

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 “Підшипник”
з сірого чавуну марки СЧ20 у піщано-глиняній формі з
горизонтальним роз'ємом півформ”**

**“Development of a process for manufacturing a “Bearing”
casting from gray cast iron of the EN-GJL-200 brand in a
sand-clay mold with a horizontal connector of half molds”**

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ПМ-22-1

спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

_____ Гриценко І.М.

“ _____ ” _____ 2026 р.

Керівник роботи

к.т.н., доцент

_____ Віктор Ломакін

“ _____ ” _____ 2026 р.

Рецензент _____

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 виливок “Підшипник” 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 виливок “Підшипник”; проектування ливарної форми		
3.	Креслення		
4.	Оформлення пояснювальної записки		
5.	Оформлення рецензії		
6.	Захист кваліфікаційної роботи		

Дата видачі завдання:

“ _____ ” _____ 2026 р.

Підпис керівника

Ломакін В. М.

(прізвище та ініціали)

Підпис здобувача

Гриценко І. М.

(прізвище та ініціали)

Анотація

стор. 43, рис. 8, табл. 14, бібліографічних назв 3

Виливок, сірий чавун, електрична піч, плавка, формовка, автоматична формувальна лінія

Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти на тему: “Розробка процесу виготовлення виливка “Підшипник” з сірого чавуну марки СЧ 20 у піщано-глиняній формі з горизонтальним роз'ємом півформ” складається із двох розділів.

В першому розділі роботи вибрано обладнання і приведено його технічну характеристику для виробництва виливків в ливарному цеху сірого чавуну.

В другому розділі роботи розроблено процес виготовлення виливка “Підшипник” на комплексній автоматичній лінії типу Л22821. Розроблена конструкція ливарної форми, прийнято розташування виливка у формі та кількість виливків на одну ливарну форму, розраховано ливниково-живильну систему для заливки розплаву чавуну.

Виконані креслення технологічних вказівок на виготовлення виливка “Підшипник” та нижньої і верхньої плит з моделями.

Annotation

Page 43, fig. 8, table. 14, bibliographic titles 3

Casting, gray cast iron, electric furnace, melting, molding, automatic molding line

The qualification work for the first (bachelor's) level of higher education on the topic: “Development of a process for manufacturing a “Bearing” casting from gray cast iron grade SCh 20 in a sand-clay mold with a horizontal split of the half-molds” consists of two sections.

In the first chapter of the work, the equipment is selected and its technical characteristics are given for the production of castings in a gray cast iron foundry.

In the second section of the work, a process for producing a "Bearing" casting on a type L22821 integrated automatic line was developed. The mold design was developed, the casting's placement within the mold and the number of castings per mold were determined, and the gating and feeding system for pouring the molten iron was calculated.

Drawings of technological instructions for the production of the Bearing casting and the lower and upper plates with models have been completed.

Зміст

	стор.
Вступ.....	7
1. Обладнання ливарного цеху сірого чавуну	8
1.1. Вибір режиму роботи ливарного цеху	8
1.2. Розрахунок фондів часу	9
1.3. Плавильне відділення	10
1.3.1. Сплави у ливарному цеху	10
1.3.2. Розрахунок шихти для плавки СЧ 20	12
1.3.3. Вибір плавильного обладнання	15
1.4. Фрмувально-заливочно-вибивне відділення	19
1.5. Сумішеприготувальне відділення	23
1.6. Стержневе відділення	24
1.7. Очисне відділення	25
2. Технологія виготовлення виливка “Підшипник”	28
2.1. Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок	28
2.2. Проектування ливарної форми	30
2.2.1. Визначення положення виливка у формі і вибір поверхні роз’єму форми	30
2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку	31
2.2.3. Вибір радіусів закруглень та ливарних кутів	32
2.2.4. Припуски на усадку	33
2.2.5. Конструювання та розрахунок ливникової системи ливарної форми	33
2.2.5.1. Вибір місця підводу металу та типу ливникової системи	33
2.2.5.2. Розрахунок площі перерізу каналів ливникової системи	35
2.3. Опис процесу виготовлення виливка “Підшипник”	37
2.4. Процес проектування ливарної оснастки	37
Висновок	41
Список літератури	42
Додатки	44

ВСТУП

Ливарне виробництво деталей із сірого чавуну займає важливе місце в сучасному машинобудуванні завдяки поєднанню високих технологічних і експлуатаційних властивостей матеріалу. Однією з найбільш поширених марок є сірий чавун СЧ20, який характеризується достатньою міцністю, добрими ливарними властивостями, високою оброблюваністю різанням та здатністю гасити вібрації. Завдяки цьому виливки із СЧ20 широко застосовуються для виготовлення корпусних деталей, станин, кришок, шківів та інших елементів машин і механізмів [1].

Важливим напрямом розвитку сучасного ливарного виробництва є автоматизація технологічних процесів, яка дозволяє підвищити продуктивність, стабільність якості продукції та знизити вплив людського фактора. Автоматизовані ливарні лінії забезпечують точніше дотримання режимів формування, заливання та охолодження виливків, що позитивно впливає на структуру та властивості готової продукції [2].

Особливе значення у виробництві якісних чавунних виливків мають формувальні матеріали та властивості ливарних форм. Одними з найважливіших характеристик форм є їх податливість і газопроникність. Податливість форми забезпечує можливість компенсації усадкових процесів під час охолодження та кристалізації металу, що зменшує ймовірність виникнення тріщин і внутрішніх напружень у виливках. Газопроникність, у свою чергу, сприяє ефективному відведенню газів і парів із порожнини форми під час заливання металу, що дозволяє знизити ризик утворення газових раковин, пористості та інших дефектів [3].

Таким чином, поєднання автоматизованого ливарного виробництва, правильного вибору режимів лиття та забезпечення необхідних властивостей формувальних сумішей є важливою умовою отримання якісних виливків із сірого чавуну СЧ 20 з високими експлуатаційними характеристиками.

1. ОБЛАДНАННЯ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ СІРОГО ЧАВУНУ

Згідно з завданням, тема бакалаврської роботи: “Розробка процесу виготовлення виливка “Підшипник” з сірого чавуну марки СЧ 20 у піщано-глиняній формі з горизонтальним роз'ємом півформ”. 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 “Підшипник”.

Завданням роботи є: аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок “Підшипник”; проектування ливарної форми; конструювання та розрахунок ливникової системи; виготовлення креслень технологічних вказівок і модельних комплектів.

1.1. Вибір режиму роботи ливарного цеху

Режим роботи цеху встановлюється на основі аналізу виробничої програми та характеру виготовлення відливків. Оптимальний для даних умов режим роботи залежить від масштабу виробництва, ваги виливків, серійності виробництва, роду металу і типу плавильних печей, характеру технологічних процесів.

