

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра: „Матеріалознавство та ливарне виробництво”

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою МЛІВ

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Олександр Кузик

“\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА** **за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти**

на тему:

**“Розробка процесу виготовлення виливка “Кришка передня” і розрахунок технологічних показників лиття”**

**“Development of the casting manufacturing process for the “Front cover” casting and calculation of the technological parameters of casting”**

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ПМ(ОЛ)-21

спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

\_\_\_\_\_ Ветров А.О.

“\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Віктор Ломакін

“\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет \_\_\_\_\_ механіко-технологічний \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ матеріалознавства та ливарного виробництва \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ бакалавр \_\_\_\_\_  
Галузь знань \_\_\_\_\_ прикладна механіка \_\_\_\_\_  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 131 – Прикладна механіка \_\_\_\_\_  
Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма  
\_\_\_\_\_ 131 – Прикладна механіка \_\_\_\_\_

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ  
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Ветров Антон Олександрович

прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: “Розробка процесу виготовлення виливка “Кришка передня” і розрахунок технологічних показників лиття”, затверджена наказом по університету №9-02 від 2.01.2025 р.
2. Керівник роботи: Ломакін Віктор Миколайович, к.т.н., доцент
3. Строк подання роботи до захисту: \_\_\_\_\_ .06.2025 р.
4. Мета кваліфікаційної роботи: вибір обладнання для ливарного цеху сірого чавуну та розробка процесу виготовлення виливка “Кришка передня”.

Завданням роботи є: аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок “Кришка передня”; проектування ливарної форми; конструювання та розрахунок ливникової системи; розрахунок технологічних показників лиття.

Креслення: технологічні вказівки на виготовлення виливка “Кришка передня”, нижня і верхня підмодельні плити з моделями, ливарна форма в зборі.

5. Консультанти по роботі із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Вибір обладнання для ливарного цеху сірого чавуну	Ломакін В. М.		
Аналіз конструкції деталі і технічних умов на вилівок “Кришка передня” і проектування ливарної форми	Ломакін В. М.		
Креслення	Ломакін В. М.		

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір обладнання для ливарного цеху сірого чавуну		
2.	Аналіз конструкції деталі і технічних умов на вилівок “Кришка передня ”; проектування ливарної форми		
3.	Креслення		
4.	Оформлення пояснювальної записки		
5.	Оформлення рецензії		
6.	Захист кваліфікаційної роботи		

Дата видачі завдання:

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис керівника

\_\_\_\_\_

Ломакін В. М.

(прізвище та ініціали)

Підпис здобувача

\_\_\_\_\_

Ветров А. О.

(прізвище та ініціали)

## **Анотація**

стор. 45, рис. 2, табл. 18, бібліографічних назв 3

### **Виливок, сірий чавун, електрична піч, плавка, формовка, формувальна лінія, технологічні показники**

Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти на тему “Розробка процесу виготовлення виливка “Кришка передня” і розрахунок технологічних показників лиття” складається із трьох розділів.

В першому розділі роботи вибрано обладнання для всіх виробничих ділянок ливарного цеху сірого чавуну і приведено його технічну характеристику.

В другому розділі роботи розроблено процес виготовлення виливка “Кришка передня” на формувальній комплексній автоматичній лінії моделі Л22821. Розроблена конструкція ливарної форми; вибрано розташування виливка в формі та кількість виливків на одну ливарну форму, розраховано ливниково-живильну систему для ефективною заливки розплаву чавуну.

В третьому розділі роботи виконано розрахунок технологічних показників лиття для виливка “Кришка передня”: часу затвердіння і охолодження виливка у піщано-глиняній формі і швидкості затвердіння.

## **Annotation**

Page 45, fig. 2, table. 18, bibliographic titles 3

### **Casting, gray cast iron, electric furnace, melting, forming, molding line, technological indicators**

Qualification work at the first (bachelor's) level of higher education on the topic “Development of the casting manufacturing process for the “Front cover” casting and calculation of the technological parameters of casting”.

In the second section of the work, the process of manufacturing the “Front cover” casting on the L22821 complex automatic molding line was developed. The design of the casting mold was developed; the location of the casting in the mold and the number of castings per mold were selected, and the sprue-feeding system was calculated for the effective pouring of molten iron.

In the third section of the work, the calculation of the technological indicators of casting for the “Front Cover” casting was performed: the time of solidification and cooling of the casting in the sand-clay mold and the rate of solidification.

Вступ.....	8
1. Обладнання ливарного цеху сірого чавуну .....	9
1.1. Вибір режиму роботи цеху .....	9
1.2. Розрахунок фондів часу .....	10
1.3. Шихтовий двір .....	11
1.4. Плавильна дільниця .....	12
1.4.1. Вибір плавильного обладнання .....	12
1.4.2. Сплави, що виплавляються в ливарному цеху .....	14
1.4.3. Розрахунок шихти для СЧ20 .....	16
1.5. Формувально-заливочно-вибивна дільниця .....	20
1.6. Сумішоприготувальна дільниця .....	22
1.7. Стержнева дільниця .....	23
1.8. Очисна дільниця .....	24
2. Розробка технологічного процесу виготовлення виливка	
“Кришка передня” .....	26
2.1. Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок .....	26
2.2. Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів .....	26
2.3. Проектування ливарної форми .....	27
2.3.1. Вибір припусків на механічну обробку, усадку, радіусів галтелей і формувальних кутів, розмірів стержнів та стержневих знаків .....	28
2.3.2. Конструювання і розрахунок ливникової системи форми .....	29
2.3.2.1. Визначення габаритних розмірів форми .....	29
2.3.2.2. Розрахунок оптимальної тривалості заливки .....	30
2.3.2.3. Розрахунок площі перерізу каналів ливникової системи .....	31
2.4. Опис технологічного процесу виготовлення виливка .....	34

2.4.1. Вибір формувальної та стержневої суміші .....	34
2.4.2. Формовка .....	35
2.4.3. Збирання форм .....	36
2.4.4. Заливка форм .....	36
2.4.5. Вибивка і обрубка .....	37
3. Розрахунок технологічних показників при виготовленні	
вливка “Кришка передня” .....	38
3.1. Основні положення теорії затвердіння А. Й. Вейніка .....	38
3.2. Вихідні дані, розрахунок та результати розрахунку .....	41
Висновок .....	43
Список літератури .....	45
Додатки.....	46

## ВСТУП

Ливарне виробництво сірого і високоміцного чавуну є однією з ключових галузей машинобудування, яка відіграє досить важливу роль в економіці України. Сучасні вимоги до якості та ефективності виробництва змушують підприємства цієї галузі шукати нові шляхи оптимізації процесів. Одним із ключових напрямків є автоматизація всіх етапів виробництва, починаючи від плавки в електropечах та закінчуючи контролем якості литих виробів.

Автоматизація дозволяє підвищити якість продукції, знизити витрати та збільшити продуктивність. Використання автоматичних ливарних ліній, ефективного обладнання для приготування формувальних і стержневих сумішей, а також автоматизація очистки виливків є кроком у майбутнє ливарної промисловості. Особливу увагу варто приділити автоматичним формувальним лініям, які дають можливість опочної і безопочної формовки.

В даній кваліфікаційній роботі показана важливість автоматизації у ливарному виробництві, зокрема на прикладі використання автоматичних формувальних ліній моделі Л22821, а також переваги такого обладнання у сучасних умовах виробництва [1, 2, 3].

