту форму з сірого чавуну, хімічний склад та механічні властивості якого приведені в табл. 1.1 та 1.2. Виливок відноситься до XI класу точності за ГОСТ 26645 – 85, виготовляється із СЧ 200 за ДСТУ 8833:2019 [1]. Різностінність не більше 3 мм, короблення не більше 2 мм, перекіс по роз'єму до 2 мм. На оброблюваних поверхнях допускаються одиничні раковини довжиною не більше 1/3 кола, шириною не більше 5 мм, або мілкі раковини найбільшим розміром 3 мм в кількості не більше 5 штук. На необроблюваних поверхнях допускаються одиничні раковини розміром не більше 9 мм, глибиною не більше 4 мм і в кількості не більше 8 штук на поверхню. У місцях спряження стержня і форми допускається присутність кільцевих заусениць довжиною до 1,5 мм.

Деталь «Кронштейн» представляє собою частину пристрою, який призначено для транспортування важких вантажів. Маса деталі 1,86 кг, габаритні розміри 320 x 120 x 48,5 мм, твердість 131...157 НВ.

Оброблюваними поверхнями являються посадкові місця на вал, торцеві поверхні отворів. Інші поверхні не оброблюються. Даний виливок є технологічним. Зовнішні поверхні виливка представляють собою прямолінійні контури, з'єднані плавними переходами, які забезпечують деяку деформацію виливка при його усадці під час охолодження у формі і зниження залишкових напружень в місцях спряження прямолінійних ділянок. Виливок має чотири стержні, немає з'єднаних частин, роз'єм моделі і форми один.

На поверхнях, які є базовими не повинно бути раковин, заливів, неметалічних включень, вони повинні бути чистими. На оброблюваних поверхнях вилівка допускаються одиничні раковини, неметалічні включення в кількості не більше 4 шт., діаметром не більше 1 мм, глибиною не більше половини припуску на механічну обробку, відстань між дефектами не менше 10 мм.

Допуск зміщення вилівка по площині роз'єму – 0,5 мм. На поверхнях, які не обробляються, допускаються одиничні ливарні дефекти, які не перевищують глибини в 0,5 припуску на механічну обробку.

2.2. Послідовність розробки технологічного процесу виготовлення вилівка

Перш ніж приступити до розробки технологічного процесу виготовлення вилівка потрібно проаналізувати і досконально вивчити його конструкцію та технологічні вимоги. Після того, як був виконаний аналіз, необхідно визначити положення вилівка у формі в період заливки і затвердівання, поверхні роз'єму форми, встановити величину припусків на механічну обробку і усадку, радіуси скруглень і ливарні уклони, послідовність встановлення стержнів, розміри стержневих знаків, способи кріплення стержнів у формі, роз'єм стержневого ящика та напрям набивки стержня, місце підведення металу у форму та конфігурацію ливниково-живильної системи, кількість і розташування виливків у формі з урахуванням габаритів опок.

2.2.1. Визначення положення вилівка у формі

Положення вилівка у формі в період заливки вибираємо таким чином, щоб циліндричні поверхні розташовувались вертикально, так як оброблювані поверхні – посадочні місця на валу – повинна бути розташовані вертикально, для запобігання отримання раковин, дефектів через забруднення, рихлості.

Поверхня роз'єму моделі і форми при цьому займає горизонтальне положення і являється єдиною для даного виливка, що полегшує застосування машинної формовки. Поверхня роз'єму розташовується так, що модель не має з'ємних частин. Роз'єм моделі і форми розташовується таким чином, що виливок знаходиться в нижній і верхній напівформах симетрично. Такий роз'єм забезпечує хорошу набивку форми, її складання, надійність встановлення стержнів, зручність контролю розмірів форми, вільне вилучення моделі із форми.

2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків

Розміри виливка відрізняються від розмірів готової деталі на величину припусків на механічну обробку. Величину припусків для СЧ 200 вибираємо по ГОСТ 26645-85. На кресленні межі припусків обводяться тонкою лінією червоного кольору (додаток МР-8.131.23.05.02.01.00) і вказується величина припуску, яка по ГОСТ 26645-85 для даної деталі складає 1 мм [4].

Припуск на ливарну усадку виражається у відсотках від розміру виливка. Значення величини ливарної усадки для СЧ 200 вибираємо з [2].

Для середніх виливків вільна усадка рівна 2 %. Величину радіуса заокруглень вибираємо в межах $1/5 \dots 1/3$ середнього арифметичного товщини спряжених стінок. Для даного виливка радіус заокруглень складає 2 мм. Мінімальні радіуси заокруглень вибираємо із [3].

Радіуси заокруглень проставляємо на кресленні деталі (додаток МР-8.131.23.05.02.01.00), не вказані радіуси вказуємо на вільному полі креслення.

Формувальні ухили назначаємо в залежності від ливарних розмірів виливка і прийнятої технології виготовлення форми і стержня у відповідності з ГОСТ 3212-57. Величини мінімальних формівних ухилів вибираємо із [4]. Для даного виливка, величина ухилу складає 3° . Величини

ухилів вказуємо на кресленні, не вказані ухили проставляємо на вільному полі креслення.

Розміри стержня вибирають з урахуванням припуску на механічну обробку і ливарну усадку (додаток МР-8.131.23.05.02.01.00). Розміри стержньових знаків вибираємо у відповідності з ГОСТ 3606-57 із [3]. В залежності від номінального розміру отвору і відношення довжини отвору до цього розміру вибираємо вертикальні знаки стержнів довжиною 16 мм [4].

Величину зазорів між знаками і формою вибираємо в залежності від максимального розміру стержня [4]. Для горизонтального знака бокові зазори рівні 0,1 мм, торцевий зазор 0,2 мм.

Місце підведення металу у форму вибираємо по поверхні роз'єму до плоскої бічної поверхні виливка. Для рівномірного заповнення форми металом використовуємо два живильника. Таким чином, ливниково-живильна система буде складатись з ливникової чаші, стояка, шлаковловлювача та живильників (по два на кожен вилівок) (додаток МР-8.131.23.05.02.01.00).

З урахуванням розмірів опок 900х600х100, приймаємо чотири виливка на форму, які розташовуємо симетрично центральним осям опоки (додаток МР-8.131.23.05.02.05.00).

2.2.3. Розробка креслень модельно-ливарних вказівок

Креслення модельно-ливарних вказівок розроблено на основі креслення деталі Кронштейн СТА-202. Технологічне креслення – це креслення з технологічними зазначеннями у відповідності з ГОСТ 3.1125. На кресленні деталі слід вказати:

- розташування виливка у формі в період заливки та затвердіння;
- величину припуску на механічну обробку;
- поверхні роз'єму моделі та форми;
- границі стержнів та зазори;
- місце установки, розміри елементів ливниково-живильної системи;

- місце установки, розміри та конфігурація підживлювачів.

Розташування проєкції креслення виливка повинно відповідати положенню його при заливці форми металом. На кресленні виливка вказують величину припуску на механічну обробку. Отвори, які не виконують литтям, закреслюють суцільною лінією. На кресленні деталі виливка, відповідно ГОСТу, наносять елементи ливарної форми. Роз'єм виливка та форми показаний прямим відрізком, над яким проставляють літери РМФ. Всі елементи наносяться відповідно до ГОСТ 2.423.

Припуски на механічну обробку зображуємо суцільною тонкою лінією, величину припуску вказують цифрою перед знаком шорсткості поверхні, або величиною уклону та ливарними розмірами.

Позначення шорсткості поверхні та правила нанесення їх на креслення виливка здійснюють згідно з ГОСТ 2.309. Якщо шорсткість всіх поверхонь однакова, то вона повинна позначатись в правому верхньому куті креслення.

Зображення ливникової системи підживлювача та нанесення розмірів виконують за ГОСТ 2.423. Ливникову систему зображують на кресленні модельно-ливарних вказівок в масштабі креслення суцільною тонкою лінією. Площу перерізу елементів не штрихують, в кожному перерізі елементів допускається вказувати площу перерізу (см²), кількість елементів, сумарну площу.

2.3. Розрахунок та конструювання ливниково-живильної системи

2.3.1. Основні положення при конструюванні ливниково-живильної системи

Ливниково-живильна система складається з послідовно з'єднаних каналів між собою, за допомогою яких рідкий метал підводять у порожнину ливарної форми. Зазвичай ливникова система складається з: ливникової чаші або воронки, стояка, шлаковловлювача та живильника. Живильники безпосередньо примикають до ливникової порожнини та повинні бути виконані так, щоб вони

забезпечували плавне заповнення порожнини форми металом, і щобживильники можна було б відокремлювати від виливка не пошкоджуючи його.

2.3.2. Вибір місця підводу металу

Місце підводу металу вибираємо збоку по поверхні роз'єму. При такому підводі розплав заповнює ливарну порожнину більш рівномірно, окисні плівки спливають доверху та поверхня виливка стає більш чистою та гладкою. Прийнята система забезпечує герметичність виливка і широко використовується для виливків даної конфігурації.

2.3.3. Визначення габаритних розмірів опоки.

Габарити опок визначаються габаритами виливка, числом виливків в одній опоці, розмірами ливникової системи, правильністю розміщення моделей на підмодельній плиті. Правильність розміщення моделей на підмодельній плиті для даного розміру опок визначається коефіцієнтом металоємності, тобто співвідношення загальної ваги металу у формі до ваги формівної та стержньової маси опоки. Коефіцієнт металоємності залежить від складності, товщини тіла і габаритів виливка і знаходиться у межах 0,25...1,2.

Відстань між окремими моделями дорівнює $(0,3...0,5) \cdot h$, де h – висота моделі у верхній та нижній напівформах, відстань від моделі до верху форми та від моделі до низу форми. При формовці в одній опоці декількох виливків, залитих через загальну ливникову систему, відстань в площині роз'єму між ними повинна бути не менше 20...25 мм [4]. Відстань від тіла виливка до стінок опок складає 50...100 мм, від стержньового знаку до бокової стінки опоки не менше 50 мм.

Відстань від моделі до верхньої і нижньої площин рівна 50...60 мм [4]. Враховуючи, що для виготовлення виливка застосовуємо автоматичну лінію ІЛ-225, з розмірами опоки 900×600×100 мм приймаємо кількість виливків в одній опоці рівним 4 шт.

2.3.4. Визначення оптимальної тривалості заливки.

Ливникова система складається з послідовно з'єднаних між собою каналів за допомогою яких розплавлений метал підводиться у ливарну порожнину форми.

Оптимальна тривалість заливки визначається за формулою [1]:

$$t = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot C_1}, \quad (2.1)$$

де S_1 – коефіцієнт, $S_1 = 2$ [4];

δ – середня товщина стінок виливка, $\delta = 8$ мм;

C_1 – вага однієї виливки з ливниковою системою, кг

$$C_1 = C_\theta + 0,4 \cdot C_\theta \quad (2.2)$$

$$C_1 = 1,86 + 0,3 \cdot 1,86 = 2,418 \text{ кг}$$

Тоді:

$$t = 2 \cdot \sqrt[3]{8 \cdot 2,418} = 5,4 \text{ сек}$$

Середня швидкість рівня підйому металу у формі визначається по формулі:

$$V = \frac{C}{t}, \quad (2.3)$$

де C – висота виливка, мм;

t – оптимальна тривалість заливки, сек.

$$V = \frac{48,5}{5,4} = 9,0 \text{ мм / сек.}$$

Оптимальна тривалість заливки забезпечує необхідну швидкість підйому рідкого металу у формі [2].

2.3.5. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.

Загальна площа живильників на один виливок:

$$\sum F_{ж} = \frac{G \cdot 1000}{\mu \cdot t \cdot \gamma \cdot \sqrt{r \cdot g \cdot H_p}}, \quad (2.4)$$

де G – вага одного виливка, з ливниками і т.п., кг;

μ – коефіцієнт витрат металу, $\mu = 0,4$ [1];

g – прискорення вільного падіння, см/с²;

H_p – середній метало статичний тиск, см.

Середній метало статичний тиск визначаємо за формулою:

$$H_p = H_0 - \frac{p^2}{2c}; \quad (2.5)$$

де H_0 – висота металу в чаші, $H_0 = 100$ мм;

p – висота виливка над рівнем підйому металу, $p = 24,25$ мм;

c – загальна висота виливка, $c = 48,5$ мм.

$$H_p = 100 - \frac{24,25^2}{2 \cdot 48,5} = 93,94 \text{ мм} = 9,4 \text{ см}$$

$$F_{ж} = \frac{2,418 \cdot 1000}{0,4 \cdot 5,4 \cdot 7,1 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 9,4}} = 1,15 \text{ см}^2$$

Оскільки в формі чотири виливка , то:

$$\sum F_{жс} = F_{жс} \cdot 4 = 1,15 \cdot 4 = 4,6 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу живильника трапецію (додаток МР-8.131.23.05.02.01.00).