Усім перерахованим вимогам для даного цеху відповідає двозмінний паралельний режим роботи, при якому третя зміна використовується для профілактики та ремонту обладнання. Цей режим роботи виправдовує себе при масовому і крупносерійному виробництві та при високій механізації технологічних процесів. Враховуючі усі ці фактори приймаємо двозмінний паралельний режим роботи усіх дільниць. Тривалість зміни приймаємо рівною 8 годинам. Робочий тиждень складається з 5 робочих днів.

1.2. Розрахунок фондів часу

У відповідності з прийнятим режимом роботи ливарного цеху необхідно визначити фонди часу роботи обладнання, робочих місць без обладнання та самих робочих. При визначенні фондів часу 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. Плавильне відділення

1.3.1. Сплави у 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 Fe_3C , 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. 1.3.

Таблиця 1.3 – 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

Вплив вуглецю. 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.

Вплив вуглецю і кремнію на механічні властивості сірого чавуну зазвичай розглядають спільно. У загальному випадку враховують сумарний вміст вуглецю і кремнію, більш точним є спосіб визначення вуглецевого еквівалента або ступеня евтектичності.

Вплив сірки. Послаблюючи границю зерен, евтектика Fe - FeS знижує міцність і пластичність чавуну. З іншого боку, сірка сприяє перлітизації структури і може підвищувати міцність і твердість феритного або ферито-перлітного сірого чавуну. Крім того, сірка підвищує зносостійкість чавуну.

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 СЧ-20 наведено у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Механічні властивості сірого чавуну марки СЧ20

Марка чавуна	Тимчасовий опір розриву МПа (кгс/мм ²)	Твердість, НВ
СЧ 20	200 (20)	170...229

1.3.2. Розрахунок шихти для плавки СЧ 20

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.

Визначасмо 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_{ip} – масова частка i -го елемента в розплавленому чавуні, %, що відповідає вмісту елемента у виливках;

V – кількість отриманого розплавленого металу в процентах від маси металу завалки;

ΔK_i – угар або пригар i -го елемента.

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

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

$$C_{ш}=(3,4 \cdot 95)/100-6=3,44\%$$

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. 1.5., та визначаємо вміст в шихті кожного елемента.

Таблиця 1.5 – Склад шихти для 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 лігатуру – феромарганець (ФМп -78) у кількості 0,3 кг. Отримані результати заносимо до табл. 1.6., та визначаємо вміст в шихті кожного елемента.

Таблиця 1.6 – 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	Феромарга- нець 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	

1.3.3. 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.

Технічні характеристики печі представлені в табл. 1.7. а схема – на рис. 1.1.

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.

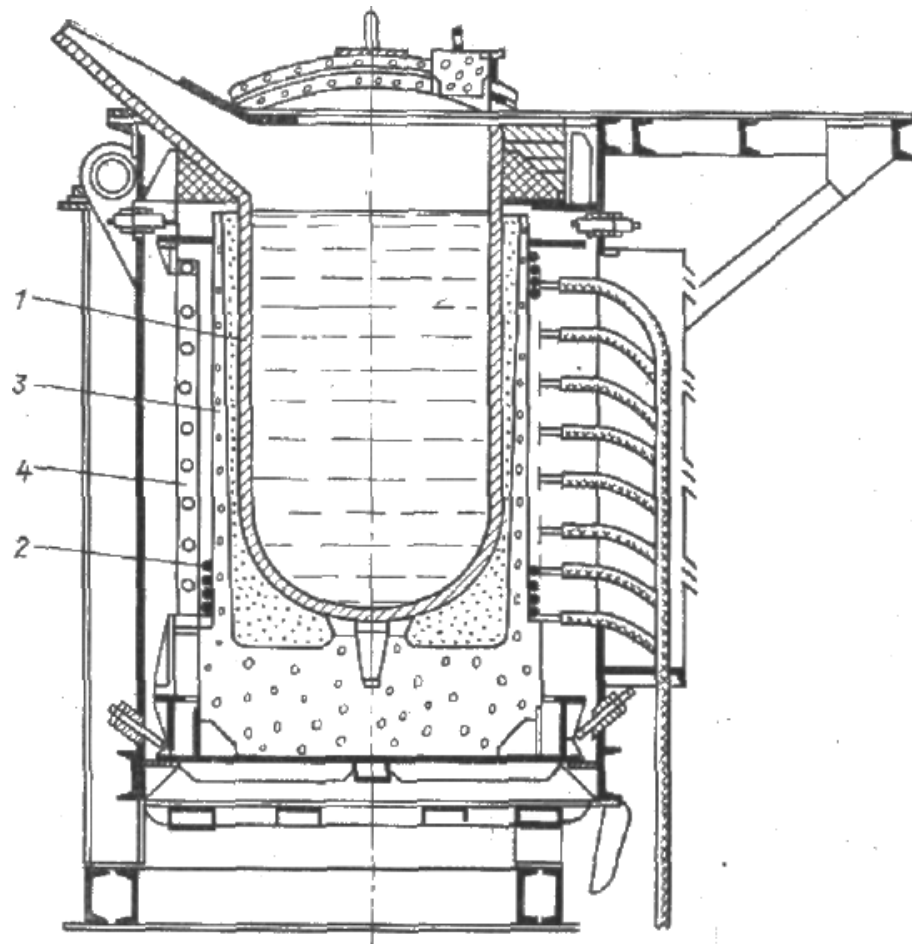


Рис. 1.1 – Індукційна тигельна піч

1 – сталевий тигель; 2 – індуктор; 3 - набивна футеровка;
4 – магнітопровід

Таблиця 1.7 – 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

Обслуговування електропечі під час плавки виконується плавильником.

Плавильник в процесі плавки через певні відрізки часу повинен:

- присаджувати шихту, щоб не утворювалась порожнина між розплавленим металом і верхнім шаром шихти;
- вести постійний нагляд за водоохолодженням індукційної тигельної печі: тиском і температурою води, за станом футеровки електропечі, за положенням стрілок на приладах щитка управління;
- підтримувати необхідну потужність під час всього періоду плавки металу в електропечі.

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.

Завантаження шихти. 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 м'які 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 типовими інструкціями. 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 трьохзмінний 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 ($T=700-800^{\circ}\text{C}$).

Аварійна зупинка печі під час плавки. В усіх випадках аварійної зупинки електропечі при тому що в тиглі є розплавлений метал, коли час ліквідації аварії не буде перевищувати 1 години, або аварію не визвано виходом тигля з роботи, індуктора чи системою водоохолодження, метал може залишатися в тиглі. При

цьому тигель закривається азбестовим листом, потік води зменшується на стільки, щоб температура води на зливі була 40-50°C, і метал витримують до кінця ліквідації аварії. В інших випадках необхідно повністю злити метал і організувати підігрів тигля.