## 1. ОБЛАДНАННЯ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ СІРОГО ЧАВУНУ

Згідно з завданням тема бакалаврської роботи “Розробка процесу виготовлення виливка “Кришка передня” і розрахунок технологічних показників лиття”. У відповідності з такою тематикою сформульовано мету і завдання роботи.

**Метою роботи є:** вибір обладнання для ливарного цеху сірого чавуну та розробка процесу виготовлення виливка “Кришка передня”.

**Завданням роботи є:** аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок “Кришка передня”, проектування ливарної форми, конструювання і розрахунок ливникової системи; виготовлення креслень технологічних вказівок, нижньої і верхньої підмодельних плит з моделями та форми в зборі; розрахунок технологічних показників лиття.

### 1.1. Вибір режиму роботи цеху

Режим роботи цеху приймається на основі виробничої програми та номенклатури відливоків. Раціональним для даних умов є режим роботи, що залежить від:

1. масштабу виробництва;
2. ваги виливків;
3. серійності виробництва;
4. роду металу і типу плавильних печей;
5. характеру технологічних процесів.

У зв'язку із зазначеним перерахованим вимогам для цеху в даній роботі приймається двозмінний паралельний режим роботи. Такий режим роботи виправдовує себе при масовому і крупносерійному виробництві.

Тривалість зміни приймаємо рівною 8 годинам. Робочий тиждень складається з 5 робочих днів.

## 1.2. Розрахунок фондів часу

Згідно з прийнятим режимом роботи ливарного цеху визначаються фонди часу роботи обладнання, робочих місць без обладнання та самих робочих. При цьому виходимо з положень законодавства про робочі та вихідні дні.

Розраховуємо дійсний фонд часу за формулою:

$$\Phi_{\text{д}} = \Phi_{\text{н}} \cdot \left(1 - \frac{f}{100}\right) \cdot S \quad (1.1)$$

де  $\Phi_{\text{д}}$  – дійсний фонд робочого часу обладнання;

$f$  – відсоток регламентованих простоїв обладнання;

$s$  – режим роботи (кількість змін);

$\Phi_{\text{н}}$  – Номінальний річний фонд часу, вираховується по формулі:

$$\Phi_{\text{н}} = 41 \cdot 52 - 8 \cdot 8 - 6 \cdot 1 = 2062 \text{ год}$$

Дійсний фонд часу робочого відрізняється від номінального фонду часу на величину втрат у зв'язку з невиходами на роботу по поважним причинам. Дійсний річний фонд часу та втрати часу для робочих зводимо до табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Дійсний річний фонд часу та втрати часу для робітників

Тривалість робочого тижня	Тривалість основної відпустки	Номінальний фонд часу, год	Відсотки втрат від номінального річного фонду	Дійсний фонд часу
41	15	2070	10	1860
41	18	2070	11	1840
41	24	2070	12	1820
36	24	1830	12	1610

Фонди часу обладнання беремо з довідкової літератури та заносимо до табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Фонди часу обладнання

Обладнання	Двозмінний режим роботи	
	Втрати номінального фонду часу, %	Дійсний річний фонд часу, год
Ливарне обладнання цехів крупносерійного і масового виробництва	5	3975
Автоматизовані формувальні та стержневі лінії	12	3645
Автоматизовані абразивні лінії для очистки литва	10	3725
Плавильне обладнання	6	3890

### 1.3. Шихтовий двір

На шихтовий двір всі матеріали прибувають залізничним транспортом, відходи виробництва іноді завозять автомобільним транспортом. Всі матеріали зберігаються окремо один від одного.

Постійно працює козловий кран. З його допомогою проходить завантаження. Сипкі матеріали завантажуються грейфером. Чавуни, сталі, відходи виробництва завантажують за допомогою електромагнітної шайби.

За допомогою електрично-зважувального візка ведеться завантаження шихти. Розрахунок і контроль шихтових матеріалів ведеться майстром зміни. Підготовлена шихта завантажується у баддю і транспортується до печі. Біля печі працює кран мостовий вантажопідйомністю 10т, який завантажує шихту у печі.

## 1.4. Плавильна дільниця

### 1.4.1. Вибір плавильного обладнання

Для плавки приймаємо індукційну тигельну піч типу GWJ 10-5000-0.3. Плавильний агрегат має індуктор – котушку, яку підключають до мережі змінного струму. При протіканні по котушці струму в оточуючому її просторі виникає змінне електромагнітне поле, при взаємодії з яким металеві тіла нагріваються.

Приймаємо 2 блоки, що складаються із двох індукційних тигельних печей GWJ 10-5000-0.3 кожний. Технічні характеристики печі представлені в табл. 1.3.

Піч може використовуватись як для плавки чавуну так і для плавки сталі. Піч відноситься до трифазних печей прямої дії. За допомогою гідроприводу піч може нахилитись для зливу метала та скачування шлаку. Піч обладнується водоохолоджувальними елементами кожуху, що дає можливість значно понизити витрату вогнетривких матеріалів. Управління піччю здійснюється за допомогою комп'ютерів промислового напрямлення, а потужність може регулюватись автоматичним регулятором потужності.

Таблиця 1.3 – Технічна характеристика печі GWJ 10-5000-0.3

Параметр	Значення	Одиниці виміру
Ємність електропечі	10	т
Номінальна потужність (споживана з мережі)	5000	кВт
Напруга живлення	750	В
Витрата електроенергії	515-530	кВт·год/т
Частота струму	0.3	В
Продуктивність	6	т/год
Габаритні розміри	3364x3100x3600	мм

Перед кожним запуском електропечі необхідно провести ретельний огляд тигля. Тигель не повинен мати тріщин, випуклостей, провалин. Якщо на внутрішній поверхні тигля виявлені місцеві провалини чи тріщини їх необхідно ліквідувати шляхом підмазки.

Після встановлення готовності електропечі до роботи, можна приступати до завантаження шихтових матеріалів в піч. Склад шихти підбирається відповідно до розрахунку шихти для отримання потрібного металу. Шихта повинна бути чистою, обезжиреною і сухою.

Порядок завантаження електропечі має велике значення. Шихта повинна бути укладена щільно, по можливості концентричними кільцями паралельно виткам котушки індуктора. Не можна допускати механічних ударів по футеровці. Виділення тепла в шихті залежить від діаметра шматків, які завантажуються і способу укладки їх в електропечі.

Рекомендується на дно тигля завантажувати, в першу чергу мілкі шматки шихтових матеріалів. Найбільш тугоплавкі складові шихти краще розміщати в самій гарячій точці, по периферії нижній третині висоти тигля. Далі, до верха тигля, вертикально закладаються відходи власного виробництва, чушки та інші складові шихти. Найбільш тугоплавкі із цих металів необхідно розміщати біля стінок тигля. Завантажувати тигель потрібно якомога щільніше.

Плавка сірого чавуна проводиться згідно з інструкціям ІТ-329-03-04 і ІТ-329-03-05. В період ведення плавки потрібно дотримуватися вище приведених правил.

Після завантаження шихтою тигля перед включенням печі необхідно подати воду в індуктор та інші елементи установки, котрі мають водяне охолодження.

Управління режимом плавки відбувається із шафи управління “тиристорним перетворювачем ТПЧ”. У разі порушення водоохолодження “тиристора”, автоматично знімається напруга з печі. На щиті загорається відповідна сигнальна лампа, і тигель повинен бути звільнений від рідкого металу.

Закінчення плавки визначається, коли досягнуто потрібний хімічний склад металу, а також температурна готовність розплавленого металу відповідає нормі ( $T=1450^{\circ}\text{C}$ ).