Розраховуємо площу шлаковловлювача за співвідношенням:

$$\sum F_{жс} : \sum F_{шл} : \sum F_{ст} = 1 : 1,15 : 1,2 \quad (2.6)$$

$$\sum F_{шл} = \sum F_{жс} \cdot 1,15 = 4,6 \cdot 1,1 = 5,06 \text{ см}^2.$$

Тоді площа перерізу одного шлаковловлювача:

$$F_{шл} = \sum F_{жс} \cdot / 2 = 5,06 / 2 = 2,53 \text{ см}^2$$

Площа поперечного перерізу стояка:

$$F_{ст} = \sum F_{шл} \cdot 1,2 \quad (2.7)$$

$$F_{ст} = 4,6 \cdot 1,15 = 5,29 \text{ см}^2$$

Оскільки:

$$F_{ст} = \frac{\pi \cdot d_{ст}^2}{4} \quad (2.8)$$

Діаметр стояка:

$$d_{ст} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{ст}}{\pi}} \quad (2.9)$$

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,29}{3,14}} = 2,59 \text{ см}$$

Приймаємо $d = 26 \text{ мм}$.

Визначимо діаметр чаші:

$$D = (2,7 \dots 3) \cdot d_{cm.в} \quad (2.10)$$

$$D = 2,7 \cdot 26 = 70 \text{ мм}.$$

2.4. Опис процесу проектування ливарного оснащення

При крупносерійному і масовому виробництві для збільшення строку служби моделей, їх необхідно виготовляти металевими. Заготовки металевих моделей отримують литтям у піщані форми по дерев'яним моделям (промоделям). Промоделі виготовляються з припуском на механічну обробку моделі і виливки, а також з урахуванням усадки сплаву моделі. Модель виготовляється із сірого чавуна марки СЧ 200. Обробляються моделі вручну, припуск на механічну обробку виливка – 1 мм. Товщину тіла моделі визначають із номограми в залежності від габаритів моделі. З урахуванням малих габаритних розмірів виливка модель виливається суцільною. Після механічної обробки моделі монтуються на раніше підготовані промодельні плити. При монтажі напівмоделей на плити необхідно враховувати розміри опок. Контур опоки в світлі 900×600 мм. Таким чином обидві промоделі розташовуються на плиті так, щоб відстань від напівмоделей до країв складала не менше 300 мм. Ливникова система монтується у відповідності з кресленням ливникової системи. Кріплення моделей і ливникової системи виконується заклепками. Монтаж моделей на плитах виконується за допомогою монтажного шаблона, виготовленого з листової сталі товщиною 2...5 мм [15].

Модельні плити виготовляються із чавуна. Товщина плит складає 40 мм так як вони повинні витримувати навантаження при формовці. Робоча поверхня плит повинна бути оброблена. На підготовлені плити накладається

монтажний шаблон, встановлюються напівмоделі і просвердлюються отвори для кріплення. Напівмоделі являються кондукторами, отвори свердляться одночасно і в плиті і в моделі. Потім плита з отворами накладається на іншу плиту і в останній просвердлюють отвори. На плиту встановлюються напівмоделі і кріпляться гвинтами. Після кріплення моделей установлюється ливникова система. До плити для нижньої напівформи кріпляться моделі живильників, а на плиту верха – моделі шлаковловлювачів. Підмодельні плити повинні мати елементи спарювання з опоками. На одній плиті повинні бути: з однієї сторони – центруючий, з іншої – направляючий штирі. На другій плиті необхідно мати відповідно центруючий і направляючий отвори. Модельні плити на формувальній машині кріпляться за допомогою болтів.

Для виготовлення стержнів піскострільним способом застосовується алюмінієвий стержневий ящик. Заготовку ящика отримуємо литтям у піщані форми по дерев'яним моделям.

При виготовленні моделі ящика необхідно врахувати усадку алюмінієвого сплаву, яка складає 1,25 %. Також враховуємо припуск на механічну обробку ящика, який при токарно-фрезерувальних роботах складає 1,0...1,5 мм. Для визначення товщини тіла стержневого ящика необхідно знати габаритні розміри. Товщину стінок ящика визначаємо із номограми [16]. Для стержневих ящиків із алюмінієвих сплавів товщина стінок складає 10 мм. По таблицям [16] визначаємо товщину ребер жорсткості і радіус галтелей. При товщині стінок стержневого ящика 10 мм товщина ребер жорсткості складає 10 мм, а радіус галтелей рівний 5 мм. Стержневий ящик виливається у відповідності з розмірами і піддається механічній обробці. Площина роз'єму ящика шліфується для якісного прилягання обох половин ящика одна до одної. Половини ящика з'єднуються за допомогою штирів.

Для видалення повітря із ящика при виготовленні стержня, встановлюються венти. Розрахунок вент виконується із співвідношення:

$$\frac{F_{\text{вент}}}{F_{\text{вд.отв}}} = 0,1 \div 0,9, \quad (2.11)$$

де $F_{\text{вент}}$ – сумарна площа вент;

$F_{\text{вд.отв.}}$ – сумарна площа вдувних отворів.

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \cdot F_{\text{вд.отв}}$$

$$F_{\text{вд.отв}} = \frac{\pi \cdot 31^2}{4} = 750 \text{ мм}^2$$

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \cdot 750 = 300 \text{ мм}^2$$

Площа однієї вентри при діаметрі 6 мм дорівнює 28 мм². Звідси для забезпечення щільної набивки стержня необхідно на один вдувний отвір діаметром 31 мм мати 8 вент. Застосовуємо щільовидні прорізи у вентах.

2.5. Опис технологічного процесу виготовлення виливка

2.5.1. Вибір формувальної та стержньової суміші. У масовому і серійному виробництві рекомендується використовувати єдину формувальну суміш.

На автоматичній лінії ІЛ-225 використовується формівна суміш з підвищеною рідкоплинністю. Склад та механічні властивості формувальної та стержньової сумішей приведені у таблицях 1.10, 2.12.

2.5.2. Формовка. Весь процес формовки повністю автоматизований. За допомогою автоматичної лінії виконуються всі основні операції – ущільнення, видалення моделі з форми, установка стержнів тощо. Процес виготовлення форм в перших опоках іде таким чином:

Формувальна суміш подається в бункери встановлені над машиною. Порожні опоки подаються за допомогою рольгангів. Нижню і верхню напівформи виготовляють на різних машинах. Потім за допомогою дозатора заповнюють опоки формівною сумішшю з бункера. Далі суміш

ущільнюють, готову напівформу кантують, знімають надлишок суміші і виконують обдув форми. Потім напівформи транспортують на збирання.

2.5.3. Збирання форм. Точність збирання в значній мірі визначає точність геометричних розмірів виливки. В об'єм робіт по збиранню форми входять такі операції:

- 1) збирання форми;
- 2) спарювання верхньої та нижньої опок.

2.5.4. Заливка форм. Температура чавуну при заливці повинна бути 1320 – 1370°C. Заливка може виконуватись з рухомою і нерухомою формою. Розплавлений метал з дугової печі потрапляє у попередньо нагрітий ківш барабанного типу ємністю 1т, який транспортується краном. Цей ківш встановлюють на спеціальному стенді для подальшої роздачі металу в автоматичні заливщики.

Для заливки металу використовують автоматичний заливщик з двома ковшами ємністю 250 кг. Перед заливкою металу, потрібно видалити шлак з розливного ковша.

Під час заливки форми носок автоматичного заливщика металу повинен розташовуватись над ливниковою чашею на відстані 100 - 150мм. При заливці швидко заповнити металом ливникову чашу і тримати її заповненою до кінця заливки форми. Забороняється переливати чашу, недолив чаші дозволяється – 10мм. Заливка повинна бути безперервною.

2.5.5. Вибивка і обрубка. Залиті та охолоджені форми подаються на вибивний пристрій. Коливання решітки передається суміші і виливкам. В цих умовах суміш інтенсивно розсипається і проходить в щпарини решітки, та поступає на подальшу переробку. Виливки ковзають на пластинчатий конвеєр рухаючись по якому вони зовсім охолоджуються, подають в галтувальний барабан в якому відділяється ливникова система.

Потім виливки поступають в прохідну дробометну камеру де вони позбавляються від пригару. Після цієї операції виливки проходять зачистку від заусениць на наждачних верстатах.

Далі вони поступають на дільницю контролю де проходять проміжний контроль (по всіх стадіях технологічного процесу) і кінцевий. Перевіряють хімічний склад, структуру, геометричні розміри. Поверхневі дефекти визначають візуально.

Після проходження технічного контролю якості, виливки потрапляють у відділення ґрунтовки. Після ґрунтовки і сушки виливки складають в цехову тару і передають на склад готової продукції.

2.6. Висновки по розділу

1. Виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок.
2. Описано послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка.
3. Розроблені технічні умови на виливок.
4. Виконано розрахунок ливниково-живильної системи.
5. Описано процес проектування ливарного оснащення.
6. Описано технологію виготовлення форми, наведено характеристику матеріалів, приведено параметри заливки форми, вибивки, обрубки виливків.
7. Наведено параметри та способи технічного контролю якості виливків.
8. Розроблені технологічні креслення деталі з розробкою модельно-ливарних вказівок (додаток МР-8.131.23.05.02.01.00), модельних комплектів верху (додаток МР-8.131.23.05.02.02.00), низу (додаток МР-8.131.23.05.02.03.00), стержневого ящика (додаток МР-8.131.23.05.02.04.00), та форми в зборі (додаток МР-8.131.23.05.02.05.00).

3. ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЛИТВА НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ ШЛАКОВЛОВЛЮВАЧА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАТРИМКИ ШЛАКУ

3.1. Причини утворення шлакових включень і способи їх запобігання

Джерела утворення неметалевих включень. У процесі плавки чавуну й сталі при сплавленні оксидів зі спеціальними шлакоутворювальними матеріалами, що вводяться в піч, а також з оксидами, що входять до складу футеровки, утворюється шлак.

Добавка вапняку та деяких інших матеріалів при плавці чавуну у вагранці сприяє одержанню рідкого ваграночного шлаку, який добре укрупнюється. Його кількість, що залежить від зольності коксу, ступеня забруднення шихти й часткового окислення деяких домішок чавуну (кремнію, марганцю), становить звичайно 4–7 % маси металеві шихти. Хімічний склад ваграночних шлаків наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Хімічний склад ваграночних шлаків, %.

Футеровка печі	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO + Fe ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	S
Кисла	42–55	18–35	1–8	7–20	5–15	2–10	0,1–0,5	0,05–0,3
Основна	30–35	40–55	10–14	5–10	2–3	1–3	0,5–1,0	0,5–1,0

При плавці чавуну його домішки окислюються закисом заліза, що переходить у метал зі шлаків, а шкідливі домішки, що містяться в металі, такі, як S і P, переходять у шлак. Залежно від хімічного складу й фізичних властивостей шлаків можливе повне або часткове видалення шкідливих домішок з металу. У відновлювальний період плавки кисень із металу переходить у шлак. Крім того, шлак перешкоджає переходу водню й азоту з атмосфери печі в метал.

Залежно від вмісту кремнезему розрізняють кислі й основні шлаки (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Хімічний склад шлаків у кінцевій стадії плавки, %.

Футеровка печі	SiO ₂	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	MgO	CaF ₂	CaC ₂	S
Кисла	50–60	8–15	8–15	3–8	2–10	2–4	–	–	–	–
Основна (відновлювальний період), білий шлак	15–20	<0,5	<0,4	2–5	55–60	–	8–15	15	< 1,0	0,3–0,5
Карбідний шлак	10–15	<0,5	<0,4	2–5	55–65	–	8–15	10–15	–	0,4–0,7
Напів кислий шлак	20–35	<,0	<2,0	8–12	15–20	–	25–35	–	–	–

Кислі шлаки містять більш 40 % кремнезему та 3–15 % оксиду кальцію, а основні містять менш 30 % кремнезему й 30–60 % оксиду кальцію. Кислі шлаки утворюються при плавці чавуну в кислих печах з футеровкою із кремнеземистих матеріалів, а основні – при плавці чавуну в печах з магнезитової або доломітової футеровки.

У процесі переливів і заливання у форми розплав взаємодіє з матеріалом футеровки ковшів і з атмосферою, внаслідок чого також утворюється шлак. Шлак зазвичай прагнуть видалити з поверхні розплаву, але частки його залишаються в розплаві. Ці частки можуть при заливанні потрапити у форму і утворювати, залежно від розміру неметалеві шлакові раковини або шлакові включення у виливку.

Шлакове включення – дефект у вигляді порожнини у тілі виливка, повністю або частково заповненої шлаками (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Поверхнєве шлакове включення в чавунному виливку диска зчеплення вантажного автомобіля

Шлакова раковина – дефект у вигляді частково заповненої ливарної форми шлаком (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Поверхнева велика шлакова раковина в чавунному виливку кришки насоса

При заливанні форми розплав увесь час перебуває в контактї з формувальною сумішшю, яка може руйнуватися. Частки суміші попадають у розплав і при затвердінні виливка залишаються в ній у вигляді піщаних включень. Піщані включення виникають також внаслідок влучення формувальної суміші у форму при складанні, проставлянні стрижнів, обдуванню форми, кантуванню або навіть через недбалість або недостатню кваліфікацію робітників. Слід зазначити, що найчастіше джерелом неметалічних включень є попередньо утворені дефекти форми (наприклад, ужимини, підриви, обвал, обтискання, тощо), але піщані включення можуть виникнути також від інших джерел. Саме ці дефекти й будуть розглянуті нижче.