Злив металу виконують у виливницю, або приямок розташований поряд з електропіччю. Про всі випадки виникнення аварійних ситуацій майстром чи плавильником заносяться відповідні записи в плавильний журнал і доповідаються начальнику цеху.

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

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

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

1.4. Формувально-заливочно-вибивне відділення

Ступінь механізації в ливарних цехах визначається головним чином механізацією формувально-заливочно-вибивного відділення, оскільки в ньому виконуються операції формовки, зборки, заливки, охолодження та вибивки відливок, трудомісткість яких складає 60% від загальної трудомісткості виготовлення відливок. Тому даний проект передбачає механізацію та автоматизацію як окремих операцій так і усього комплексу робіт, зв'язаних технологічно і операційно.

Техніко-економічні показники формувального відділення, організація робіт та вибір обладнання в першу чергу залежать від способу виготовлення

форм. Основними факторами що забезпечують вибір формовки, є характер виробництва, вага, габарити та клас точності відливок, рід металу, вид виконавчої програми та потужність проектуемого цеху. Враховуючи усі ці фактори, в якості формувального обладнання в цеху приймаємо комплексну автоматичну лінію типу Л22821.

Для виготовлення ливарних форм приймається автоматична лінія моделі Л22821. Технічні характеристики лінії наведені в табл. 1.8.

Комплексна автоматична лінія моделі Л22821 призначена для виготовлення дрібних відливок з великою різноманітністю по висоті і складності конфігурації. Суміш в опоці ущільнюється струшуванням з одночасною або подальшою допресовкою.

Таблиця 1.8 – Технічні характеристики 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 ³ /год	27
7	Кількість комплектів опок на лінію	шт.	240
8	Кількість одночасно використовуваних моделей	шт.	4
9	Витрати повітря	м ³ /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

Конструкція лінії передбачає одно-, двох- або три-блочне виконання. Всі формувальні блоки 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 відливок різної номенклатури, монтувати лінію в уже існуючих цехах, в обмежених умовах працюючого цеху, забезпечувати технологічну гнучкість і надійну роботу (рис. 1.2).

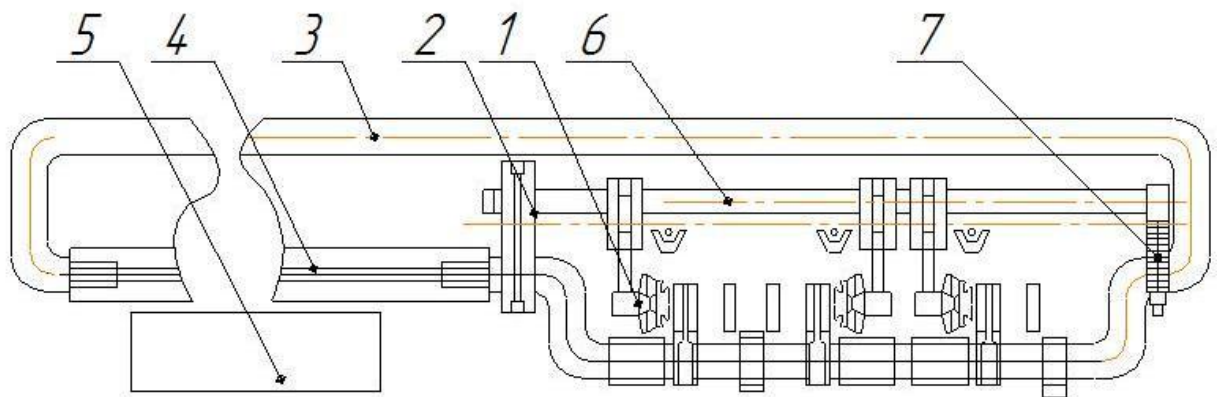


Рис. 1.2 – Комплексна автоматична лінія типу Л22821

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

Цикл виготовлення відливок 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 сумішоприготувальною установкою продуктивністю 40 м³/год. Для формовки використовується єдина піщано-глиняна суміш. Формувальний блок є карусельний чотирьохпозиційний автомат з об'ємним дозуванням формувальної суміші. Навантажуються форми ланцюговим вантажоукладчиком. Вибивка виконується на вібраційних решітках.

Лінія оснащена електричною, гідравлічною і пневматичною 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 $+20^{\circ}\text{C}$ 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.

Перед подачею суміші до змішувача, вона зволожується до потрібного рівня температури та зважується. Після змішування формувальна суміш транспортується до бункера над формувальним автоматом. Усі стрічкові конвеєри оснащені аварійними тросами, мостиками та захисними ковпаками, де це необхідно. Магнітні сепаратори та шківни встановлені для захисту стрічкових конвеєрів та для видалення скрапу із суміші.

1.5. Сумішоприготувальне відділення

Для сумішоприготувального відділення приймаємо змішувач безперервної дії зі здвоєними вертикально-обертovими металевими катками моделі 15208А. Технічна характеристика змішувача наведена у табл.1.9.

Таблиця 1.9 – Технічна характеристика змішувача безперервної дії зі здвоєними вертикально-обертovими металевими катками моделі 15208А

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

Для стержневого відділення приймаємо змішувач періодичної дії з вертикально-обертovими катками моделі S1110. Технічна характеристика змішувача наведена у табл.1.10.

Таблиця 1.10 – Технічні характеристики змішувальних бігунів періодичної дії з вертикально-обертovими катками моделі S1110

Характеристики	Значення	Одиниці виміру
Об'ємподачі	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

1.6. Стержневе відділення

У стержневому відділенні ливарного цеху при виробництві виливків із сірого чавуну стержні виготовляють для утворення внутрішніх порожнин, отворів і складних каналів у деталях. Від якості стержнів значною мірою залежить точність геометрії та якість поверхні майбутнього виливка, тому до них висуваються вимоги щодо міцності, газопроникності та термостійкості.

Основою для виготовлення стержнів є стержнева суміш, яка у класичному варіанті складається переважно з кварцового піску як основного наповнювача. Як зв'язуючі матеріали використовують глину, рідше — рідке скло або органічні добавки. До складу також можуть входити невеликі кількості води для надання пластичності та органічні домішки, такі як тирса або декстрин, які покращують газопроникність і вибиваємість стержнів після заливки. Типовий склад такої суміші містить приблизно 92–96% піску, 3–5% глини та невеликі добавки допоміжних компонентів залежно від технології.