Після закінчення плавки і зняття напруги з печі, можна приступати до нахилу печі і розливу металу. Нахил печі виконується рівномірно, наглядаючи за струменем металу. Готовий метал зливають в ківш, який добре висушений і підігрітий. Після зливу металу, піч повертають в початкове положення і плавка може бути повторена знову.

Оптимальним режимом роботи електропечі є двозмінний режим роботи, в окремих випадках можлива періодична робота. Але часті, тривалі перерви негативно впливають на стан футеровки тигля, зменшуючи строк його служби. Тому електропіч допускається зупиняти на час, який не перевищуватиме трьох годин. При цьому рекомендується в тиглі залишати “болото”, тигель закривають азбестовим листом, а витрата води зменшується до мінімуму. В такому разі електропіч включати на повну потужність без додаткового завантаження строго забороняється.

Якщо тривала перерва перевищує три години, то метал зливають повністю, а тигель очищають і після цього необхідно організувати підігрів тигля пальником ( $T=700-800^{\circ}\text{C}$ ).

#### **1.4.2. Сплави, що виплавляються в ливарному цеху**

Сірий чавун це сплав заліза з вуглецем та іншими елементами, де вуглецю від 2,14 % до 6 %. Можливо отримати наступні види структур чавуну: білий чавун (весь вуглець знаходиться у вигляді цементиту); перлітний сірий чавун (перліт і пластинчатий графіт, в цьому чавуні 0,7-0,8 % C знаходиться у вигляді  $\text{Fe}_3\text{C}$ , який входить до складу перліту); феритно-перлітний сірий чавун (перліт, ферит і пластинчатий графіт, в цьому чавуні в залежності від розпаду евтектичного цементиту у зв'язаному стані знаходиться від 0,7 до 1 % C); феритний сірий чавун (в цьому випадку весь вуглець знаходиться у вигляді

графіту). Хімічний склад сплаву, для якого ведеться розрахунок цеху заносимо до табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Хімічні властивості сплаву СЧ 20

Марка сплаву	Вміст хімічних компонентів у сплаві, %				
	C	Si	Mn	S	P
СЧ 20	3,3 – 3,5	1,4 – 2,2	0,7 – 1,0	Не більше 0,15	0,2

Підвищення вмісту вуглецю в сірому чавуні призводить в загальному до зменшення міцності, модуля пружності і твердості і до збільшення пластичності і циклічної в'язкості. Нижня межа вмісту вуглецю в чавуні з підвищеною міцністю обмежується зниженням ливарних властивостей чавуну. Зазвичай вміст вуглецю в сірому чавуні коливається в межах 2,4-4,2 %.

Кремній з точки зору його впливу на графітизацію сірого чавуну є аналогом вуглецю. Однак його вплив на механічні властивості принципово відмінний від впливу вуглецю. Кремній утворює з феритом твердий розчин і підвищує твердість і міцність фериту, знижуючи одночасно його в'язкість. Сумарний (графітизуючий і легуючий) вплив кремнію може істотно змінювати механічні властивості сірого чавуну. Зазвичай підвищення вмісту кремнію пов'язано із зростанням величини графітових включень і підвищенням частки фериту в матриці; міцність сірого чавуну при цьому знижується. При високому вмісту кремнію знижується пластичність сірого чавуну за рахунок утворення сілікофериту. Твердість сірого чавуну зі збільшенням вмісту кремнію спочатку знижується внаслідок графітизації, а потім збільшується за рахунок утворення сілікофериту.

Марганець гальмує графітизацію, легує ферит, сприяє роздрібненню перліту і іноді утворенню вільних карбідів. Марганець, взаємодіючи з сіркою, нейтралізує її шкідливий вплив, тому вибір кількості марганцю повинен бути пов'язаний із вмістом сірки. При плавці чавуну з малим вмістом сірки, вміст марганцю слід знижувати.

Фосфор легує ферит, сприяє роздрібненню евтектичного зерна і утворення включень фосфідної евтектики. З підвищенням вмісту фосфору збільшується твердість і зносостійкість чавуну.

Механічні властивості СЧ20 наведено у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Механічні властивості сірого чавуну марки СЧ20

Марка чавуна	Тимчасовий опір розриву МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )	Відносне подовження, % не менше	Твердість, НВ
СЧ-20	200 (20)	-	143...255

### 1.4.3. Розрахунок шихти для СЧ20

Шихтою називається суміш основних і допоміжних матеріалів, що завантажуються в плавильну піч для отримання сплаву визначеного хімічного складу.

Для складання шихти необхідно знати хімічний склад сплаву, який треба отримати в литві, склад вихідних матеріалів, з яких буде складатися шихта, угар окремих елементів і тип плавильної печі.

Визначаємо масову частку  $i$ -го елемента в шихті яку необхідно забезпечити за формулою:

$$K_{\text{ш}} = (K_{\text{ip}} \cdot B) / 100 \pm \Delta K_i, \quad (1.2)$$

де  $K_{\text{ip}}$  – масова частка  $i$ -го елемента в розплавленому чавуні, %, що відповідає вмісту елемента у виливках;

$B$  – кількість отриманого розплавленого металу в процентах від маси металу завалки;

$\Delta K_i$  – угар або пригар  $i$ -го елемента.

$$S_{\text{ш}} = (1,9 \cdot 95) / 100 - 10 = 2,01\%$$

$$Mn_{ш}=(0,85 \cdot 95)/100-17=0,97\%$$

$$C_{ш}=(3,4 \cdot 95)/100-6=3,44\%$$

Масова частка сірки в шихті, де  $S_p$  – вміст сірки в рідкому металі:

$$S_{ш}=1,33 \cdot S_p-0,04 \quad (1.3)$$

$$S_{ш}=1,33 \cdot 0,12-0,04=0,11\%$$

Отримані результати заносимо до табл. 1.6., та визначаємо вміст в шихті кожного елемента.

Таблиця 1.6 – Склад шихти сплаву СЧ 20

№	Найменування компонента	Вміст в шихті, кг на 100 кг шихти	Масова доля елемента, %									
			C		Si		Mn		P		S	
			К	Ш	К	Ш	К	Ш	К	Ш	К	Ш
1	Чавун ливарний	45	4	1,8	2,6	1,17	0,5	0,23	0,06	0,03	0,03	0,01
2	Брухт сталевий	7	0,3	0,021	0,2	0,01	0,6	0,04	0,05	0,01	0,05	0,01
3	Брухт чавунний	18	3,3	0,597	2,4	0,43	0,8	0,14	0,15	0,03	0,04	0,01
4	Відходи власного виробництва	30	3,4	1,02	1,9	0,57	0,85	0,27	0,15	0,05	0,1	0,03
Всього		100	-	3,44	-	2,18	-	0,68	-	0,12	-	0,06
Середній вміст			3,44		2,01		0,97		до 0,15		до 0,2	
Необхідний склад		-	3,34-3,54		1,48-2,53		0,8-1,15		до 0,15		до 0,2	

З даної таблиці видно, що у даному складі шихти не вистачає марганцю, тому слід додати модифікатор – феромарганець (ФМн-78) у кількості 0,3 кг. Отримані результати заносимо до табл. 1.7, та визначаємо вміст в шихті кожного елемента.

