

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 вилівка “Люлька”
з високоміцного чавуну марки ВЧ 500
у піщано-глиняній формі”**

**“Development of the process for manufacturing the casting
“Lyulka” from high-strength cast iron of the EN-GJS-500
brand in a sand-clay mold”**

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ПМ-22-1

спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

_____ Онищенко А.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 високоміцного чавуну	Ломакін В. М.		
Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок “Люлька” 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 високоміцного чавуну		
2.	Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок “Люлька”; 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

Онищенко А. М.

(прізвище та ініціали)

Анотація

стор. 49, рис. 7, табл. 17, бібліографічних назв 2

Виливок, високоміцний чавун, електрична піч, плавка, модифікатор, формувальна лінія, стержневий ящик, продувка

Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти на тему “Розробка процесу виготовлення виливка “Люлька” з високоміцного чавуну марки ВЧ 500 у піщано-глиняній формі” складається із двох розділів.

При розробці процесу виготовлення виливка обрано сучасне обладнання: на плавильній дільниці – індукційні електричні печі, на дільниці виготовлення ливарних форм – автоматичні формувальні лінії моделі KSF50 (Китай), в стержневій дільниці – стержневі машини моделі 4747Б, в яких піщана суміш твердіє при продуванні вуглекислим газом.

В технологічному розділі роботи розроблена технологія лиття виливка “Люлька”. Виконані технологічні креслення.

Annotation

Page 49, fig. 7, table. 17, bibliographic titles 2

Casting, high-strength cast iron, electric furnace, melting, modifier, moldless molding, molding line

Casting, ductile iron, electric furnace, melting, modifier, molding line, core box, blowing.

The qualification work for the first (bachelor's) level of higher education on the topic "Development of a process for manufacturing a "Lulka" casting from high-strength cast iron grade VCh 500 in a sand-clay mold" consists of two sections.

In developing the casting manufacturing process, modern equipment was selected: induction electric furnaces in the melting section, automatic molding lines of the KSF50 model (China) in the mold manufacturing section, and core machines of the 4747B model in which the sand mixture hardens when blown with carbon dioxide.

In the technological section of the work, a casting technology for the "Lulka" casting was developed. Process drawings were produced.

Вступ.....	8
1. Обладнання ливарного цеху високоміцного чавуну	10
1.1. Вибір режиму роботи цеху та розрахунок фондів часу	10
1.2. Плавильна дільниця	12
1.2.1. Характеристика ВЧ 500	12
1.2.2. Розрахунок шихти для ВЧ 500	15
1.2.3. Вибір плавильного обладнання	18
1.3. Формувально-заливочно-вибивна дільниця	23
1.4. Сумішоприготувальна і стрижнева дільниця	27
1.4.1. Вибір обладнання для приготування стрижневої суміші	27
1.4.2. Технологія приготування стрижневої суміші	28
1.4.3. Технологія виготовлення стрижнів	28
1.4.4. Вибір обладнання для приготування формувальної суміші	30
1.4.5. Приготування формувальної суміші	31
1.5. Очисна дільниця	32
2. Технологія виготовлення виливка “Люлька”	35
2.1. Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок	35
2.2. Проектування ливарної форми	38
2.2.1. Визначення положення виливка у формі і вибір поверхні роз’єму форми	38
2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку	39
2.2.3. Вибір радіусів галтелей та ливарних кутів	39
2.2.4. Припуски на усадку	40
2.2.5. Конструювання та розрахунок ливникової системи ливарної форми	40
2.2.5.1. Вибір місця підводу металу та типу ливникової системи	40
2.2.5.2. Розрахунок площі перерізу каналів ливникової системи	42

2.2.6. Розрахунок підживлювача	44
2.3. Проектування ливарної оснастки	47
Висновок	51
Список літератури	52
Додатки	53

ВСТУП

Ливарне виробництво є однією з найважливіших галузей машинобудування, що забезпечує виготовлення заготовок складної конфігурації з необхідними експлуатаційними властивостями. Сучасний розвиток ливарних технологій спрямований на підвищення якості виливків, зниження матеріаломісткості виробництва, покращення умов праці та впровадження високопродуктивного обладнання. Особливе місце серед конструкційних ливарних матеріалів займає високоміцний чавун з кулястим графітом, який поєднує високі механічні властивості, добру технологічність і порівняно низьку собівартість виробництва.