Процес виготовлення починається з підготовки суміші, що включає просіювання піску, дозування компонентів та їх ретельне перемішування до отримання однорідної маси. Важливо забезпечити правильну вологість і пластичність, оскільки це безпосередньо впливає на якість формування стержня. Далі суміш подається у стержневі ящики, де відбувається формування.

Одним із класичних способів є ручна набивка стержнів. Вона полягає в пошаровому засипанні стержневої суміші у стержневий ящик і її ущільненні вручну за допомогою трамбівок та інших ручних інструментів. Особлива увага приділяється ущільненню кутів, тонких ділянок та місць складної конфігурації, оскільки саме там найчастіше виникають дефекти. У разі необхідності у конструкцію стержня встановлюють дротяні каркаси або арматуру для підвищення міцності. Також формують вентиляційні канали для забезпечення виходу газів під час заливки металу. Після завершення набивки стержень обережно виймають із ящика для подальшої обробки.

Ручна набивка застосовується переважно в умовах одиничного або дрібносерійного виробництва, а також при виготовленні великих або складних за формою стержнів. Її основною перевагою є гнучкість технології, оскільки дозволяє виготовляти вироби складної конфігурації без дорогого обладнання, а також забезпечує точний контроль ущільнення матеріалу. Недоліками є низька продуктивність та значна залежність якості від кваліфікації робітника.

Після формування стержні обов'язково підлягають сушінню, яке виконується у камерних сушильних печах з примусовою циркуляцією гарячого повітря. Таке обладнання забезпечує рівномірний нагрів і стабільні умови сушіння по всьому об'єму камери. Сушіння необхідне для видалення вологи, підвищення міцності та зменшення газоутворення під час заливки чавуну. Режим сушіння залежать від розмірів стержня та складу суміші: для невеликих стержнів температура зазвичай становить 150–200 °С при тривалості 1–3 години, тоді як для великих може досягати 200–350 °С із тривалістю до 10–12 годин. Важливо уникати різкого нагрівання, щоб не викликати появу тріщин і деформацій.

Після сушіння стержні можуть додатково покриватися спеціальними протипригарними фарбами для покращення якості поверхні вилівка та зменшення пригару металу. Завершальним етапом є контроль якості, під час якого перевіряють міцність, геометричну точність, відсутність дефектів і відповідність технологічним вимогам. Готові стержні зберігаються в сухих приміщеннях на стелажах до моменту використання у ливарній формі.

1.7. Очисне відділення

Для попередньої очистки відливків від залишків формувальної і стержневої сумішей та відбивання ливникової системи, використовуємо галтувальний барабан безперервної дії моделі Н26-4Л, технічна характеристика якого наведена в (табл.1.11).

Таблиця 1.11 – 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 ³ /год	7800
Потужність електродвигуна, кВт	22
Маса, кг	15460
Габаритні розміри, мм	7640x2570x2440

Для подальшої очистки відливоків із чавуну використовуємо дробометний барабан періодичної дії моделі ДБ-20, технічна характеристика якого наведена в табл.1.12.

Для фінішної очистки відливоків використовуємо шліфувально-обдирочні верстати, технічна характеристика яких наведена в табл. 1.13.

Таблиця 1.12 – 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 ³ /год	8500
Габаритні розміри, мм	
довжина	6530
ширина	5700
загальна висота	9050
висота над підлогою	6300

Таблиця 1.13 – 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. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА “ПІДШИПНИК”

2.1. Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок

Деталь – підшипник (рис.2.1) [БР-131.26.03.02.01.00.00. КС] отримують литтям у формах з горизонтальним розємом із сірого чавуну марки СЧ 20. Точність литого виробу 11Т-10 ДСТУ EN 12890/ EN 1371. Твердість 170-220 НВ, невказані ливарні радіуси до 3 мм, невказані ливарні кути $2^{\circ} \dots 3^{\circ}$. Маса деталі 1,27 кг, габаритні розміри 162×64мм.

Підшипник має досить складну конфігурацію ззовні. Бокові поверхні мають ребра жорсткості, а також радіуси. Деталь має 5 отворів, із них 3 отвори $\varnothing 12$ мм, один $\varnothing 40$ мм та отвір який призначений під різьбу М10. В місцях де механічна обробка деталі непередбачена шорсткість поверхні забезпечується формувальною сумішшю, допускаються ливарні раковини розмірами $\varnothing 4 \times 1$ мм та призначаються мінімальні припуски на механічну обробку. Загалом конструкція деталі технологічна.