Таблиця 1.7 – Кінцевий склад шихти для сплаву СЧ 20

№	Найменування матеріалу	Вміст в шихті, кг на 100 кг шихти	Масова доля елемента, %									
			C		Si		Mn		P		S	
			К	Ш	К	Ш	К	Ш	К	Ш	К	Ш
1	Чавун ливарний	45	4	1,8	2,6	1,17	0,5	0,23	0,06	0,03	0,03	0,01
2	Брухт сталевий	6,7	0,3	0,02	0,2	0,02	0,6	0,04	0,05	0,01	0,05	0,01
3	Брухт чавунний	18	3,3	0,597	2,4	0,43	0,8	0,14	0,15	0,03	0,04	0,01
4	Відходи власного виробництва	30	3,4	1,02	1,9	0,57	0,85	0,27	0,15	0,05	0,1	0,03
5	Феромарганець ФМн-78	0,3	1,5	0,003	2,5	0,01	85	0,26	0,3	0,001	0,03	0,0001
Всього		100	-	3,44	-	2,2	-	0,94	-	0,121	-	0,06
Середній вміст			3,44		2,01		0,97		до 0,15		до 0,2	
Необхідний склад		-	3,34-3,54		1,48-2,53		0,8-1,15		до 0,15		до 0,2	

Матеріальний баланс на 1 тону придатного литва наведено в табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Матеріальний баланс на 1 т придатного литва

№ п/п	Матеріал	Сплав	
		СЧ20	
		%	кг
Приходна частина			
1	Чавун ливарний	45	716,85
2	Брухт сталевий	6,7	106,73
3	Брухт чавунний	18	286,74
4	Відходи власного виробництва	30	477,9
5	Феромарганець	0,3	4,78
	Металозавалка	100	1105
Витратна частина			
1	Угар	5	70
2	Зливи	2,5	35
3	Ливнки	18,4	257,6
4	Брак	2,9	39,9
5	Придатне литво	71,2	1000
	Всього	100	1400

## 1.5. Формувально-заливочно-вибивна дільниця

Техніко-економічні показники формувального відділення, організація робіт та вибір обладнання в першу чергу залежать від способу виготовлення форм. В якості формувального обладнання в цеху приймається комплексна автоматична лінію моделі Л22821.

Таблиця 1.9 – Технічна характеристика лінії Л22821

№ п/п	Параметри	Одиниці вимірів	Модель Л22821
1	Розмір опок	мм	500x400
2	Висота опок	мм	150/150
3	Циклова продуктивність при висоті форм	форм/год	350
4	Кількість робітників, які обслуговують лінію	чол	6
5	Максимальне зусилля пресування	МПа	0,3-0,4
6	Витрати формівної суміші	м <sup>3</sup> /год	27
7	Кількість комплектів опок на лінію	шт.	240
8	Кількість одночасно використовуваних моделей	шт.	4
9	Витрати повітря	м <sup>3</sup> /хв	150
10	Тиск у гідросистемі	Мпа	4
11	Встановлена потужність	кВт	81,8
12	Габаритні розміри: — довжина — ширина — висота	мм	7200 1100 3000
13	Заглиблення лінії	мм	860
10	Маса	т	68

Комплексна автоматична лінія моделі Л22821 застосовується для виготовлення дрібних і середніх виливків. Суміш в опоці ущільнюється струшуванням з одночасною або наступною допресовкою.

Всі формувальні частини лінії з'єднані підлоговим горизонтально-замкнутим візковим конвеєром. Блоки можуть бути як лівого, так і правого поповнення, що дає можливість більш гнучко використовувати лінію для

випуску відливків різної номенклатури, монтувати лінію в уже існуючих цехах, в обмежених умовах працюючого цеху, забезпечувати технологічну гнучкість і надійну роботу (рис. 1.1).

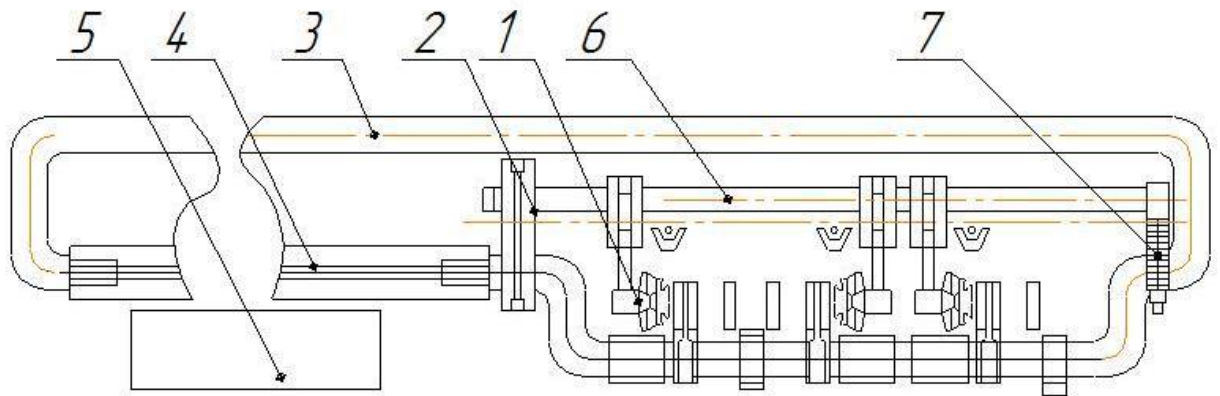


Рисунок 1.1. Комплексна автоматична лінія типу Л22821

1 – автоматичний формувальний блок; 2 – переміщувач; 3 – ливарний конвеєр; 4 – навантажувач форм; 5 – заливочний майданчик; 6 – роликівий конвеєр; 7 – установка для вибивки форм

Цикл виготовлення відливків включає наступні операції: зштовхування комплекту порожніх опок з візків безперервно рухомим конвеєром, розпаровку опок, роздільне формування верхньої і нижньої напівформ, витяжку моделей, установку напівформ на допоміжний конвеєр для установки стержнів, зборку форм, передачу зібраних форм на ливарний конвеєр, навантаження форм вантажем, заливку, охолодження і вибивку форм.

Простановка стержнів і заливка форм виконується вручну. Для як найповнішого використання можливостей лінії її доцільно застосовувати в комплексі з автоматизованою сумішопріготувальною установкою продуктивністю 40 м<sup>3</sup>/год. Для формовки використовується єдина піщано-глиняна суміш. Формувальний блок є карусельний чотирьопозиційний автомат з об'ємним дозуванням формувальної суміші. Навантажуються форми ланцюговим вантажоукладчиком. Вибивка виконується на вібраційних решітках.

Лінія оснащена електричною, гідравлічною, пневматичною і змішувальною системами. Управління лінією здійснюється дистанційно з центрального і допоміжних пультів.

Під формувальною лінією розміщені стрічкові конвеєри для збору суміші, що транспортують суміш яка просипається, до вибивної решітки. Далі суміш після вибивки збирається і транспортується до нахиленого стрічкового конвеєра. Цей нахилений конвеєр підіймає суміш на рівень іншого стрічкового конвеєра, що подає її на полігональне сито. Там більшість комів суміші розбивається, а суміш збирається в проміжний бункер, розміщений внизу. Із проміжного бункера суміш за допомогою реверсивного стрічкового конвеєра подається до охолоджувача. Охолоджувач суміші охолоджує її приблизно на +20°C вище ніж температури навколишнього середовища за допомогою повітря та води. Вода розпилюється на поверхню суміші, а повітря продуває її (аерація). Вологість та температура суміші контролюється за допомогою датчиків. Вміст вологи суміші на виході не повинен перевищувати 2-3%. Далі стрічковий конвеєр транспортує суміш до бункера де вона зберігається.