Шлакові включення. Шлаковими називають включення, що мають вид і хімічний склад шлаку. Найчастіше шлакові включення розташовані у верхніх частинах виливків або на їхній поверхні. Порожнини, що залишилися після видалення шлаків, у тілі виливка можуть мати гладку або шорсткувату поверхню з нерівними краями. Залежно від причин утворення зустрічаються окремі, ізольовані відкриті включення різноманітних розмірів і конфігурації; включення, що виявляються в тілі виливка та мають вихід до поверхні у вигляді невеликого отвору; розсосереджені включення, розташовані на поверхні виливка у вигляді висипу (рис.3.3), тощо.

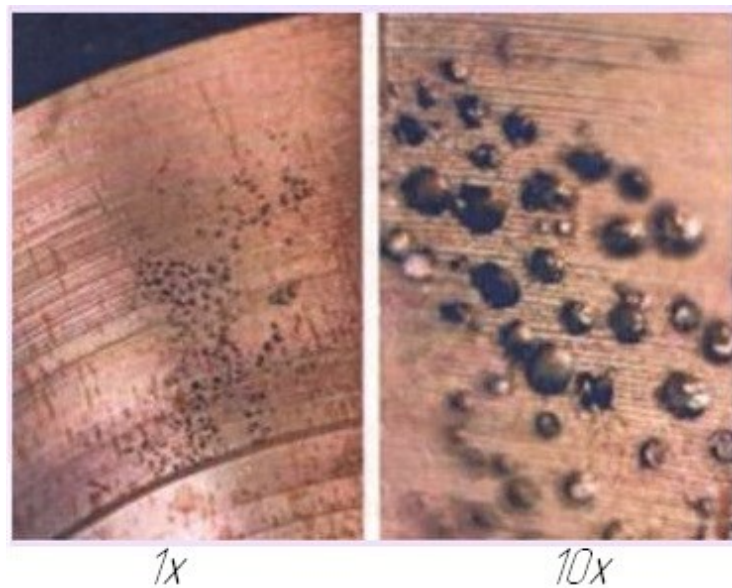


Рисунок 3.3 – Шлакова пористість

Шлакові включення в більшості випадків сірого або коричневого кольору різних відтінків.

Основна причина утворення шлакових включень – проникнення шлаків разом з розплавом у робочу порожнину ливарної форми.

Можливість такого проникнення визначається кількістю й природою шлакових включень у розплаві, а також надійністю технологічних рішень, що запобігають їхньому потраплянню у порожнину форми. Шлак потрапляє в розплавлений метал зазвичай при механічному перемішуванні його з розплавом у процесі плавки та при випуску із плавильного агрегату.

Внаслідок меншої питомої ваги шлакові частки в розплаві прагнуть укрупнитися й спливати на поверхню. Однак при недостатній витримці металу в ковші перед заливанням, що спостерігається в масовому й серійному виробництві,

шлакові частки не встигають спливити й можуть потрапити у форму разом з розплавом.

Дуже дрібні шлакові частки, що утворюються внаслідок фізико-хімічних реакцій у розплаві і зазвичай не приводять до утворення істотних дефектів. Так, дрібні й тонкостінні виливки затвердівають значно раніше, ніж ці частки встигнуть спливити й укрупнитися. Однак у великих товстостінних виливках, що повільно охолоджуються, особливо при недостатній витримці розплаву в ковші, вони можуть укрупнитися й спливити до закінчення затвердіння. У таких випадках у виливках утворюється велика кількість дрібних підкіркових шлакових включень.

При виготовленні виливків із чавуну з кулястим графітом, модифікованим магнієм, у них виявляються шлакові включення у вигляді чорних плям. Дослідження показали, що такі включення складаються із з'єднань магнію із сіркою й киснем і розташовуються на горизонтальних поверхнях виливків, у верхніх частинах або під стрижнями. Зі збільшенням висту сірки до 0,08 – 0,12 % кількість чорних плям сильно зростає.

Способи запобігання шлакових включень. Основні способи запобігання шлакових включень у виливках можна розділити на дві групи: способи, спрямовані на найбільш повне видалення шлаку у процесі плавки та підготовки розплаву до заливання, і способи, що забезпечують затримку шлаку у ливниковій системі за рахунок використання спеціальних елементів і пристосувань, а також правильного проектування відповідних перерізів її складових частин.

У виробничих умовах практично виключається можливість тривалої витримки рідкого металу в ковшах, тому велике значення має підвищення температури перегріву й зниження в'язкості шлаків. При низькій в'язкості шлаків його частки легко укрупнюються й спливають, захоплюючи по шляху дрібні частки інших неметалічних включень. Останні через мізерно малі швидкості підйому самостійно спливити не встигають.

Таким чином, для запобігання можливості утворення шлакових включень процес шлакоутворення та в'язкості шлаків слід регулювати в процесі плавки шляхом добору й суворого дозування флюсу відповідного хімічного складу. В'язкість шлаків необхідно періодично контролювати.

При випуску металу із плавильного агрегату необхідно виключити можливість потрапляння шлаку разом з металом у розливочний ківш. Це досягається застосуванням копильника у вагранках, установкою на жолобах спеціальних шлаковіддільників, наприклад типу сифонів і т.д. Шлак, що утворюється на поверхні розплаву в ковші, необхідно зчищати залізними або дерев'яними шкребками. Видалення шлаку у цьому випадку полегшується при підвищеній його в'язкості шляхом присипання чистим і сухим кварцовим піском. Шлак, що пристав до стінок ковша, повинен бути вилучений перед заливанням у нього розплаву. Можливість потрапляння шлаку у порожнину ливарної форми суттєво зменшується при використанні стопорних, чайникових і сифонних ковшів.

Установка шлаковловлювачів дозволяє відокремити розплав від шлаків внаслідок різниці їх питомої ваги. Ефективність затримки шлаку залежить також від правильності добору розмірів і співвідношень площ перетину окремих елементів ливникової системи. Ливникова система повинна бути побудована таким чином, щоб частки шлаків, що попадають разом з металом з ковша, і великі частки формувальної суміші, що відділяються від стінок її каналів, були затримані та не потрапили в порожнину форми.

Для забезпечення більш швидкого заповнення ливникової системи й спливання шлакових часток необхідно послідовно збільшувати площі перетину елементів від живильників до стояка. Для зменшення швидкості руху розплаву на виході з живильників використовують плавне розширення елементів ливниково-живильної системи, гальмуючі елементи, дроселі, ступінчасті, зубчасті, відцентрові шлаковловлювачі, дощодові, сифонні, ярусні ЛЖС, тощо (рис. 3.4).

Найпоширеніше застосування наступних ливникових систем:

- гальмуючих, у яких ливниковий хід складається із двох або більш колін, що розташовуються в різних половинах форми й спрямованих під кутом один до одного (рис. 3.4, а);
- дросельних, у яких між стояком і живильником передбачаються вузькі щілиноподібні канали, що забезпечують спокійний вхід металу у форму (рис. 3.4, б);
- з відцентровими шлаковловлювачами, застосування яких дозволяє значно зменшити брак за шлаковими включеннями (рис. 3.4, в);

- дощові, у яких стояк з'єднується з кільцевим шлаковловлювачем, розплав з останнього надходить у порожнину форми через циліндричні або щілиноподібні живильники (рис. 3.4, з);
- сифонні, що забезпечують подачу металу у форму на одному або декількох рівнях (рис. 3.4, д).

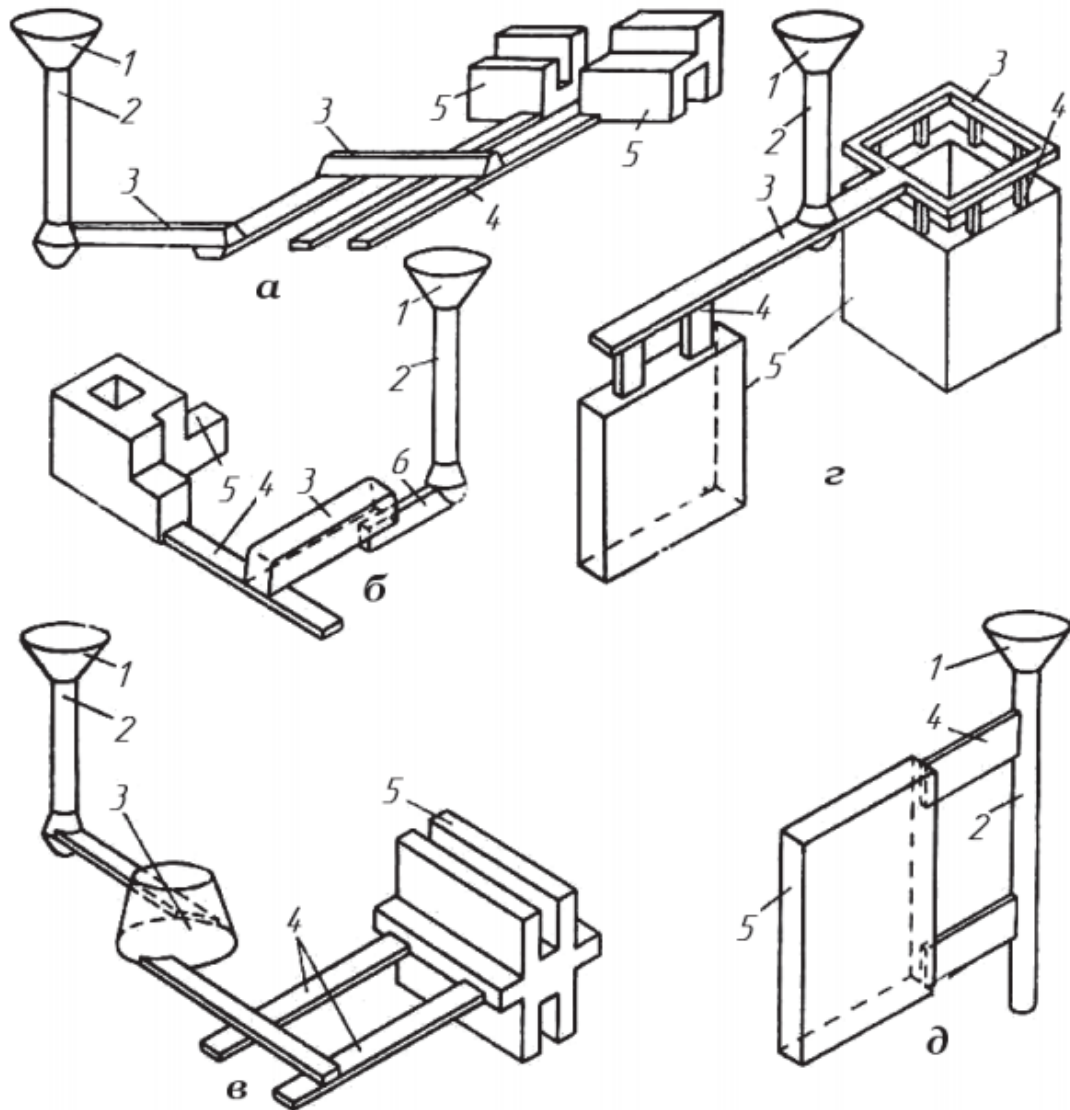


Рисунок 3.4 – Схеми ливникових систем: а – гальмуюча; б – дросельна; в – з відцентровим шлаковловлювачем; г – дощова; д – сифонна (двоярусна);

1 – ливникова чаша; 2 – стояк; 3 – шлаковловлювач; 4 – живильники;
5 – виливок; 6 – дросель

Правильна конструкція ливникової системи та спокійне безперервне заливання металу – надійні засоби проти утворення шлакових включень.

У табл. 3.3 наведені основні причини утворення шлакових включень і способи їх запобігання.

Таблиця 3.3

Причини утворення шлакових включень і способи їх запобігання

Група	Основні причини	Способи запобігання шлакових включень
I	Потрапляння в ливарний ківш великої кількості пічних шлаків	Ведення плавильного процесу з мінімальним виділенням шлаків Удосконалення конструкції сифонного шлакозатримника печі Виключити застосування окисленої шихти, забруднених флюсів і неякісних вогнетривів Ретельний ремонт плавильних агрегатів і їх підготовка до плавки Ретельне очищення ливарних ковшів
II	Утворення вторинних шлаків у ливарному ковші	Зменшення окислення металу в плавильних агрегатах Заливання форм чавуном з досить високою температурою Правильне співвідношення вмісту марганцю й сірки в чавуні Збільшення вмісту кремнію в чавуні Очищення ковшів від шлакової кірки Зливання остиглого металу в виливниці Якісне розкислення металу
III	Продукти розмиву металом кладки плавильних агрегатів, жолобів, ковшової обмазки	Добір якісних вогнетривів Якісна футеровка й сушіння пічних агрегатів, жолобів, ливарних ковшів
IV	Потрапляння шлаків у форму при заливанні металу	Використання чайникових або стопорних ковшів Використання згущувачів шлаків Застосування ливникових чаш, що затримують шлаки Правильна конструкція ливникової системи Заливання форм із повною ливниковою чашею Попередження окислення металу при заливанні
V	Неправильна розробка ливарної технології	Збільшення припусків на механічну обробку Зміна розташування виливка у формі Зміна підведення металу в порожнину форми

3.2. Основи проектування шлаковловлювачів

Найважливішою проблемою, що виникає при застосуванні типових ливникових систем, є одночасне задоволення наступним вимогам:

- надійне вловлювання шлаків;
- зниження швидкості руху розплаву в ливниках, що забезпечує плавне заповнення форми сплавом.