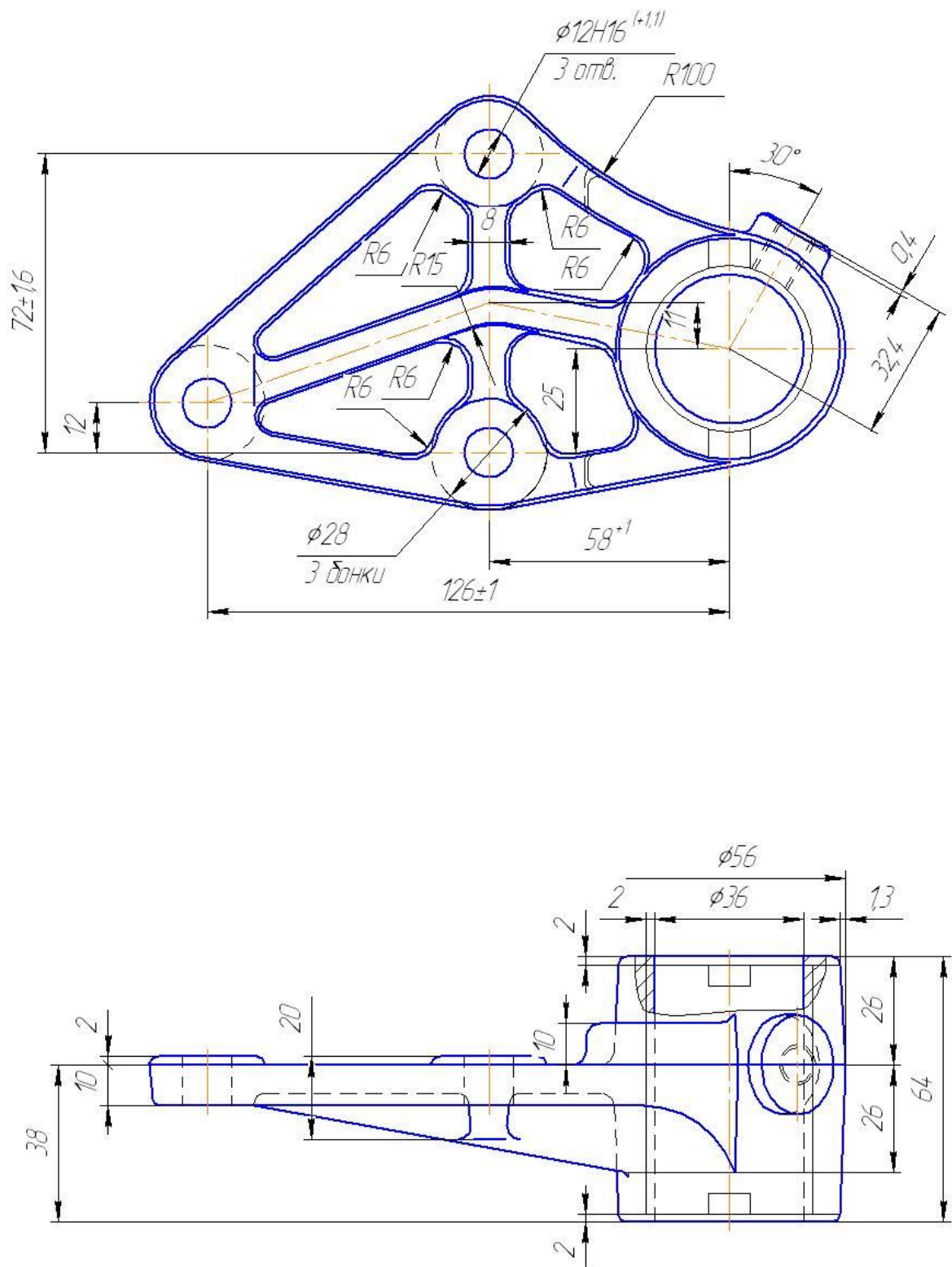


Рис 2.1 – Підшипник

2.2. Проектування ливарної форми

2.2.1. Визначення положення виливка у формі і вибір поверхні роз'єму форми

Для отримання якісного виливка слід обрати раціональний роз'єм форми. Площина роз'єму визначається конструкцією литого виробу, технологічними вимогами та іншими конструктивними особливостями відливка. При цьому необхідно користуватись загальними положеннями з технології ливарного виробництва:

- кількість площин роз'єму має бути мінімальною;
- роз'єм форми має забезпечити зручність контролю розмірів форми;
- поверхня роз'єму повинна по можливості бути плоскою;
- роз'єм форми бажано мати таким, щоб не було підвісних стержнів, а головні стержні мали зручне розташування;
- роз'єм повинен бути вибраний так, щоб бази механічної обробки розташовувались в одній частині форми з оброблюваними поверхнями та не перетинались площиною роз'єму .

Проаналізувавши всі вимоги, прийняли горизонтальну площину роз'єму. Площину роз'єму форми показано на кресленні технологічних вказівок [БР-131.26.03.02.01.00.00. КС] та на рис. 2.1.

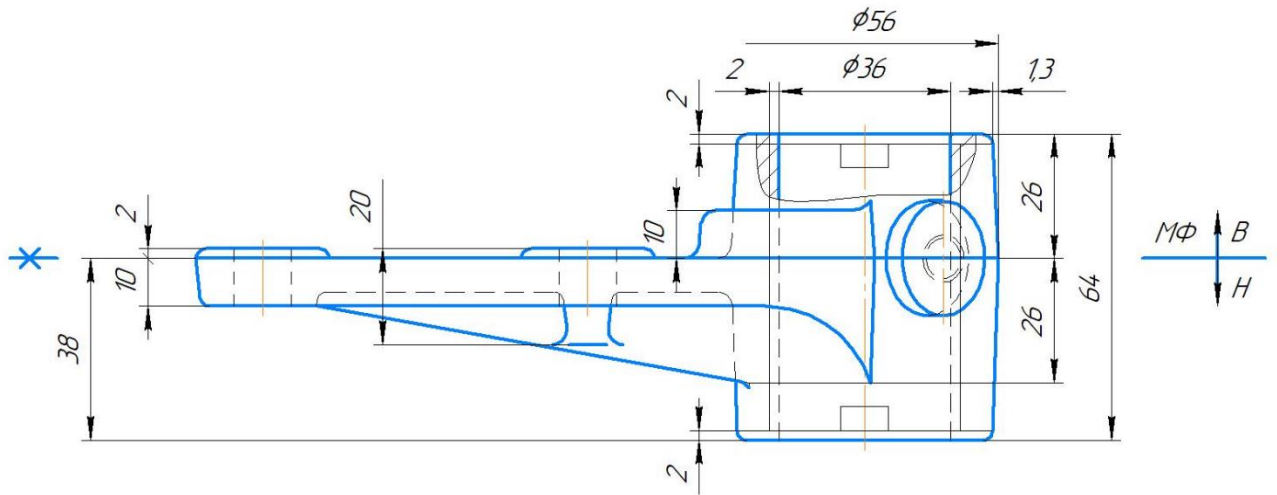


Рис 2.2 – Площина роз'ємну виливка

2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку

Величину припусків для високоміцного чавуну марки СЧ20 приймаю по ДСТУ ISO 8062-3. Припуски на механічну обробку для поверхонь зводимо у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Припуски механічну обробку виливка

Найбільший розмір	Положення при заливці	Найменший розмір
2,0	Ліва (Поверхня А і Г рис. 2.3)	2,0
2,0	Права (Поверхня В і Г рис. 2.3)	2,0
4,0	Внутрішня поверхня (Поверхня Б рис. 2.3)	2,0

Припуски на механічну обробку деталі підшипник показані на рис. 2.3.