## 1.6. Сумішоприготувальна дільниця

Приймаємо змішувачі безперервної дії зі здвоєними вертикально-обертовими металевими катками моделі 15208А. Технічна характеристика змішувача наведена у табл. 1.10.

Таблиця 1.10 – Технічна характеристика змішувача безперервної дії зі здвоєними вертикально-обертовими металевими катками моделі 15208А

Технічні параметри	Значення	Одиниці виміру
Номінальна продуктивність	160	м <sup>3</sup> /Год
Об'єм замісу	3,7 x 2	м <sup>3</sup> /Год
Потужність	180	кВт
Діаметр чаші	2000	мм
Маса змішувача	50	т
Габаритні розміри	18,0 x 5,9 x 7,5	м

Приймаємо змішувач періодичної дії з вертикально-обертливими катками моделі S1110. Технічна характеристика змішувача наведена в табл. 1.11.

Таблиця 1.11 – Технічні характеристики змішувальних бігунів періодичної дії з вертикально-обертливими катками моделі S1110

Характеристики	Значення	Одиниці виміру
Об'ємподачи	110	кг/с
Тиск катка бігунів	0-1100	МПа
Діаметр диска	1000	мм
Продуктивність	1,5	т/год
Потужність двигуна	4	кВт
Габаритні розміри	1024x1474x1370	мм

### 1.7. Стержнева дільниця

Приймаємо стержневі піскодувні машини карусельного типу по нагріваємій оснастці моделі 4509А, технічні характеристики якої наведена у табл.1.12.

Таблиця 1.12 – Технічна характеристика піскодувної машини 4509А

Параметр	Значення	Одиниці виміру
Продуктивність	120 - 140	циклів/год
Найбільша маса стержня	10,0	кг
Розміри стержньових ящиків	600 x 400 x 200	мм
Габаритні розміри машини	4,7x3,9x2,9	м

## 1.8. Очисна дільниця

Для попередньої очистки відливок від залишків формувальної і стержневої сумішей та відбивання ливникової системи, використовуємо галтувальний барабан безперервної дії моделі Н26-4Л, технічна характеристика якого наведена в (табл.1.13).

Таблиця 1.13 – Технічна характеристика галтувального барабану безперервної дії моделі Н26-5Л

Найменування характеристик	Значення
Продуктивність при очищенні відливок із сірого чавуну, т/год	3
Частота обертання барабану, об/хв.	8,5
Кут нахилу, град	0...4
Маса відливка, яка очищається, кг	40
Найбільший розмір відливки, мм	700
Температура відливки, С	70
Кількість відсмоктуваного повітря, м <sup>3</sup> /год	7800
Потужність електродвигуна, кВт	22
Маса, кг	15460
Габаритні розміри, мм	7640x2570x2440

Для подальшої очистки відливок із чавуну використовуємо дробометний барабан періодичної дії моделі ДБ-20.

Приймаємо барабани моделі ДБ-20, технічна характеристика якого наведена в табл.1.14.

Таблиця 1.14 – Технічна характеристика дробометного барабану періодичної дії моделі ДБ-10

Параметри	Значення
Продуктивність, т/год	3
Найбільший розмір відливки, мм	2500-1100
Діаметр поворотного кола, мм	2500
Кількість дробометних апаратів	2
Потужність електродвигуна, кВт	47,6
Маса, т	36
Об'єм відсмоктуваного повітря, м <sup>3</sup> /год	8500
Габаритні розміри, мм	
довжина	6530
ширина	5700
загальна висота	9050
висота над підлогою	6300

Для обрубки ливників від відливків застосовуємо пневматичні рубильні молоти.

Для фінішної очистки відливків використовуємо шліфувально-обдирочні верстати, технічна характеристика яких наведена в табл. 1.15.

Таблиця 1.15 – Технічна характеристика обдирочно-шліфувального верстату

Характеристика	Величина	Одиниці
Діаметр круга	500	мм
Маса виливків, що оброблюється	20	кг
Годинна продуктивність	0,3...0,5	т/год

## **2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА “КРИШКА ПЕРЕДНЯ”**

### **2.1. Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок**

Виливок відноситься до XII класу точності, виготовляється із сірого чавуну марки СЧ-20 за ДСТУ 8833:2019 (Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови), допускається його виливання із чавуну марки СЧ-25 за ДСТУ 8833:2019. Різниця в товщині стінок не більше 3 мм, короблення не більше 2 мм, перекіс по площині роз'єму до 1,5 мм. На поверхнях, що оброблюються допускаються одиничні раковини. На поверхнях, що не оброблюються допускаються одиничні раковини розміром не більше 2 мм, глибиною не більше 1 мм.

Деталь "Кришка передня" являє собою частину гідравлічного насоса, що призначається для передачі рідин. Маса деталі 1,53 кг, габаритні розміри 118×90×26,2 мм, твердість на поверхні 170...220 НВ.

Деталь має 11 отворів, із них 4 отвори Ø9 мм, 4 отвори під різьбу М10, 2 отвори Ø5 мм, один отвір Ø20 мм. Також деталь не має з'ємних частин, роз'єм моделі і форми один.

Конструкція деталі є технологічною.

### **2.2. Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів**

Для виготовлення виливка "Кришка передня" застосовуємо автоматичну ливарну лінію типу Л22821 (див. схему у першому розділі роботи). На цій лінії весь процес отримання виливка, від операції формовки до вибивки готової форми є автоматизованим. Розмір опоки в світлі 500×400 мм. Висота верхньої опоки дорівнює висоті нижньої – 150 мм. Модельні плити односторонні, на одній

плиті змонтовані частини моделі для оформлення низу форми, на іншій – для верха.

Цикл виготовлення відливків включає наступні операції: зіштовхування комплекту порожніх опок з візків безперервно рухомим конвеєром, розпаровку опок, роздільну формовку верхньої і нижньої напівформ, витяжку моделей, установку напівформ на допоміжний конвеєр для постановки стержнів, зборку форм, передачу зібраних форм на ливарний конвеєр, навантаження форм грузами, заливку, охолодження і вибивку форм.

Постановка стержнів і заливка здійснюється вручну. Зважаючи що маса стержнів не перевищує 10 кг, то для їх отримання використовуємо універсальний стержневий автомат моделі 4509 А (табл. 2.1).

Стержні виготовляються у гарячих ящиках зі швидкотвердіючих термореактивних сумішей. Це дає можливість підвищити точність стержнів і точність виливків.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика пікострільного автомата моделі 4509А

Назва характеристики	Величина
Найбільша маса стержня, кг	10
Продуктивність, зйомів/год.	120...140
Розміри стержневого ящика, мм	600×400×200
Тривалість циклу,с	25
Ємність робочого резервуара, л	25
Потужність електродвигуна, кВт	140
Габарити, мм	4700×3900×3000
Маса, кг	13000

### 2.3. Проектування ливарної форми

У ливарній формі положення вилівка під час заливки приймаємо горизонтальним, оскільки оброблювані поверхні – посадочні місця на валу,

мають бути розташовані горизонтально для запобігання раковин, дефектів із-за забруднень, рихлості. При цьому поверхня роз'єму моделі і форми займає горизонтальне положення і є єдиною для даного виливка. Це полегшує застосування машинної формовки. Модель не має з'ємних частин. Роз'єм моделі і форми розташовується таким чином, що виливок знаходиться лише в нижній півформі. Такий роз'єм забезпечує хорошу набивку форми, її збирання, надійність встановлення стержнів, зручність контролю розмірів форми, вільне вилучення моделі із форми.