Використовуються різні спеціальні конструкції ливникових систем, спрямовані на розв'язання цієї проблеми.

На практиці найчастіше застосовують шлаковловлювачі й колектори трапецеїдального поперечного перерізу, постійного по довжині каналу.

Форма поперечного перерізу наведена на рис. 3.5.

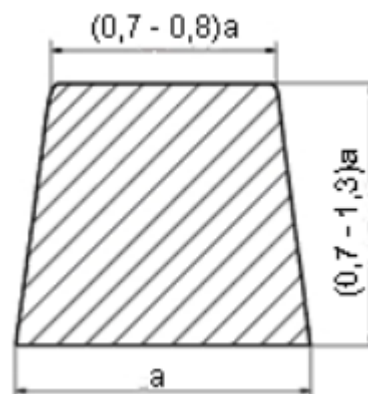


Рисунок. 3.5 – Форма перетину шлаковловлювача

У замкнених системах однією з найважливіших функцій шлаковловлювача є затримка шлаку. При русі сплаву по шлаковловлювачу зважена частка шлаків спливе нагору. Для забезпечення вспливання шлаку необхідно, щоб ця частка спливла до верхньої поверхні шлаковловлювача, не доходячи з потоком сплаву до першого живильника. Виходячи із цього для визначення довжини шлаковловлювача до першого живильника $l_{ш}$ можна використовувати наступну формулу:

$$l_{ш} = 1,2h_{ш} \cdot V_{ш} / V_{ч}, \quad (3.1)$$

де $h_{ш}$ – висота перетину шлаковловлювача;

$V_{ш}$ – швидкість сплаву в шлаковловлювачі;

$V_{ч}$ – швидкість спливання частки:

$$V_{ч} = \sqrt{\frac{d_{ч}}{3} \cdot \frac{\rho_{м} - \rho_{ш}}{\rho_{м}} \cdot g}, \quad (3.2)$$

де $d_{ч}$ – діаметр частки (можна прийняти $d_{ч} = 0,002$ м);

$\rho_{м}$ і $\rho_{ш}$ – густина рідкого металу та шлаку.

Швидкість сплаву в шлаковловлювачі можна розрахувати за формулою:

$$V_{ш} = \frac{G_{м}}{\tau_{opt} \cdot \rho_{м} \cdot \omega_{ш}}, \quad (3.3)$$

де $\omega_{ш}$ - площа поперечного перерізу шлаковловлювача, м²;

$G_{м}$ – маса металу, що перетікає через шлаковловлювач, кг;

τ_{opt} – оптимальна тривалість заливки:

$$\tau_{opt} = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot C_1}, \quad (3.4)$$

де S_1 – коефіцієнт тривалості заливки, який залежить від температури рідкого металу, роду сплаву, місця його підведення, матеріалу форми;

δ – середня товщина стінок виливка, мм;

C_1 – маса рідкого металу в формі, яка припадає на один виливок (разом з ливниковою системою, кг).

Для покращення вловлювання шлаків у ливниковій системі передбачають установку спеціальних порожнин – бобишок, що забезпечують примусове заповнення шлаковловлювача, при якому сплав не може пройти у форму, не заповнивши попередньо поперечний переріз шлаковловлювача. На рис. 3.6 і 3.7 наведені приклади таких ливникових систем.

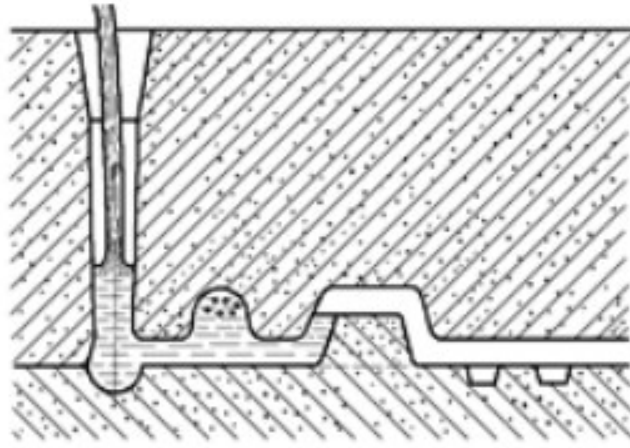


Рисунок 3.6 – Ливникова система із примусовим заповненням
шлаковловлювача

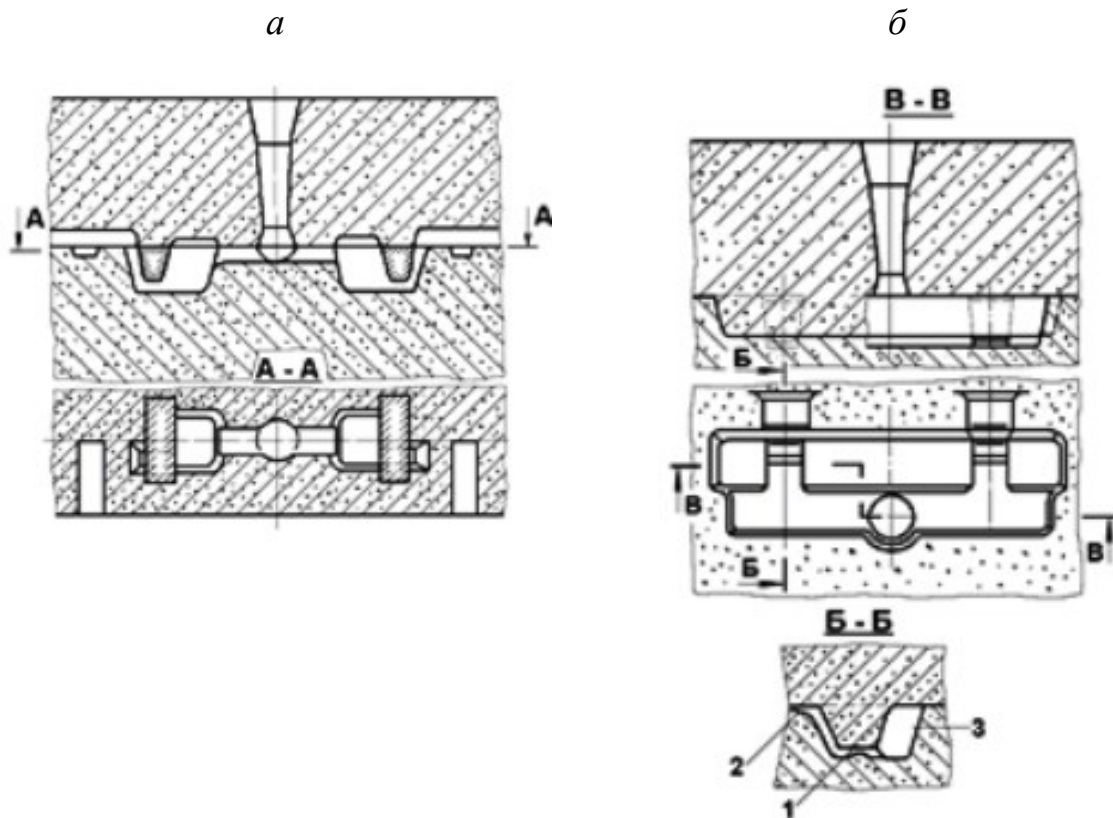


Рисунок. 3.7 – Конструкції ливникових систем із примусовим заповненням
шлаковловлювача:

а, б – типи дросельних ливникових систем;

1 – дросель; 2 – живильник; 3 – шлаковловлювач

Ефективним способом уловлювання шлаків є використання відцентрових шлаковловлювачів (рис. 3.8), у яких метал подається по дотичній у периферійну

частину круглої бобишки. Метал з бобишки витікає також по дотичній, причому площа перетину каналу, що відводить, менше, ніж у підвідного. Приклад ливникової системи з відцентровим шлаковловлювачем наведений на рис. 3.9.

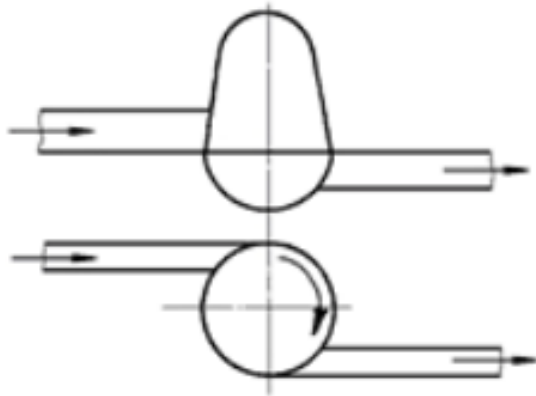


Рисунок. 3.8 – Схема відцентрового шлаковловлювача

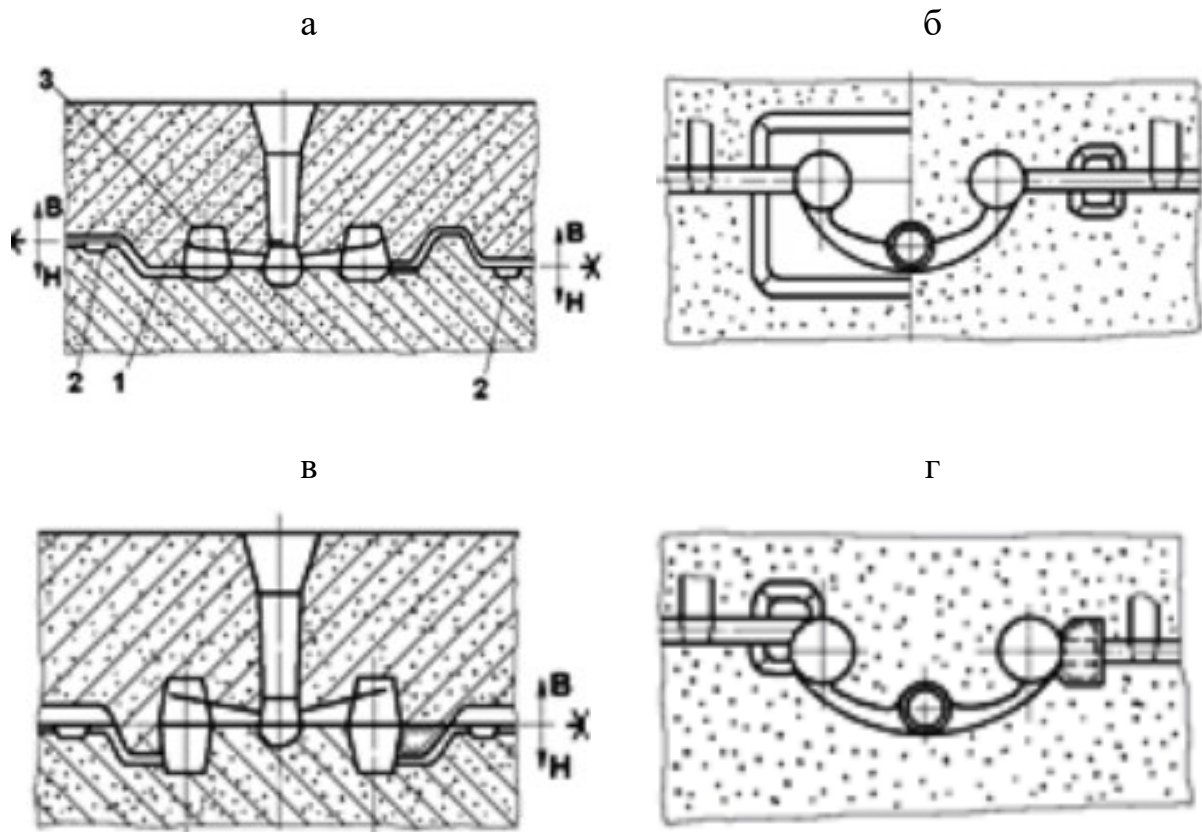


Рисунок. 3.9 – Конструкції ливникових систем із примусовим заповненням відцентрового шлаковловлювача:

а – г – типи дросельних ливникових систем;

1 – дросель; 2 – живильники; 3 – шлаковловлювач

Схеми гальмуючих ливникових систем, запропонованих В.І. Фундатором, наведені на рис. 3.10. Завдяки поворотам потоку при перетіканні сплаву з коліна

в коліно збільшується сумарний опір системи й зменшується швидкість руху сплаву. При цьому покращується ефективність затримки шлаку та створюються умови для більш плавного заповнення розплавом порожнини форми.