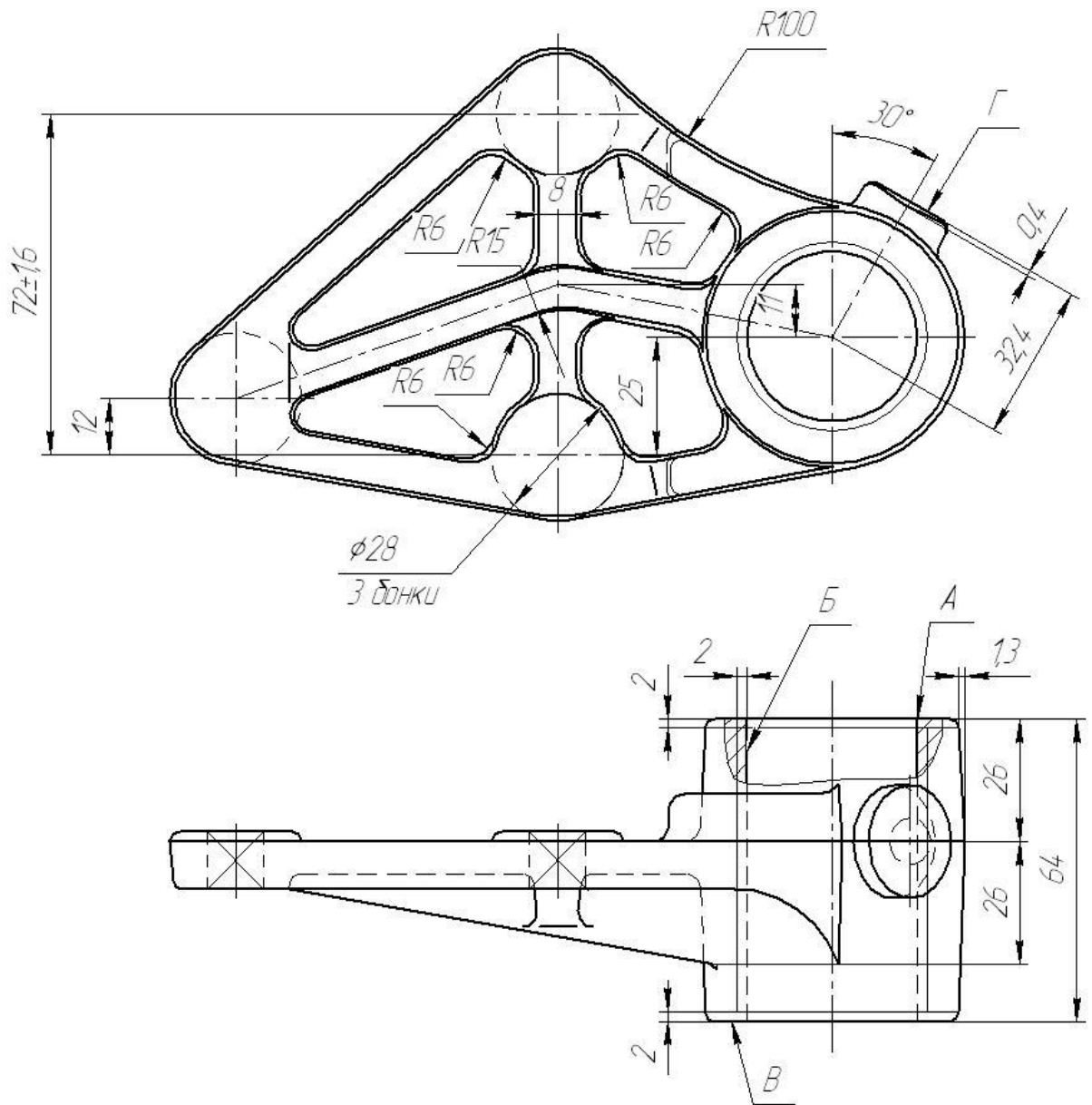


Рис. 2.3 – Підшипник з нанесеними припусками на механічну обробку

2.2.3. Вибір радіусів закруглень та ливарних кутів

Радіуси закруглень регламентовані ДСТУ ISO 8062-1:2007, ISO 8062-2, ISO 2787. На креслені вказані не всі значення округлень, але вони занесені в технічні вимоги на відливки, як і ливарні уклони:

- невказані ливарні уклони – $5^{\circ}\dots 8^{\circ}$;
- ливарні радіуси – 2...3 мм.

2.2.4. Припуски на усадку

Зазвичай усадка виражається у % від розмірів відливка. Приймаю лінійну усадку для високоміцного чавуну марки СЧ 20 – 1,0%.

2.2.5. Конструювання та розрахунок ливникової системи ливарної форми

Ливниково – живильна система складається з послідовно з'єднаних між собою каналів, за допомогою яких рідкий метал підводять у порожнину ливарної форми. Зазвичай ливникова система складається з: ливникової чаші або воронки, стояка та живильників. Живильник безпосередньо примикає до робочої порожнини форми та повинен бути виконаний так, щоб можна було б відокремлювати його від відливка без пошкоджень останнього.

2.2.5.1. Вибір місця підводу металу та типу ливникової системи

Місце підводу металу приймаю збоку (рис. 2.4). Конструкцію ливникової системи вибираю типову: звужуючу, бокову. При проектуванні ливників слід враховувати габаритні розміри відливка підшипника і габаритні розміри форми. При цьому приймаю розмістити у кожній ливарній формі по чотири відливка підшипника (БР-131.26.03.02.03.00.00. КС). Ливникова система містить: одну заливочну воронка, один стояк; чотири живильника, через які розплав потрапляє у робочі порожнини форми.



Рис. 2.4 – Схема вибору місця підведення металу

Оптимальна тривалість заливки визначається за формулою:

$$t = S \cdot \sqrt{\delta \cdot G_1} \quad (2.1)$$

$$G_1 = G + 0,4G \quad (2.2)$$

де S – коефіцієнт, що враховує тип і складність ливникової системи; при заливанні чорних сплавів приймається рівним 2;

δ – середня товщина стінки відливка, мм;

G_1 – вага відливка з ливниковою системою, кг;

G – вага відливка, кг;

0,4 – частка на ливники від маси відливка:

$$G = 1.27 + 0,4 \cdot 1.27 = 1.778 \text{ кг}$$

Тоді:

$$t = 2.2 \cdot \sqrt{1.778} = 2.94 \text{ сек}$$

Середня швидкість рівня підйому металу у формі визначається по формулі:

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

де C – висота відливка у формі, мм;

t – оптимальна тривалість заливки, сек.

$$V = \frac{100}{2.94} = 34.01 \text{ мм / сек.}$$

Оскільки у форму заливають розплав сірого чавуну і середня товщина виливка знаходиться у межах 8-15 мм, то виходячи з умови, що $V > 20$ мм/с оптимальна тривалість заливки забезпечує необхідну швидкість підйому рідкого металу у формі.

2.2.5.2. Розрахунок площі перерізу каналів ливникової системи

Загальна площа живильників на один відливок:

$$\sum F_{жс} = \frac{G}{0.31 \cdot \mu \cdot t \cdot \sqrt{H_p}}, \quad (2.4)$$

де G – вага одного відливка, кг;

μ – коефіцієнт опору ливникової системи і порожнини форми, $\mu = 0,4$;

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 стояка від місця підводу в форму, $H_0 = 18.5$ см;

p – висота відливка над рівнем підйому металу, $p = 9.3$ см;

c – загальна висота відливка, $c = 10$ см.

$$H_p = 18.5 - \frac{6.2^2}{2 \cdot 10} = 16.58 \text{ см}$$

$$\sum F_{жс} = \frac{1.27}{0.31 \cdot 0.4 \cdot 2.94 \cdot \sqrt{16.58}} = 0.86 \text{ см}^2$$

На плиті розташовано 4 відливка. Сумарна площа перерізу живильників становить 3.44 см^2 .