### **2.3.1. Вибір припусків на механічну обробку, усадку, радіусів галтелей і формувальних кутів, розмірів стержнів та стержневих знаків**

Розміри виливка мають відрізнятися від розмірів готової деталі на величину припусків на механічну обробку. Величину припусків для чавуну марки СЧ20 приймаємо по ДСТУ 8981:2020. На кресленні припуски показано тонкою лінією, по ДСТУ 8981:2020 для даної деталі припуск складає: для верхньої поверхні – 3,5 мм, для нижньої – 3 мм.

Припуск на ливарну (лінійну) усадку виражається у відсотках від розміру виливка і становить 1%.

Величину радіуса заокруглень приймається в межах  $1/5 \dots 1/3$  середнього арифметичного значення товщини спряжених стінок. Для даного відливка радіус заокруглень складає 5 мм.

Радіуси заокруглень проставляємо на кресленні деталі, не вказані радіуси вказуємо на вільному полі креслення.

Формувальні кути призначаємо в залежності від розмірів відливка і прийнятої технології виготовлення форми і стержня у відповідності з ДСТУ. Для даного відливка величина ливарних кутів складає  $2^\circ$ .

Розміри стержня вибираються з урахуванням припуску на механічну обробку і ливарну усадку. Розміри стержневих знаків приймаємо у відповідності з ДСТУ 3606-57. В залежності від номінального розміру отвору і відношення

довжини отвору до цього розміру вибираємо вертикальні знаки стержнів, нижній довжиною 20 мм, а нижній – 15мм.

Прийняті величини кутів знакових частин складають для нижнього знаку –  $7^\circ$  і для верхнього  $10^\circ$ . Величину зазорів між знаками і формою вибираємо в залежності від максимального розміру стержня. Для верхнього знаку торцевий зазор – 0,4 мм.

## **2.3.2. Конструювання і розрахунок ливникової системи форми**

### **2.3.2.1. Визначення габаритних розмірів опоки**

Габарити опоки визначаються габаритами відливка, числом відливоків в одній опоці, розмірами ливникової системи, правильністю розміщення моделей на підмодельній плиті. Правильність розміщення моделей на підмодельній плиті для даного розміру опок визначається коефіцієнтом металоемності, тобто співвідношення загальної ваги металу у формі до ваги формувальної та стержневої маси опоки. Коефіцієнт металоемності залежить від складності, товщини тіла і габаритів відливка і знаходиться у межах  $0,25 \dots 1,2$ .

Відстань між окремими моделями дорівнює  $(0,3 \dots 0,5) \cdot h$ , 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 відливоків, залитих через загальну ливникову систему, відстань в площині роз'єму між ними повинна бути  $\leq 20 \dots 25$  мм. Відстань від тіла відливка до стінок опок складає  $50 \dots 100$  мм, від стержневого знаку до бокової стінки опоки  $0 \dots 50$  мм.

Відстань від моделі до верхньої і нижньої площини рівна  $60 \dots 120$  мм. Враховуючи, що для виготовлення відливка застосовуємо автоматичну лінію з розмірами опоки  $500 \times 400 \times 150/150$  мм приймаємо кількість відливоків отримуємо в одній опоці рівним 6 шт.

### 2.3.2.2. Розрахунок 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:

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

де  $S_1$  – коефіцієнт,  $S_1 = 0,9$ ;

$\delta$  – середня товщина стінок відливка,  $\delta = 25,5$  мм;

$C_1$  – вага одного виливка з ливниковою системою, кг.

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

$$C_1 = 2 + 0,4 \cdot 2 = 2,8 \text{ кг}$$

Тоді:

$$t = 0,9 \cdot \sqrt[3]{25,5 \cdot 2,8} = 3,7 \text{ сек}$$

Середня швидкість підйому рівня металу у формі визначається по формулі:

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

де  $C$  – висота відливка, мм;

$t$  – оптимальна тривалість заливки, сек.

Отже,

$$V = \frac{33}{3,7} = 8,9 \text{ мм / сек.}$$

Розрахункова тривалість заливки забезпечує швидкість підйому рідкого металу у формі вище мінімально можливої.

### 2.3.2.3. Розрахунок площі перерізу каналів ливникової системи

Загальна площа живильників на один відливочок:

$$\sum F_{ж} = \frac{G \cdot 1000}{\mu \cdot t \cdot \gamma \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}}, \quad (2.4)$$

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

$\mu$  – коефіцієнт витрат металу,  $\mu = 0,35$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/сек<sup>2</sup>;

$H_p$  – середній метало статичний тиск, см.

Середній метало статичний тиск визначаємо за формулою:

$$H_p = H_0; \quad (2.5)$$

де  $H_0$  – висота металу в верхній опоці,  $H_0 = 150$  мм;

$$H_p = 150 \text{ мм}$$

$$\sum F_{жс} = \frac{2,1 \cdot 1,3 \cdot 1000}{0,35 \cdot 3,9 \cdot 7,2 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 15}} = 1,6 \text{ см}^2$$

Приймаємо трапецевидну форму поперечного перерізу живильника – (креслення БР - 131.22.05.02.01.00.00 КС).

Розраховуємо площу шлаковловлювача:

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

$$\sum F_{ш} = \sum F_{жс} \cdot 1,1 = 1,6 \cdot 1,1 = 1,76 \text{ см}^2$$

Для чотирьох відливків:

$$F_{ш1} = 1,76 \cdot 4 = 7,04 \text{ см}^2$$

Для двох відливків:

$$F_{ш2} = 1,76 \cdot 2 = 3,25 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу шлаковловлювача трапецевидною (лист БР - 131.22.05.02.01.00.00 КС).

Площа поперечного перерізу стояка:

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

$$F_{ст} = (7,04 + 3,25) \cdot 1,2 = 12,35 \text{ см}^2$$

Оскільки:

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

Діаметр стояка:

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

$$d_{ст} = \sqrt{\frac{4 \cdot 12,35}{3,14}} = 3,97 \text{ см}$$

Приймаємо  $d = 40$  мм (креслення БР - 131.22.05.02.01.00.00 КС).

Визначимо діаметр чаші:

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

$$D = 2,8 \cdot 40 = 112 \text{ мм}$$

Приймаємо  $d = 112$  мм (креслення БР - 131.22.05.02.01.00.00 КС).

Підмодельні плити і моделі вилівка виготовляються із сталі марки 45 (креслення БР-131.25.05.02.02.00.00 КС і БР-131.25.05.02.03.00.00 КС). Форма в зборі показана на кресленні БР-131.25.05.02.04.00.00 КС

## 2.4. Опис технологічного процесу виготовлення виливка

### 2.4.1. Вибір формувальної та стержневої суміші

В умовах масового і крупносерійного виробництва виливків рекомендується використовувати єдину формувальну суміш.

На автоматичній лінії моделі Л22821 використовується формувальна суміш з підвищеною рідкоплинністю. Склад та механічні властивості формувальної і стержневої сумішей приведені у таблицях 2.2 і 2.3.

Таблиця 2.2 – 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, %	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

Таблиця 2.3 – Склад стержневої суміші і її 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

#### 2.4.2. Формовка

Форми одержують машинною формовкою. За допомогою машин механізовано дві основні операції – ущільнення, видалення моделі з форми і деякі інші. Процес виготовлення форм в опоках іде таким шляхом: 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 формувальною сумішшю з бункера. Далі суміш ущільнюють, готову напівформу кантують, знімають надлишок суміші і виконують обдув форми. Потім напівформи транспортують на збирання.