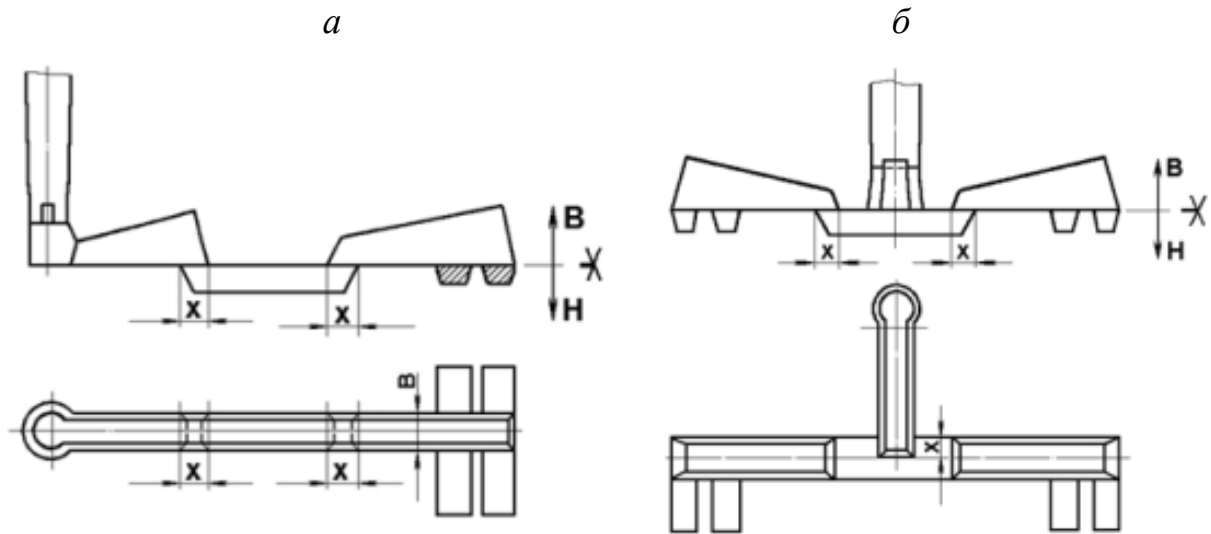


Рисунок. 3.10 – Схеми гальмуючих ливникових систем:

а – з трьома колінами; *б* – із двома колінами (x – вікно між елементами)

Число колін у системі може бути значним (до п'яти і більше), що робить її громіздкими та збільшує витрату металу на ливникову систему. Іншим недоліком гальмуючих систем є складність їх конструкції.

Ці системи можна рекомендувати при виготовленні чавунних виливків відповідального призначення в сирих формах при недостатній поверхневій міцності формувальних матеріалів.

Дросельні ливникові системи запропоновані Б. В. Рабиновичем [11]. У них реалізується та ж ідея, що й у гальмуючих системах. Принципова відмінність полягає в тому, що для зменшення швидкості сплаву у систему включаються місцеві опори, що займають мало місця та мають невелику масу.

Внизу стояка встановлюється місцевий опір шляхом різкого звуження (дроселювання) потоку. Елементи, що реалізують цей місцевий опір, називаються дроселями. При односторонньому шлаковловлювачі застосовують односторонній дросель, при двосторонньому шлаковловлювачі – двосторонній дросель. Схеми дросельних систем наведені на рис. 3.11.

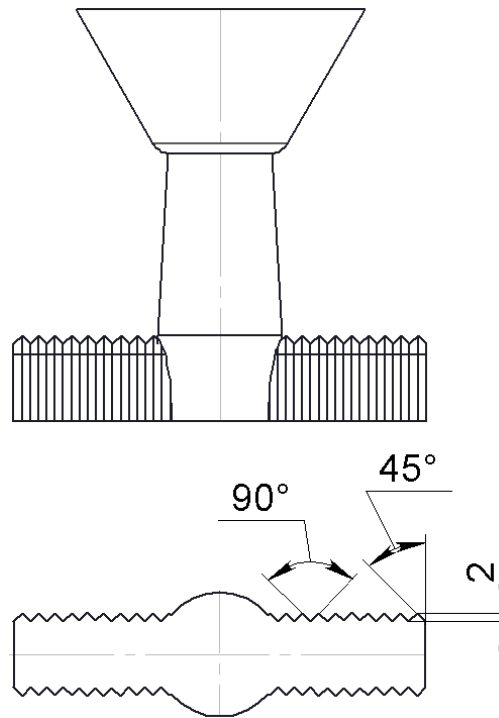


Рисунок. 3.12 – Ребристий шлаковловлювач

В запропонованій конструкції на бокових і верхній поверхнях трапецевидного шлаковловлювача з однаковим кроком нанесені ребра. Ребриста поверхня при заливці створює додатковий опір руху металу, гальмуючи його. Коло стінок каналу шлаковловлювача утворюється область з низькою швидкістю руху розплаву. Величина даної області визначається висотою ребер.

Порівняльний аналіз ефективності ребристого шлаковловлювача у порівнянні з традиційним будемо здійснювати в середовищі параметричного моделювання SOLIDWORKS Flow Simulation [34].

Flow Simulation є програмним забезпеченням, повністю інтегрованим в SOLIDWORKS. Flow Simulation дозволяє розраховувати рух текучих середовищ (газу або рідини) всередині моделей SOLIDWORKS, досліджувати обтікання моделей SOLIDWORKS потоком текучого середовища, вирішувати задачі теплообміну за рахунок конвекції і випромінювання, а також проводити розрахунок теплопровідності в твердих тілах. Розрахунки здійснюються методами обчислювальної гідродинаміки (CFD), що забезпечує високу ступінь достовірності отриманих результатів. Характерною особливістю Flow Simulation є інтуїтивно зрозумілий і зручний інтерфейс, який включає в себе:

- препроцесор для завдання даних, необхідних для розрахунку (в тому числі, Інженерну базу даних з властивостями різних речовин);
- монітор для спостереження і контролю за розрахунком;
- постпроцесор для перегляда отриманих результатів.

Таким чином, у нас є можливість моделювання руху течії розплаву всередині каналів шлаковловлювачів різних конструкцій та порівняння отриманих результатів.

Спочатку необхідно спроектувати 3D-моделі досліджуваних ливниково живильних систем (рис. 3.13, 3.14).

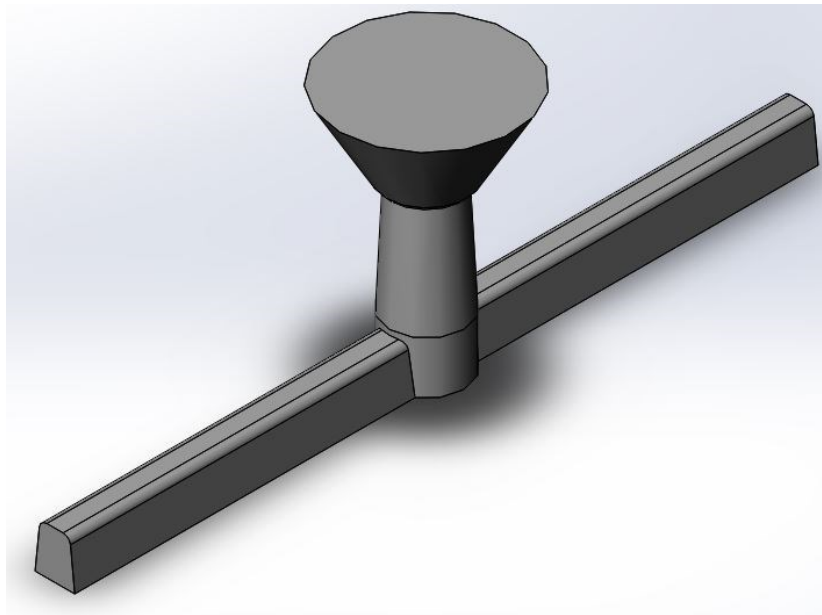


Рисунок. 3.13 – 3D-модель ЛЖС з традиційним шлаковловлювачем

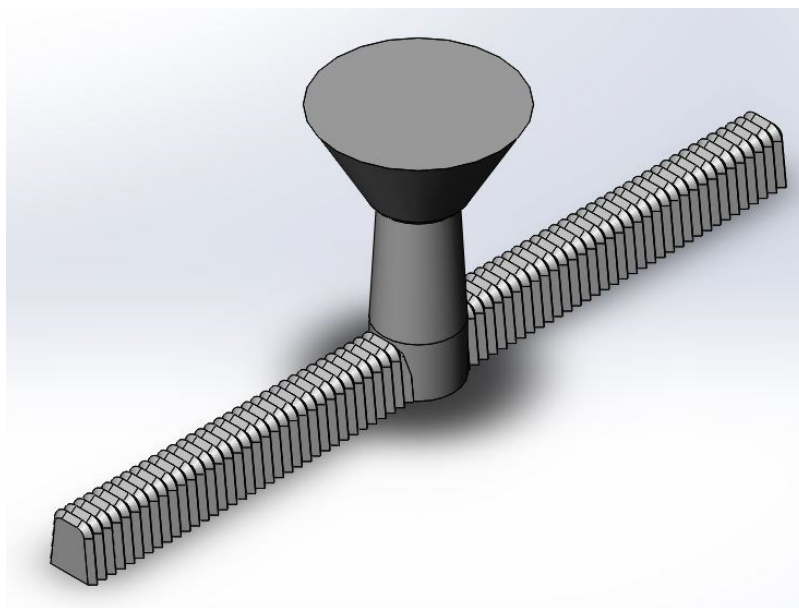


Рисунок. 3.14 – 3D-модель ЛЖС з ребристим шлаковловлювачем

За допомогою інструмента «Масові характеристики» визначаємо масу розроблених 3D-моделей. Маса ЛЖС з традиційним шлаковловлювачем складає $m_{ш.т} = 1,3284$ кг; маса ЛЖС з ребристим шлаковловлювачем складає $m_{ш.р} = 1,4265$ кг. Таким чином ребристий шлаковловлювач однакової довжини важчий за традиційний на $1,4265 - 1,3284 = 0,0981$ кг, або $(1,4265 - 1,3284) \cdot 100\% / 1,4265 = 6,88\%$.

Далі необхідно задати розрахункову область, яка являє собою простір, в якому проводяться розрахунки течії. При створенні проекту за допомогою Майстра проекту Flow Simulation автоматично генерує розрахункову область, що обмежена стінками моделі. Розрахункова область будується як для тривимірних, так і для двовимірних задач. У Внутрішніх задачах границі розрахункової області охоплюють всю модель, тобто області текучого середовища і стінки моделі.

Далі необхідно задати загальні параметри, параметри рідини, початкові і граничні умови, умови на стінках.

В якості граничних умов на вході в ЛЖС на верхній площині ливникової воронки задаємо масову витрату металу (рис. 3.14). Ця величина визначається відношенням маси металу, що поступає через шлаковловлювач до часу заливки форми:

$$M = G_m / \tau_{ont} = 2,42 \cdot 2 / 5,4 = 0,9 \text{ кг/с.} \quad (3.5)$$

В якості граничних умов на виході з ЛЖС на зовнішніх торцевих поверхнях шлаковловлювача (рис. 3.14) задаємо параметри навколишнього середовища : тиск $p = 101325$ Па; температура $T = 293,15$ К.

Далі натискаємо кнопку «Запустити» і програма Flow Simulation автоматично створює розрахункову сітку і здійснює розрахунок. За необхідності можна відкорегувати та настроїти розрахункову сітку, задати точність.

З'являється вікно Солвера (розв'язувача), де проводиться моніторинг ходу обчислень при вирішенні задачі (рис.3.15).