Визначаємо площу поперечного перерізу стояка із співвідношення:

$$\sum F_{жс} : \sum F_{ст} = 1 : 1.15 \quad (2.6)$$

$$F_{ст} = \sum F_{жс} \cdot 1.15 \quad (2.7)$$

$$F_{ст} = 3.44 \cdot 1.15 = 3.96 \text{ см}^2$$

Прийнята форма поперечного перерізу стояка і живильника показана на рис. 2.5.

$$F_{ст}=3,96 \text{ см}^2; F_{ж}=0,86\text{см}^2, n=4, \Sigma F_{ж}=3,44 \text{ см}^2$$

Площу поперечного перерізу газовивідного каналу приймаємо $0,30 \text{ см}^2$.

З технологічних міркувань приймаємо трапецієвидну ливникову воронку.

2.3. Опис процесу виготовлення виливка “Підшипник”

Технологічний процес виготовлення відливоків включає в себе такі операції: виготовлення півформ, огляд форм, встановлення стержнів, збирання форм, охолодження відливка, видалення відливка, очистка і контроль якості відливка.

1. Відливок підшипник виготовляється на автоматичній лінії типу Л22821, технічна характеристика якої приведена в розділі 1;

2. Після збирання півформи виштовхуються на транспортну лінію для заливки металу.

3. Розплав сірого чавуну марки СЧ20 із плавильної печі переливають у роздаточний ківш. Далі метал переливається у розливні ковші ємністю 500 кг, , температура заливки чавуну 1320-1370 °С.

4. Після охолодження відливка форма потрапляє на вибивну, де відливок з ливниковою системою відділяють від формувальної суміші.

5. З вибивних решіток відливоки із ливниковою системою потрапляє у галтовочний барабан моделі Н26-7Л, далі на обрубні столи та до зачисного верстату.

6. Після очистки проводиться контроль якості і відливки транспортують на склад.

2.4. Проектування ливарної оснастки

Особливості конструювання модельного оснащення для автоматичної лінії типу Л22821 пов'язані з підвищеною точністю виготовлення форм. Особлива увага приділяється точності і чистоті виготовлення моделей і модельних плит, точності прив'язки, фіксації і кріплення моделей на модельних плитах, встановленню фіксаторів і кріпленню модельних плит.

Модельний комплект складається з верхньої і нижньої модельних плит, на яких змонтовано моделі.

Максимальне неспівпадання штирів плит допускається не більше 0,03 мм. При заміні модельних комплектів змінюється тільки підмодельна плита з моделями.

Зміна товщини форми здійснюється заміною підмодельних плит і регулюванням положення кінцевих вимикачів пресового механізму. Висота підмодельних плит і моделей повинна вибиратись з таким розрахунком, щоб були забезпечені мінімально необхідні зазори (5–10 мм) між рухливими частинами механізмів поворотного стола і механізмом пресування. При проектуванні модельного-оснащення необхідно дотримуватись зазначених співвідношень, тому що їх перевищення приведе до поломки механізмів.

До модельного оснащення для ліній ставлять такі вимоги:

- модель чаші слід розташовувати тільки на плиті верха;
- вісь стояка з чашею слід розташовувати по центру форми або зміщувати відносно осі форми до правого краю по ходу руху транспортного устрою;
- мінімальна відстань від краю форми до ливникової чаші повинна бути 60 мм;
- збільшену знакову частину моделі, яка утримує стержень, розташовувати на плиті низа;
- чистота обробки внутрішніх вертикальних площин моделей (западині під болвани) повинні бути не нижче 9-го класу, зовнішніх вертикальних площин - 8-го класу, а горизонтальних - 7-го класу чистоти за ДСТУ ISO 1302:2006;
- величини допусків на розміри знаків моделей і стержнів повинні відповідати ДСТУ ISO 8062-1, 8062-3;
- формувальні кути на робочій поверхнях моделей повинні бути виконані у відповідності з вимогами ДСТУ ISO 8062-3:2021;
- формувальні кути знаків моделей і стержневих ящиків повинні бути виконані за ДСТУ ISO 8062-3:2021;
- чистота обробки моделей елементів ливникової системи повинна бути не нижче 6-го класу чистоти за ДСТУ ISO 1302:2005;
- формувальні ухили на елементах ливникової системи слід виконувати рівними 5-8°.

Спроектовані підмодельні плити з моделями показано на рис. 2.5, рис. 2.6 та на кресленнях [БР-131.26.03.02.02.00.00. КС] і [БР-131.26.03.02.03.00.00. КС].

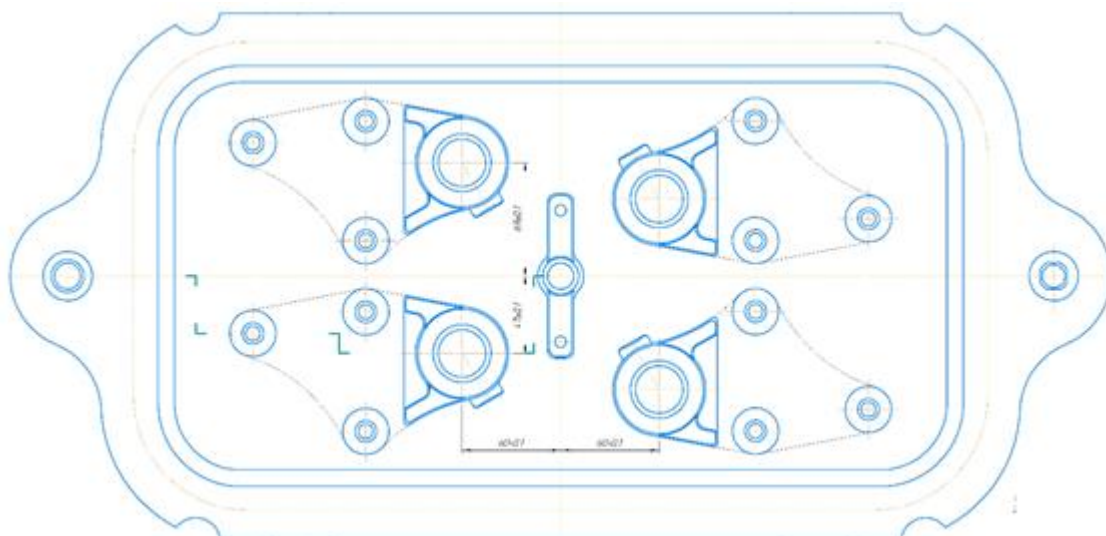


Рис. 2.5 – Модельний комплект верха (вид зверху)