### **2.4.3. Збирання форм**

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

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

### **2.4.4. Заливка форм**

Після плавки сірого чавуну в індукційній печі температура розплаву при заливці має бути 1320-1370°C. Заливка може виконуватись в рухому і нерухому форми. Розплавлений метал з печі подається у міксер, а потім попередньо в нагрітій ківш конічного типу ємністю 1т, який транспортується мостовим краном. Цей ківш встановлюють на спеціальному стенді для подальшої роздачі металу в розливні ковші.

Для заливки металу у ливарні використовують ковші “чайникового” типу ємністю 150 кг. Перед заливкою металу, видаляється шлак з розливного ковша. Підводиться ківш і встановлюється носок ковша над ливниковою чашею форми на відстані 150 – 200 мм. При заливці необхідно швидко заповнювати металом ливникову чашу і тримати її заповненою до кінця заливки форми. Забороняється переливати чашу, недолив чаші дозволяється – 20 мм. Заливка має бути безперервною. Після заливки залишки металу повинні зливатись у спеціальні форми. Тип плавильного агрегату вибирається в залежності від роду металу, а також вимог, які висуваються до якості відливок. Для плавки сірого чавуну використовується індукційна електропеч.

#### **2.4.5. Вибивка і обрубка**

Залиті та охолоджені форми подаються на вибивний пристрій. Коливання решітки передається суміші і виливкам. В цих умовах суміш просипається в шпори решітки, та поступає на подальшу переробку. Виливки сходять на пластинчатий конвеєр і далі подаються в галтувальний барабан в якому попередньо очищуються та охолоджуються.

Потім виливки транспортуються до прохідної дробометної камери, де вони очищаються від пригару. Остаточно виливки проходять зачистку від заусениць на наждачних верстатах.

По завершенню виливки проходять проміжний контроль (по всіх стадіях технологічного процесу) і кінцевий. Перевіряється хімічний склад, структура, геометричні розміри. Поверхневі дефекти визначають візуально.

### 3. РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРИ ВИГТOTOВЛЕННІ ВИЛИВКА “КРИШКА ПЕРЕДНЯ”

#### 3.1. Основні положення теорії затвердіння А. Й. Вейніка

Для розрахунку технологічних показників лиття вилівка “Кришка передня” використаємо теплову теорію затвердіння А. Й. Вейніка. Згідно з цією теорією тепловий процес у вилівку розділяється на п'ять стадій:

1) охолодження металу при заповненні форми. Стадія починається при температурі заливки  $T_{\text{зал}}$  і закінчується за час  $\tau_1$ ; до моменту закінчення стадії можливе утворення твердої кірки товщиною  $x_1$ ;

2) відведення теплоти перегріву. Вихідними величинами для даної стадії є  $\tau_1$  і  $x_1$ ; вона закінчується в момент досягнення в центрі вилівка температури кристалізації  $T_{\text{кр}}$  або ликвідусу в разі сплаву; цьому моменту відповідають час  $\tau_2$  і товщина твердої кірки  $x_2$ ;

3) затвердіння вилівки. Вихідні величини  $\tau_2$  і  $x_2$ , кінцеві -  $\tau_3$  і  $x_3$ ; стадія закінчується в момент зникнення рідини в центрі вилівка;

4) охолодження затвердого вилівка у формі. Вихідні величини  $\tau_3$  і  $x_3$ , кінцеві -  $\tau_4$  і  $x_4$ ;

5) охолодження вилівка після вилучення з форми.

Таким чином, параметри, що характеризують початок даної стадії, є завершальними для попередньої стадії.

Розглянемо більш докладно лише третю найважливішу стадію теплового процесу - затвердіння вилівка. Нехай маємо найпростіший випадок плоского вилівка. Припустимо, що затвердіння металу відбувається при постійній температурі  $T_{\text{кр}}$ . При наявності інтервалу кристалізації в якості величини  $T_{\text{кр}}$  можна вибрати середню температуру між ліквідусом і солідусом. Припустимо, що вилівок охолоджується в середовищі з температурою  $T_{\text{ср}}$ ; відведення теплоти з поверхні вилівка відбувається за законом Ньютона з коефіцієнтом тепловіддачі  $\alpha$ .

Обидві ці величини в загальному рішенні приймаються постійними, але для конкретних випадків вони можуть визначатися змінними. Навколишнім середовищем виступає ливарна форма.

Вважається, що з моменту початку процесу минув час  $\tau_2$  і товщина затверділої шару склала величину  $x_2$ .

Згідно з тепловою теорією затвердіння А.Й.Вейніка для характеристики температурного поля тіла виливка або форми використовується парабола  $n$  – го порядку (рис. 3.1):

$$T = -(T_{кр} - T_n) \left(\frac{y}{\xi}\right)^n + T_{кр} \quad (3.1)$$

де  $T_{кр}$  – температура кристалізації сплаву, °С;

$T_n$  – температура поверхні виливка, °С;

$y$  – змінна координата, що відраховується від границі затвердіння в напрямку до поверхні виливка, м;

$\xi$  - товщина кірки, що затверділа до моменту часу  $\tau$ , м;

$n$  – показник параболи, вибір якого підпорядковується особливими умовами.

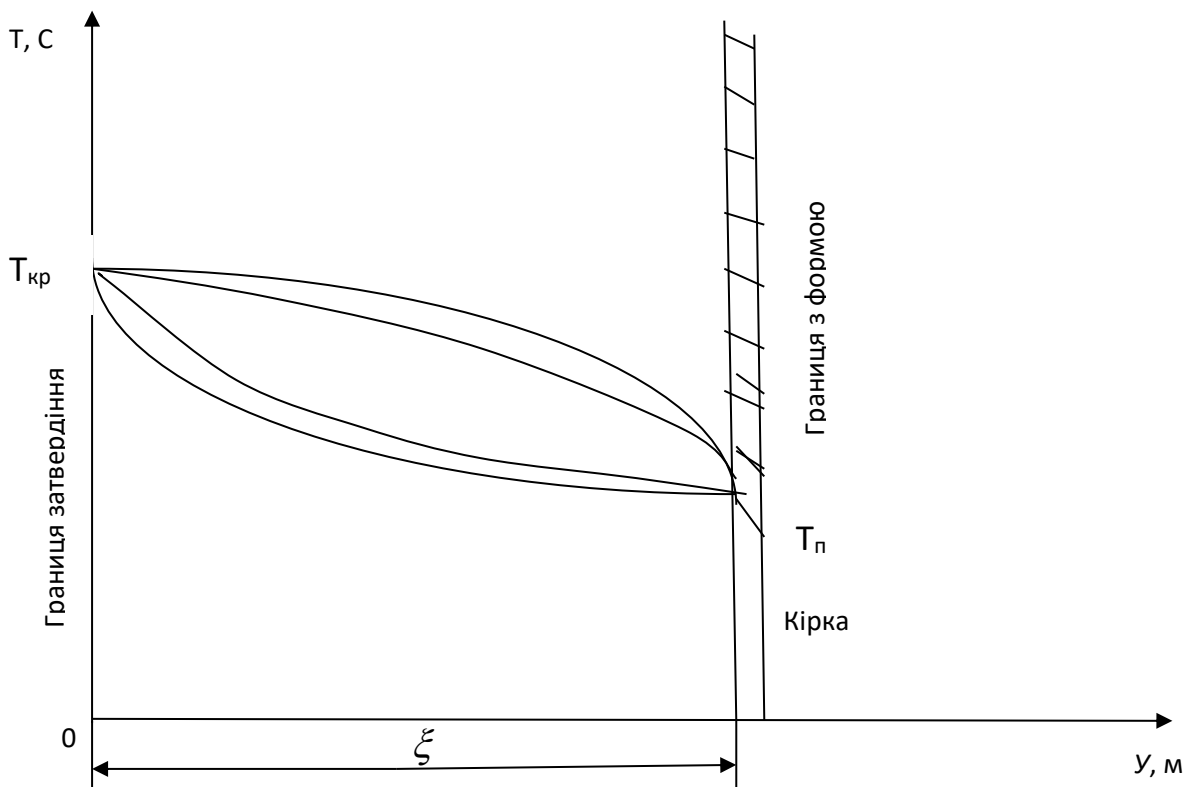


Рис. 3.1 – Температурне поле виливка в піщано-глиняній формі

Розглянемо стінку виливка “Кришка передня” як плоску стінку. Час затвердіння виливка типу “плита” визначається як безрозмірна величина:

$$F_0 = A_1(\delta - \delta_2) + A_2(\delta^2 - \delta_2^2) + A_3 \ln \frac{1 + \frac{\delta B_i}{n}}{1 + \frac{\delta_2 B_i}{n}} \quad (3.2)$$

де  $\delta$  - безрозмірна товщини стінки виливка;

$\delta_2$  - безрозмірна величина кірки, що з'явилась під час відведення теплоти перегріву;

$A_1, A_2, A_3$  - коефіцієнти;

$Bi = \frac{\alpha}{\lambda} l$  - критерій Био.

де  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності сплаву, Вт/(м×К);

$l$  - товщина стінки виливка, м;

$\alpha = \frac{\lambda_\phi}{l_\phi}$  - коефіцієнт конвективної тепловіддачі від виливка до форми;

де  $l_\phi$  - товщина стінки форми;

$\lambda_\phi$  - коефіцієнт теплопровідності формувальної суміші, Вт/м×К;

$$\delta_1 = 1; \delta_2 = 0; \quad (3.3)$$

$$A_1 = \frac{1}{B_i} \left( L + \frac{1}{n+1} \right); \quad (3.4)$$

$$A_2 = \frac{1}{2n} \left( L + \frac{1}{n+1} \right); \quad (3.5)$$

$$A_3 = -\frac{n}{n+1} \frac{1}{B_i^2}; \quad (3.6)$$

$$L = \frac{\rho_{кр}}{c(T_{кр} - T_c)}; \quad (3.7)$$

де  $\rho_{кр}$  - теплота кристалізації;

$c$  - теплоємність сплаву;

$T_{кр}$  - температура кристалізації сплаву;

$T_c$  - температура стінки форми.

Оскільки  $F_0 = \frac{a\tau}{l^2}$  – критерій Фур'є і  $a = \frac{\lambda}{c\rho}$  – коефіцієнт температуропровідності, маємо розмірний час затвердіння виливка типу "плита":

$$\tau = \frac{F_0 l^2 c \rho}{\lambda}, \quad (3.8)$$

де  $\rho$  - густина сплаву, кг/м<sup>3</sup>;

### 3.2. Вихідні дані, розрахунок та результати розрахунку

Розрахунки виконувалися при таких вихідних даних:

- 1) товщина стінки відливка "Кришка передня" – 16,4 мм;
- 2) товщина стінки форми – 40 – мм;
- 3) коефіцієнт теплопровідності розплаву чавуну СЧ-20 – 16,7 Вт/(м град);
- 4) густина розплаву – 6970 кг/м<sup>3</sup>;
- 5) теплоємність розплаву – 840 Дж/(кг град);
- 6) коефіцієнт теплопровідності чавуну (твердого) марки СЧ-20 – 42 Вт/(м град);
- 7) густина чавуну – 7200 кг/м<sup>3</sup>;
- 8) теплоємність чавуну марки СЧ20 – 560 Дж/(кг град);
- 9) коефіцієнт теплопровідності матеріалу піщано-глинистої форми – 0,705 Вт/(м град);
- 10) густина матеріалу форми – 1580 кг/м<sup>3</sup>;
- 11) теплоємність матеріалу форми – 1620 Дж/(кг град);
- 12) температура ліквідусу – 1473 °К;
- 13) температура солідусу – 1453 °К;
- 14) початкова температура розплаву – 1673 °К;
- 15) початкова температура ливарної форми – 293 °К;

Метою розрахунку було визначення часу і швидкості затвердіння відливка “Кришка передня” у багатомісній ливарній формі, виготовленій при опочній формовці на автоматичній лінії моделі Л22821 (див. другий розділ).

Використаємо теорію затвердіння А.Й. Вейніка для розрахунку виливка “Кришка передня” для випадку низької інтенсивності охолодження в піщаній формі

Безрозмірна прихована теплота кристалізації:

$$L = \frac{\rho_{кр}}{c(T_{кр} - T_c)} = \frac{139216}{560(1150 - 20)} = 0,22$$

Критерій Біо для виливка “Кришка передня”

$$Bi = \frac{\alpha}{\lambda} \cdot x = \frac{\lambda_{\phi}}{l_a \cdot \lambda} \cdot x = \frac{0,705}{0,04 \cdot 16,7} \cdot 16,4 \cdot 10^{-3} = 0,02 \ll 1,$$

Отримали низьку інтенсивність охолодження виливка.

Обмежившись першим доданком в (3.2) і прийнявши для температури квадратичну параболу, визначаємо час затвердіння виливка:

$$F_0 = A_1(\delta - \delta_2) + A_2(\delta^2 - \delta_2^2) + A_3 \ln \frac{1 + \frac{\delta B_i}{n}}{1 + \frac{\delta_2 B_i}{n}} =$$

$$= \frac{1}{B_i} \left( L + \frac{1}{n+1} \right) (\delta - \delta_2) = \frac{1}{0,02} \left( 0,22 + \frac{1}{2+1} \right) (1 - 0) = 28 \text{ сек}$$

Швидкість затвердіння виливка “Кришка передня” становить:

$$v = \frac{V}{F \cdot \tau} = \frac{213}{321 \cdot 28} = 0,02 \text{ мм/сек}$$

де  $V$  – об’єм виливка;

$F$  – площа поверхні виливка;

Отримані розрахункові дані можуть бути використані для оптимізації техпроцесу.

## **Висновок**

Вибрано обладнання і приведено його технічну характеристику для виробництва виливків в ливарному цеху сірого чавуну.

Розроблено процес виготовлення виливка “Кришка передня” на формувальній лінії моделі Л22821. Розроблена конструкція ливарної форми; вибрано розташування виливка в формі та кількість виливків на одну ливарну форму; розраховано ливниково-живильну систему для ефективної заливки розплаву чавуну.

Виконано розрахунок технологічних показників лиття виливка “Кришка передня” .

## Список літератури

1. Хричиков В.Е., Меньяло О.В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. Видання друге, доопрацьоване. Дні-пропетровськ: НМетАУ, 2015. – 89 с.
2. Бялік Г.А., Наумик В.В., Луньов В.В., Пархоменко А.В. Теорія ливарних сплавів. Навчальний посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – 156 с. – ISBN: 978-617-529-068-2.
3. Бялік О.М., Черненко В.С., Писаренко В.М., Москаленко Ю.Н. Металознавство: Підручник. – 2-ге видання, перероб. і доп. – Київ: Політехніка, 2002. – 384 с. – ISBN: 966-622-090-3.

# ДОДАТКИ