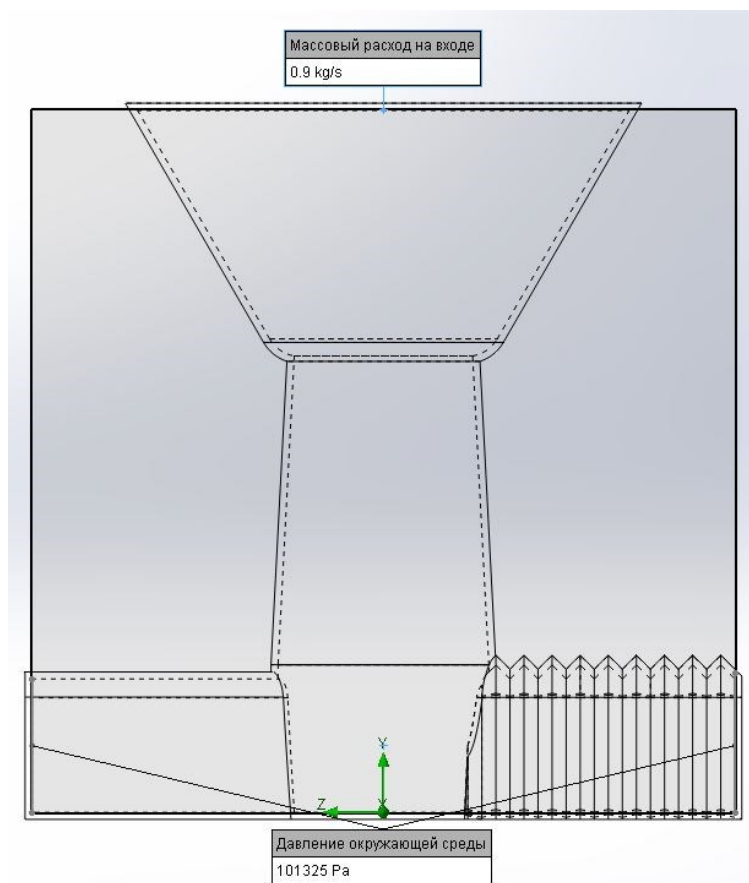


Рисунок.3.14 – Граничні умови на вході і виході розрахункової області

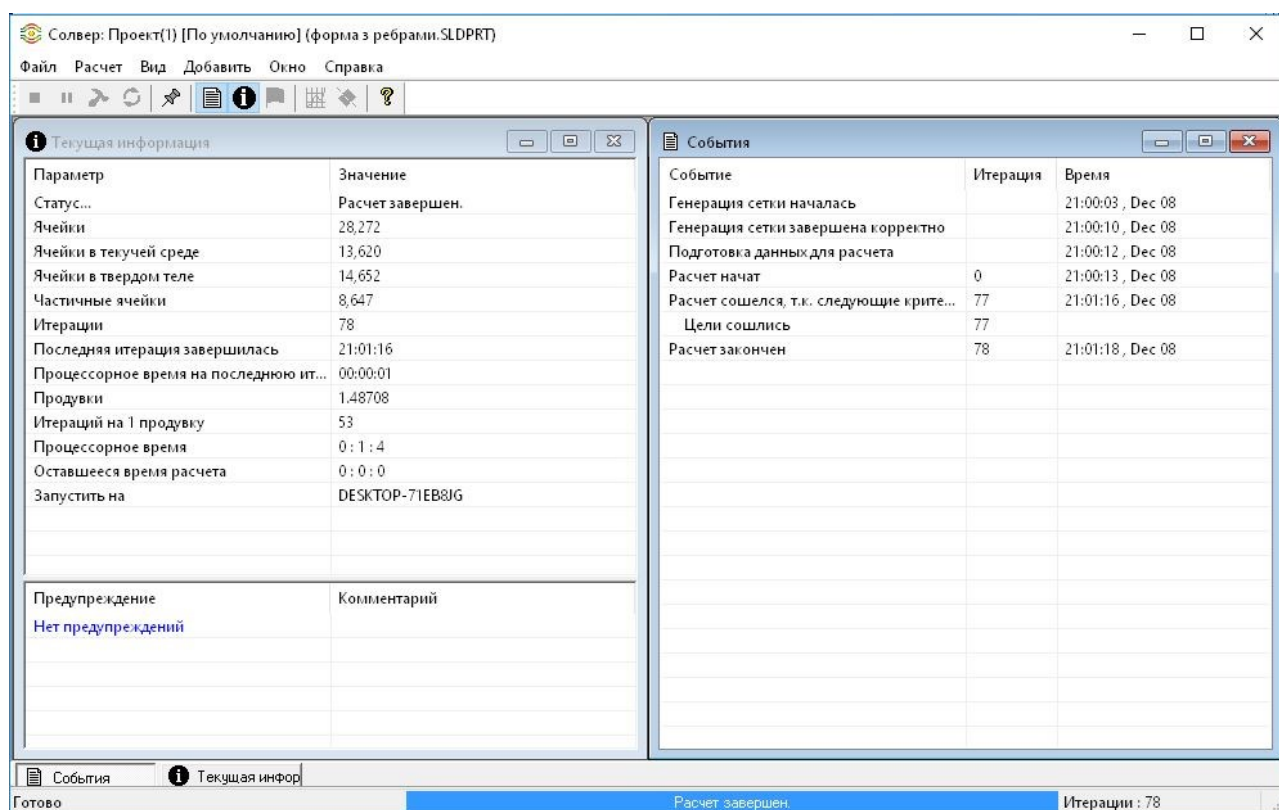


Рисунок. 3.15 – Інтерфейс моніторингу розрахункового блоку

Після завершення розрахунків з'являється можливість вивести результати розрахунку зміни параметрів на розрахунковій сітці, в окремих вибраних точках розрахункової області, поверхневі параметри, об'ємні параметри, ізоповерхні параметрів, траєкторії руху як усього потоку рідини, так і окремих його часток.

Нас цікавлять траєкторії потоку розплаву в каналах звичайного і ребристого шлаковловлювачів, а також зміна середньої швидкості потоку і зміна швидкості по перерізу шлаковловлювача (рис 3.16).

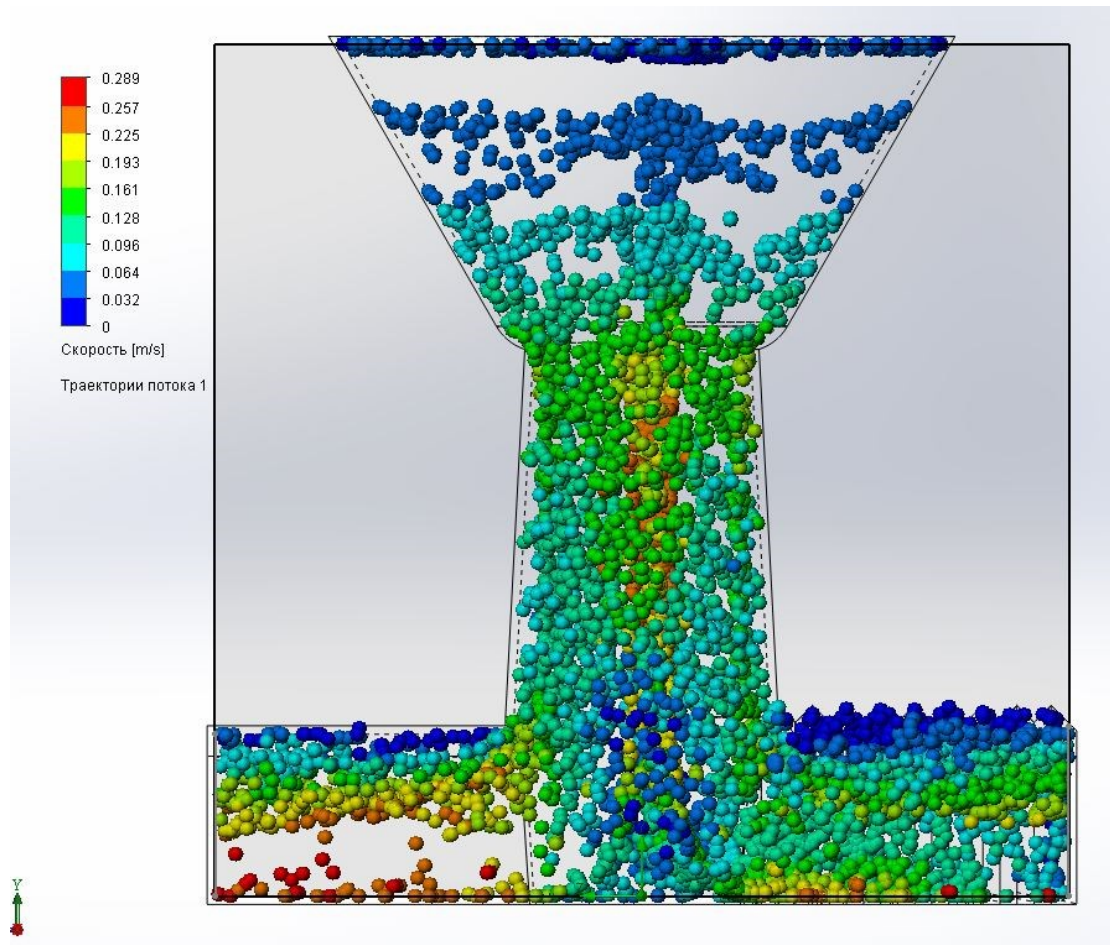


Рисунок.3.16 – Траєкторії та розподіл швидкості потоків в повздовжніх перерізах звичайного (зліва) і ребристого (зправа) шлаковловлювачів

Результати розрахунку можна вивести у вигляді анімації чи табульованого звіту. Крім того можна задати датчики у вигляді окремих точок чи відрізків у розрахунковій області та отримати графіки зміни вибраного параметра залежно від місця вимірювання. Також є опція експорту побудованих графіків в Excel.

Для дослідження зміни швидкості на виході по перерізу каналу шлаковловлювача з обох торців по центру перерізів побудуємо прямі відрізки, на яких визначимо швидкість потоку на виході з шлаковловлювача (рис.3.17).

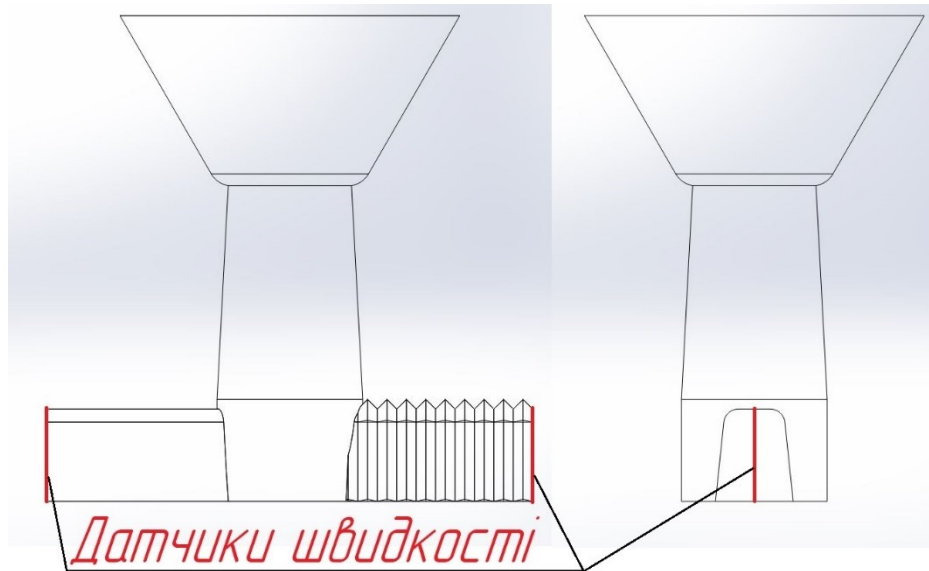


Рисунок. 3.17 – Схеми росташування датчиків швидкості

Для побудованих датчиків швидкості (рис. 3.17) будуємо графіки залежності швидкості потоку від координати датчика (висоти відрізка) та експортуємо їх в Excel (рис. 3.18, табл. 3.4).

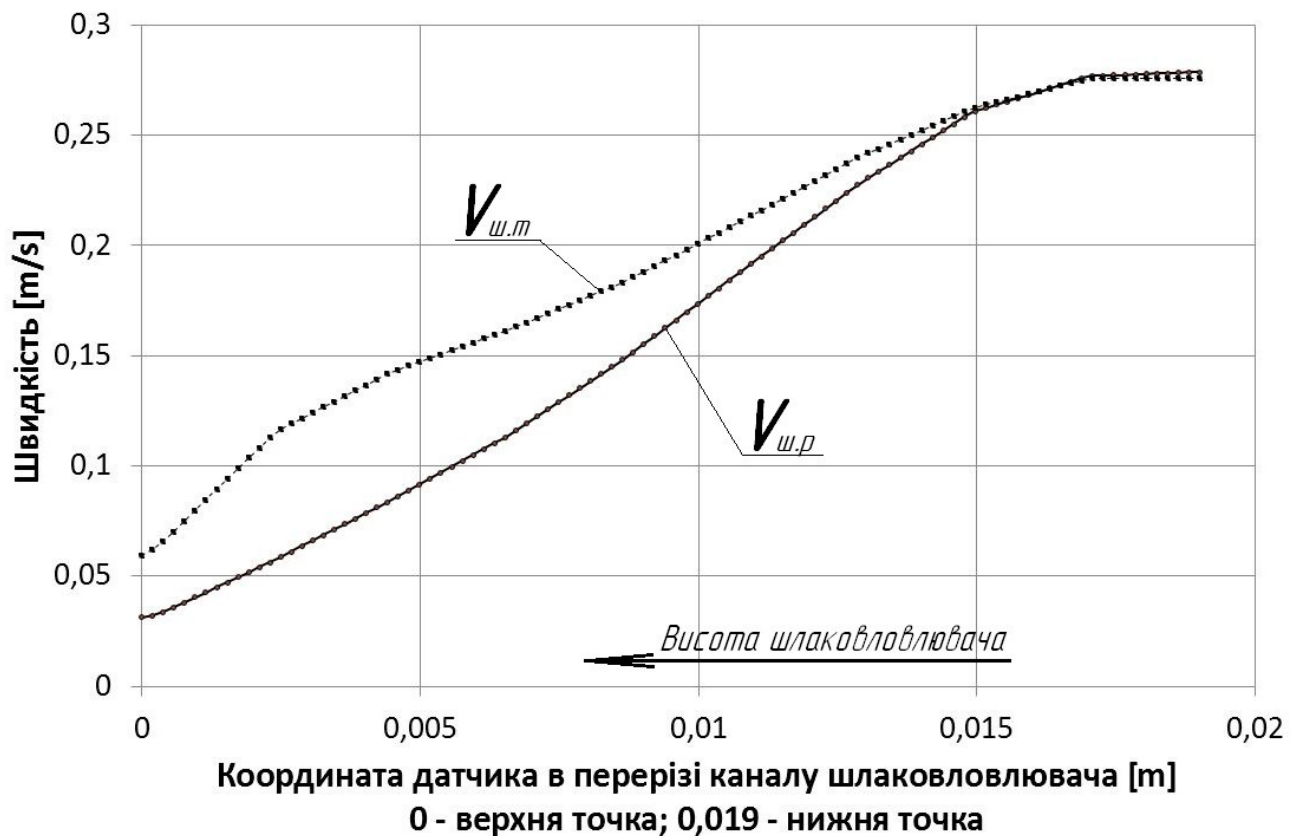


Рисунок.3.18 – Графіки розподілу швидкості потоку розплаву по висоті традиційного $V_{ш.т}$ і ребристого $V_{ш.р}$ шлаковловлювача