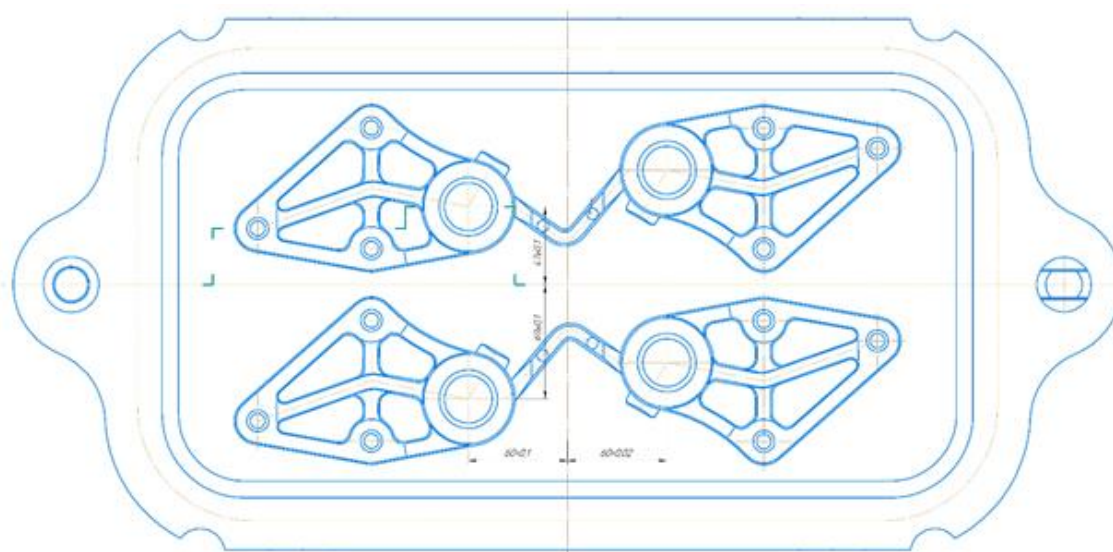


Рис. 2.6 – Модельний комплект низа (вид зверху)

Стержневий ящик №1 показано на рис. 2.7 і на кресленні [БР-131.26.03.02.04.00.00. КС].

Стержневий ящик №2 показано на рис. 2.8 і на кресленні [БР-131.26.03.02.05.00.00. КС].

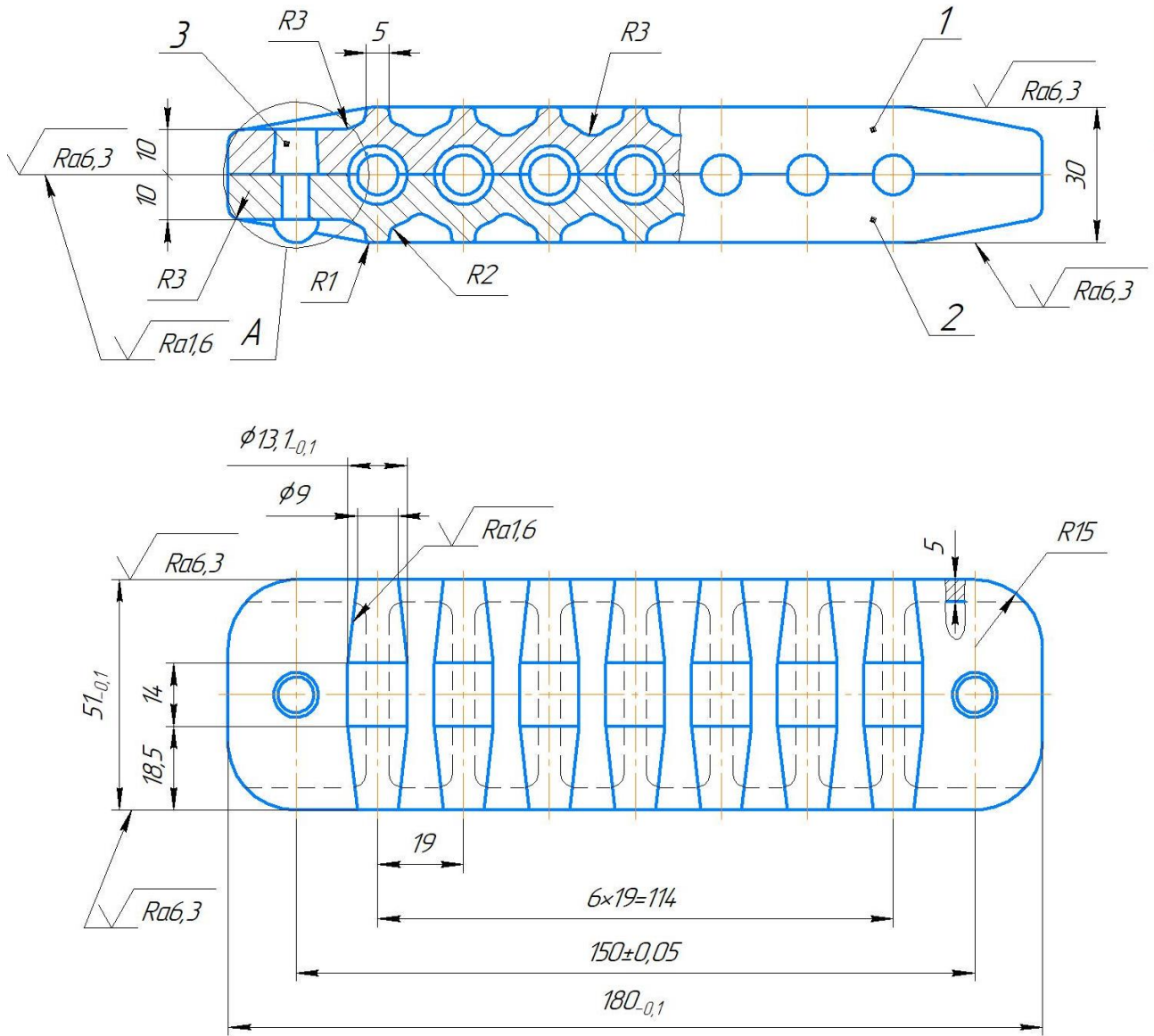


Рис. 2.8 – Стержневий ящик №2

Застосування спроектованого модельного комплекту дозволяє забезпечити достатню точність при пресовому виготовленню форм на автоматичній лінії Л22821.

Висновок

В роботі виконано комплекс заходів для організації виробництва ливарного цеху сірого чавуну і виготовлення виливка “Підшипник”.

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

Розроблено процес виготовлення виливка “Підшипник” 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 ефективної подачі розплаву чавуну у ливарну форму.

Список літератури

1. Хричиков В.Е., Меньяло О.В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. Видання друге, доопрацьоване. Дніпропетровськ: 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. Сумцов В.П. Устаткування ливарних цехів. - К.: ІСДО, 1993. - 552 с.

ДОДАТКИ