Таблиця 3.4

Розподіл швидкості потоку розплаву по висоті традиційного $V_{шт}$ і ребристого $V_{ш.р}$ шлаковловлювача

Висота шлаковлов- лювача, м	Швидкість, м/с		Висота шлаковлов- лювача, м	Швидкість, м/с		Висота шлаковлов- лювача, м	Швидкість, м/с		Висота шлаковлов- лювача, м	Швидкість, м/с	
	$V_{ш.р}$	$V_{шт}$		$V_{ш.р}$	$V_{шт}$		$V_{ш.р}$	$V_{шт}$		$V_{ш.р}$	$V_{шт}$
0,000	0,031	0,059	0,010	0,170	0,198	0,005	0,089	0,145	0,015	0,255	0,259
0,000	0,032	0,062	0,010	0,173	0,201	0,005	0,092	0,147	0,015	0,258	0,261
0,000	0,034	0,065	0,010	0,177	0,203	0,005	0,094	0,149	0,015	0,261	0,263
0,001	0,036	0,070	0,010	0,181	0,206	0,005	0,097	0,151	0,015	0,262	0,264
0,001	0,038	0,075	0,011	0,184	0,208	0,006	0,100	0,152	0,015	0,264	0,265
0,001	0,040	0,080	0,011	0,188	0,211	0,006	0,102	0,154	0,016	0,265	0,266
0,001	0,043	0,084	0,011	0,191	0,213	0,006	0,105	0,156	0,016	0,267	0,268
0,001	0,045	0,089	0,011	0,195	0,216	0,006	0,108	0,158	0,016	0,268	0,269
0,002	0,047	0,094	0,011	0,199	0,219	0,006	0,110	0,159	0,016	0,270	0,270
0,002	0,049	0,099	0,012	0,202	0,221	0,007	0,113	0,161	0,016	0,271	0,271
0,002	0,052	0,104	0,012	0,206	0,224	0,007	0,116	0,163	0,017	0,273	0,272
0,002	0,054	0,108	0,012	0,209	0,227	0,007	0,119	0,165	0,017	0,274	0,274
0,002	0,056	0,113	0,012	0,213	0,229	0,007	0,122	0,167	0,017	0,276	0,275
0,002	0,059	0,117	0,012	0,217	0,232	0,007	0,126	0,169	0,017	0,277	0,276
0,003	0,061	0,119	0,012	0,220	0,235	0,007	0,129	0,171	0,017	0,277	0,276
0,003	0,064	0,122	0,013	0,224	0,237	0,008	0,132	0,173	0,017	0,277	0,276
0,003	0,066	0,124	0,013	0,228	0,240	0,008	0,135	0,175	0,018	0,277	0,276
0,003	0,069	0,127	0,013	0,231	0,242	0,008	0,139	0,177	0,018	0,278	0,276
0,003	0,071	0,129	0,013	0,234	0,244	0,008	0,142	0,179	0,018	0,278	0,276
0,004	0,074	0,132	0,013	0,237	0,246	0,008	0,145	0,181	0,018	0,278	0,276
0,004	0,076	0,134	0,014	0,240	0,248	0,009	0,148	0,183	0,018	0,278	0,276
0,004	0,079	0,137	0,014	0,243	0,250	0,009	0,152	0,186	0,019	0,278	0,276
0,004	0,081	0,139	0,014	0,246	0,252	0,009	0,155	0,188	0,019	0,279	0,276
0,004	0,084	0,142	0,014	0,249	0,254	0,009	0,159	0,191	0,019	0,279	0,276
0,005	0,086	0,144	0,014	0,252	0,257	0,009	0,163	0,193	Середнє:	0,165	0,193

Як бачимо з отриманих результатів (рис. 3.18, табл. 3.4), при використанні ребристого шлаковловлювача швидкість потоку по висоті перерізу шлаковловлювача $V_{ш.р} = 0,165$ м/с менша ніж у традиційного $V_{ш.т} = 0,193$ м/с на $0,193 - 0,165 = 0,028$ м/с або $(0,193 - 0,165) \cdot 100\% / 0,193 = 14,5$ %.

Враховуючи формулу (3.1) при меншій швидкості потоку буде меншою довжина шлаковловлювача до першого живильника. Тобто:

$$l_{ш.т} = 1,2h_{ш} \cdot V_{ш.т} / V_{ч}, \quad (3.6)$$

$$l_{ш.р} = 1,2h_{ш} \cdot V_{ш.р} / V_{ч}. \quad (3.7)$$

Оскільки $V_{ш.р} = 0,855 \cdot V_{ш.т}$, то:

$$l_{ш.р} = 1,2h_{ш} \cdot V_{ш.р} / V_{ч} = 0,855 \cdot l_{ш.т}. \quad (3.8)$$

Тобто, при використанні ребристого шлаковловлювача можна зменшити його довжину у порівнянні з традиційним.

Для порівняння побудуємо 3D-модель ребристого шлаковловлювача, зменшивши його довжину на 14,5 % (рис. 3.19).

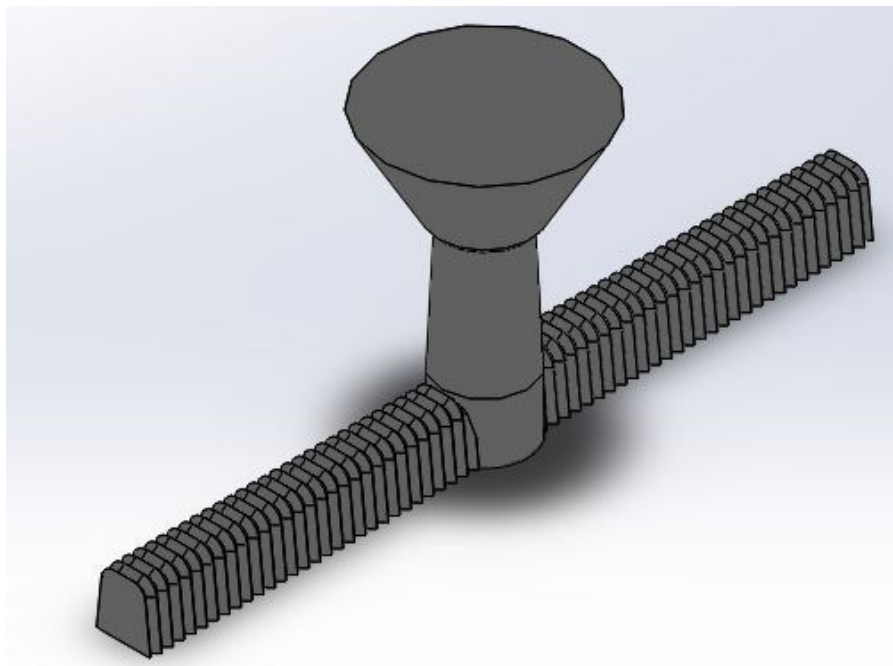


Рисунок.3.19 – 3D-модель зменшеного ребристого шлаковловлювача

За допомогою інструмента «Масові характеристики» визначаємо масу розробленої 3D-моделі (рис.3.20).

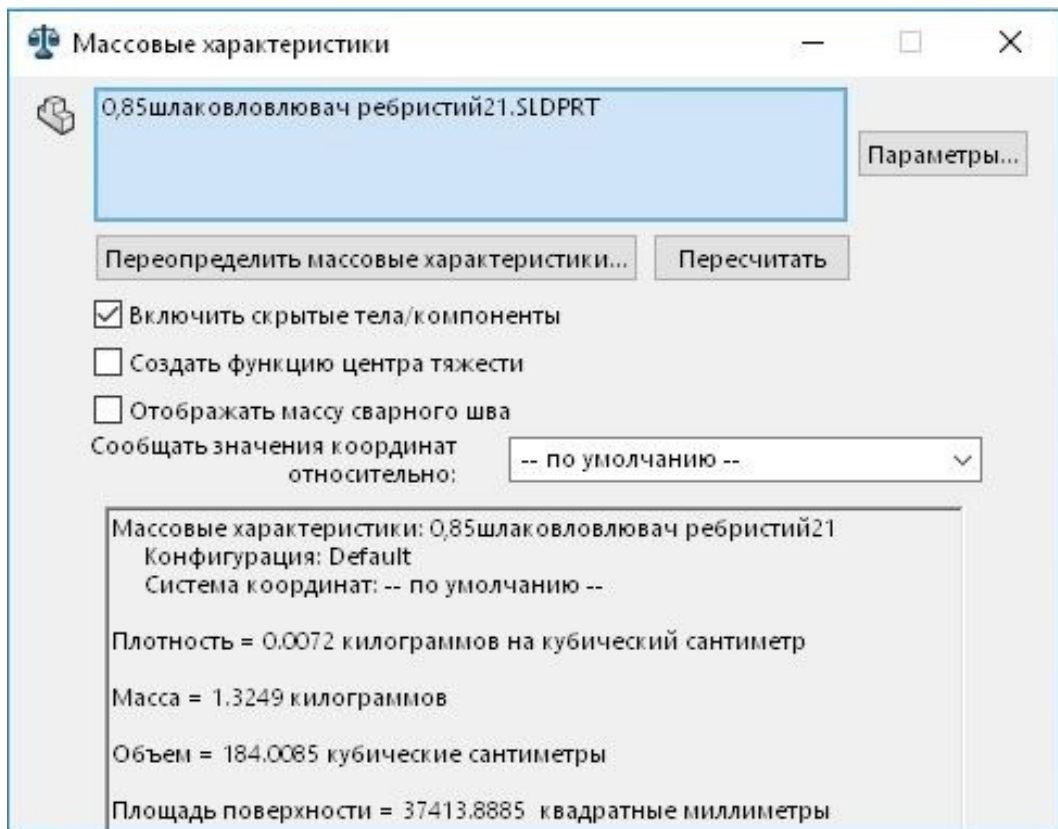


Рисунок.3.20 – Масові характеристики укороченого ребристого шлаковловлювача

Маса ЛЖС з традиційним шлаковловлювачем складає $m_{ш.т} = 1,3284$ кг; маса ЛЖС з ребристим шлаковловлювачем складає $m_{ш.р} = 1,3249$ кг. Таким чином укорочений ребристий шлаковловлювач легший за традиційний на $1,3284 - 1,3249 = 0,0035$ кг, або $(1,3284 - 1,3249) \cdot 100\% / 1,3284 = 0,26\%$.

Маса ливникової системи на річну програму 10000 т придатного литва складає 4987979 кг/рік. Таким чином, у перерахуванні на річну програму, економія металу за рахунок використання укороченого ребристого шлаковловлювача замість традиційного складає: $E_m = 4987979 \cdot 0,26 / 100 = 12968,7$ кг/рік. Враховуючи собівартість відходів власного виробництва 8,53 грн/кг річна економія складає: $E_z = 12968,7 \cdot 8,53 = 110623,39$ грн/рік.

3.4. Перевірка формувальної здатності ребристого шлаковловлювача

Часто тонкі, ажурні, ступінчасті, ребристі поверхні на моделях можуть викликати труднощі при формовці, особливо на вертикальних поверхнях з невеликим формувальним уклоном. Формувальна суміш при формовці може залипати у внутрішніх кутах моделі і викликати обриви форми. Параметр який характеризує здатність набувати просторової форми, закріплювати і стабільно зберігати її протягом визначеного проміжку часу називається *формувальною здатністю*.

Для перевірки формувальної здатності запропонованого ребристого шлаковловлювача за допомогою розроблених 3D-моделей надруковано на 3D-принтері моделі шлаковловлювача, стояка і чаші (рис. 3.21).



Рисунок 3.21 – Надруковані на 3D-принтері моделі ЛЖС
з ребристим шлаковловлювачем

Для приготування формувальної суміші використовували лабораторні бігуни. Формовку здійснювали у такій послідовності. Встановили на столі підмодельну плиту. Встановили модель ЛЖС на підмодельній плиті роз'ємом до плити. Встановили на підмодельній плиті опоку площиною роз'єму вниз таким чином, щоб модель розташовувалась по центру опоки. Для запобігання налипання формувальної суміші на модель та підмодельну плиту, нанесли на поверхню роз'єму шар роздільного покриття. Насипали в опоку шар формувальної суміші товщиною 40...50 мм і утрамбовували його ручною трамбовкою. У міру ущільнення суміші, насипали нові порції, продовжуючи трамбування. Трамбування суміші здійснювали весь час вузькою трамбовкою за винятком верхнього шару суміші, який потрібно трамбувати плоскою трамбовкою. Потім зрізали лінійкою надлишок формувальної суміші в рівень з краями опоки. Перевернули опоку. Вийняли моделі ЛЖС з верхньої напівформи. Попередньо моделі слід злегка розгойдати.

Видалення моделі після формовки не викликало жодних труднощів. Огляд поверхні форми підтвердив задовільну формувальну здатність запропонованої конструкції ребристого шлаковловлювача (рис. 3.22).

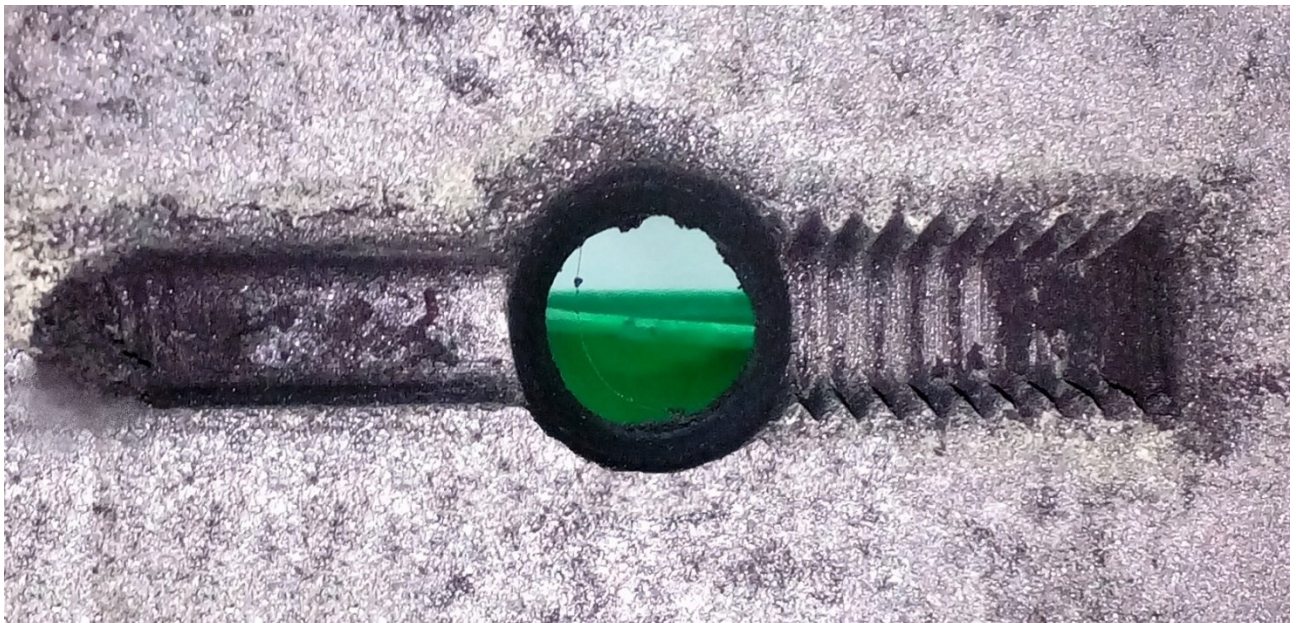


Рисунок. 3.22 – Відбиток каналу ребристого шлаковловлювача

3.5. Висновки і рекомендації по розділу

1. Розглянуто причини утворення шлакових включень і способи їх запобігання. Крім технологічних засобів що стосуються якісної підготовки металу перед заливкою (рафінування і дегазація, вистоявання для впливання шлаку, видалення шлаку, застосування чистих, не окислених матеріалів) суттєву роль відіграє спокійне безперервне заливання металу та правильно спроектована ливниково-живильна система, особливо, такий важливий її елемент, як шлаковловлювач.

2. Використання найпоширеніших ливникових систем (гальмуючих, дросельних, з відцентровими шлаковловлювачами, дощових, сифонних) для підвищення ефективності затримки шлаку пов'язане зі збільшенням витрат металу на ливниково-живильну систему, і як наслідок, призводить до збільшення собівартості литва.

3. Для досягнення необхідних вимог до шлаковловлювача, а саме, надійного вловлювання шлаків та зниження швидкості руху розплаву в ливниках, що забезпечує плавне заповнення форми сплавом, але без додаткових витрат металу, запропоновано оригінальну конструкцію ребристого шлаковловлювача.

4. Результати параметричного моделювання течії розплаву в каналі ребристого шлаковловлювача показали зменшення швидкості потоку по висоті перерізу шлаковловлювача у порівнянні з традиційним шлаковловлювачем на 0,028 м/с або 14,5 %. Це дозволило зменшити довжину шлаковловлювача до першого живильника. Очікувана економія металу складає 0,26 %. У перерахунку на річну програму 10000 т придатного литва очікуваний економічний ефект становить 12968,7 кг/рік, або 110623,39 грн/рік.

5. Виготовлена з використанням моделі ребристого шлаковловлювача форма показала задовільну формувальну здатність.

6. Отримані результати досліджень мають рекомендаційний характер і потребують практичної перевірки у виробничих умовах.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти розв'язане важливе науково-технічне завдання розробки технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кронштейн СТА-202» з підвищенням якості литва на основі дослідження впливу конструкції шлаковловлювача на ефективність затримки шлаку.

При розв'язанні даного завдання вирішено наступні задачі:

- вибране обладнання та описано роботу ливарного цеху;
- розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кронштейн СТА-202»;
- досліджено вплив конструкції шлаковловлювача на ефективність затримки шлаку та розроблено рекомендації щодо підвищення якості та зменшення собівартості литва.

Обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху. Описано роботу плавильного, формувально заливно вибивного, стержньового, сумішоприготувального, очисного відділень, діляниць обрубки та ґрунтовки виливків, складів шихтових матеріалів, модельного оснащення та готової продукції, відділу технічного контролю та лабораторії, адміністративних та побутових приміщень. Для плавки металу було обрано дугові електропечі ДСП-10 ємністю 10т. Описано будову печі, наведено її технічні характеристики. Для виготовлення форм обрано автоматичні ливарні лінії ІЛ-225. Описано будову лінії та її технічні характеристики. Для виготовлення стержнів обрано стержневі автомати 4509А. Описано будову стержневого автомата та його технічні характеристики. Для відбивання ливників та очистки поверхні відливків застосовується галтувальний барабан ОБ-90, очистка поверхні здійснюється також в дробометній камері мод. 86414, зачистка залишків ливників виконується на обдирно-шліфувальних верстатах мод. 3М634.

Виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок. Описано послідовність розробки технологічного процесу виготовлення

виливка. Розроблені технічні умови на виливок. Виконано розрахунок ливниково-живильної системи. Описано процес проектування ливарного оснащення. Описано технологію виготовлення форми, наведено характеристику матеріалів, приведено параметри заливки форми, вибивки, обрубки виливків. Наведено параметри та способи технічного контролю якості виливків.

Проведений аналіз причин утворення шлакових включень і способів їх запобігання показав, що крім технологічних засобів що стосуються якісної підготовки металу перед заливкою (рафінування і дегазація, вистоявання для спливання шлаку, видалення шлаку, застосування чистих, не окислених матеріалів), суттєву роль відіграє спокійне безперервне заливання металу та правильно спроектована ЛЖС, особливо, такий важливий її елемент, як шлаковловлювач. Проте, використання найпоширеніших ливникових систем (гальмуючих, дросельних, з відцентровими шлаковловлювачами, дощових, сифонних) для підвищення ефективності затримки шлаку пов'язане зі збільшенням витрат металу на ЛЖС, і як наслідок, призводить до збільшення собівартості литва. З метою надійного вловлювання шлаків та зниження швидкості руху розплаву в ливниках, що забезпечує плавне заповнення форми сплавом, але без додаткових витрат металу, запропоновано оригінальну конструкцію ребристого шлаковловлювача. Результати параметричного моделювання течії розплаву в каналі ребристого шлаковловлювача показали зменшення швидкості потоку по висоті перерізу шлаковловлювача у порівнянні з традиційним на 0,028 м/с або 14,5 %. Це дозволило зменшити довжину шлаковловлювача до першого живильника. Очікувана економія металу складає 0,26 %. Виготовлена з використанням моделі ребристого шлаковловлювача форма показала задовільну формувальну здатність. Але отримані результати досліджень мають рекомендаційний характер і потребують практичної перевірки у виробничих умовах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Н. А. Рибальченко. Проектирование литейных цехов. Харьков: Издательство Ордена трудового Красного Знамени Государственного университета им. А.М. Горького, 1965. – 307с.
2. Логвинов И. З. Проектирование литейных цехов. Минск: Высшая школа, 1975. – 320с.
3. Методичні вказівки до проєктивних занять по дисципліні «Проектування ливарних цехів» для студентів спеціальності 8.090205 / В.І. Кудя, О.В. Скрипник – Кіровоград: КДТУ. 1999. – 27с.
4. В.К. Могилев, О. И. Лев. Справочник литейщика. – М.: Машиностроение, 1988. – 271с.
5. Проектирование машиностроительных цехов и заводов: Справочник (под ред. Е. С. Ямпольского) – М.: Машиностроение, 1984. – 414с.
6. Туманський Б. Ф. Проектування ливарних цехів. – К.: НМКВО, 1992. – 188с.
7. Сазонов В.Я. Справочник по литейному оборудованию. М.: Машиностроение, 1985. – 320с.
8. Основы проектирования литейных цехов и заводов / под ред. Б. В. Кнорре. – М.: Машиностроение, 1985. – 320с.
9. Сумцов В. П. Устаткування ливарних цехів. – К: ІСДО, 1993. – 552с.
10. Оборудование литейных цехов / П. Н. Аксенов. – М.: Машиностроение, 1977. – 510с.
11. Зейгер И. Б. Оборудование литейных цехов. – М.: Высш. школа, 1980. – 368с.
12. Методические указания к дипломному проектированию для студентов специальности 0502 / И. Н. Москалев, А. П. Владимиров, В. С. Миронов. – Кировоград: КИСМ, 1985. – 75с.
13. Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине “Технология литейной формы” для специальностей 0202. Составители: В. С. Миронов, В. М. Телин, В. И. Кудя. – Кіровоград: КИСМ, 1995. – 75с.

14. В. М. Шестопал, Я. Т. Поляков. Технология и оборудование литейного производства. – М.: ВИНТИ, 1979. – 271с.
15. Москалев І. Н. Ливарні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. – К.: НМКВО, 1993. – 368с.
16. Титов И. Д., Степанов Ю. А. Технология литейного производства. – М.: Машиностроение, 1966. – 271 с.
17. Могилев В.К., Лев О.И. Справочник литейщика. – М.: Машиностроение, 1988. – 271 с.
18. Гиршович Н.Г. Справочник по чугуному литью. / Н. Г. Гиршович. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. – 758 с.
19. Куликов И. С. Десульфурация чугуна / И. С. Куликов. – Москва, 1962. – 306 с.
20. Дюдкин Д.А. Производство стали. Том 2. Внепечная обработка жидкого чугуна / Д. А. Дюдкин, В. В. Кисиленко. – М.: “Теплотехник”, 2008. – 400 с.
21. Воронова Н. А. Десульфурация чугуна магнием / Н. А. Воронова – М.: “Металлургия”, 1980. – 239 с.
22. Сабірзянов Т.Г.Теплотехніка ливарних процесів / Т.Г. Сабірзянов, В.М. Кропівний. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – 402 с.
23. Великанов К.М. Расчёты экономической эффективности новой техники. Справочник / под ред. К.М. Великанова. – М.: Машиностроение, 1975. – 432с.
24. Ямпольский Е.С. Проектирование машиностроительных заводов и цехов. Справочник. В шести томах. Т. 2. / Е.С. Ямпольский, В.М. Шестипал. – М.: Машиностроение, 1974. – 294 с.
25. Маслов А.Ф. Экономика, организация и планирование литейного производства. Учебн. Пос. Для машиностроительных техникумов/ А.Ф. Маслов. - М.: Машиностроение, 1975. – 325 с.
26. Великанов К. М. Экономика и организация производства в дипломных проектах: Уч. пособие / К. М. Великанов, Э. Г. Васильева. – М.: Машиностроение, 1986. – 285 с.

27. Економічні розрахунки при проектуванні ливарних цехів. Методичні вказівки до курсової та дипломної роботи для студентів спеціальності 8.090205 / укл. Сисоліна Н. П., Лебедева Л. В. – Кіровоград: КДТУ, 1993. – 63с.
28. Методичні вказівки по виконанню економічних розрахунків по «Організації та плануванню виробництва при проектуванні ливарних цехів» / І.Л. Шаповалов, І. Н. Москалев. Кіровоград: КДТУ, 1996. – 41с.
29. Березуцький В.В. Основи Охорони праці. Навч. Посібник / Березуцький В.В., Бондаренко Т.С., Валенко Г.Г. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Х.: Факт, 2007. – 480 с.
30. Глиняна Н. М. Охорона праці у ливарному виробництві: курс лекцій для студентів вищих навчальних закладів напряму 0904 “Металургія” / Н.М. Глиняна. – Краматорськ: ДДМА, 2009. – 184 с.
31. Жидецький В.Ц. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. – Львів, Афіша, 2000. – 352 с.
32. Гуменюк О. Л. Охорона праці. Методичні вказівки до виконання розділу “Охорона праці” в дипломних проектах для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня “бакалавр” галузі знань 0501 – інформатика та обчислювальна техніка / О.Л. Гуменюк – Чернігів: ЧДТУ, 2013. – 21 с.
33. Термодинамические свойства неорганических веществ: Справочник / Под ред. А.П. Зефирова. – М.: Атомиздат, 1965. – 460 с.
34. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с.