Однією з найбільш поширених марок високоміцного чавуну є ВЧ500, який характеризується межею міцності на розтяг не менше 500 МПа, задовільною пластичністю та високою зносостійкістю. Необхідний комплекс механічних властивостей забезпечується формуванням переважно перлітної металевої основи та наявністю графіту кулястої форми, що досягається шляхом обробки рідкого чавуну магнієвмісними модифікаторами [1].

У сучасному ливарному виробництві для виплавки високоміцного чавуну широко застосовуються індукційні тигельні печі, які забезпечують високу продуктивність, точність регулювання температури розплаву, стабільність хімічного складу металу та екологічну безпеку процесу. Для отримання кулястої форми графіту застосовується позапічна обробка рідкого чавуну магнієвими лігатурами в автоклаві методом занурення модифікатора під шар розплаву, що дозволяє ефективно засвоювати магній та отримувати стабільні властивості металу.

Важливим фактором забезпечення якості виливків є застосування сучасного формувального обладнання. Для виготовлення форм доцільним є використання автоматичної формувальної лінії китайського виробництва моделі KSF50 з горизонтальним розніманням форми, яка забезпечує високу точність формоутворення, стабільність технологічних параметрів та підвищення продуктивності праці. Для виготовлення стержнів застосовується холоднотвердіюча піщана суміш з твердінням шляхом продування вуглекислим

газом, що дозволяє отримати достатню міцність стержнів, точність внутрішніх поверхонь виливка та надійність їх роботи під час заливання форми металом [2].

Метою даної роботи є розробка технологічного процесу виготовлення виливка «Люлька» з високоміцного чавуну марки ВЧ500 у піщано-глиняній формі з використанням сучасних методів плавки, модифікування та формоутворення, а також визначення основних технологічних параметрів, необхідних для отримання якісного виливка із заданими механічними властивостями.

1. ОБЛАДНАННЯ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

У відповідності темою роботи сформульовано мету і завдання роботи.

Метою роботи є: вибір обладнання для ливарного цеху високоміцного чавуну та розробка процесу виготовлення виливка “Люлька”.

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

1.1. Вибір режиму роботи цеху та розрахунок фондів часу

Календарний фонд часу Φ_k , визначає кількість робочих годин в календарному періоді, як правило за календарний рік.

$$\Phi_k = T_k \cdot S \cdot t, \quad (1.1)$$

де T_k – кількість днів в календарному році, приймаємо $T_k = 365$ днів;

S – кількість змін, приймаємо $S = 2$;

t – тривалість робочої зміни, $t = 8$ годин.

$$365 \cdot 16 = 5840 \text{ год}$$

Номінальний фонд часу – це фонд часу з урахуванням святкових неробочих днів та скорочення тривалості робочої зміни в передсвяткові дні.

$$\Phi_n = 40 \cdot 52 - (T_{np} \cdot 8 + T_{nd}), \quad (1.2)$$

де 40 – кількість робочих годин на тиждень при однозмінному режимі роботи;

52 – кількість тижнів на рік;

T_{np} – кількість святкових неробочих днів, приймаємо $T_{np} = 10$ днів;

T_{nd} – кількість передсвяткових днів, коли тривалість робочого дня скорочуються на одну годину, приймаємо, $T_{nd} = 4$ днів.

$$\Phi_n = 40 \cdot 52 - (10 \cdot 8 + 4) = 1996 \text{ год},$$

Номінальний фонд часу за рік при двозмінному режимі роботи:

$$\Phi'_n = \Phi_n \cdot 2 = 1996 \cdot 2 = 3992 \text{ год}$$

де 2 – кількість змін на один робочий день.

Фактичний фонд роботи обладнання на рік:

$$\Phi_{\phi o} = \Phi_n \cdot (1 - k), \quad (1.3)$$

де k – втрати робочого часу роботи обладнання (табл.1.1).

Фактичний фонд роботи обладнання в одну зміну на рік:

- плавильне обладнання

$$\Phi_{\phi o,пл} = 1996 \cdot (1 - 0,06) = 1876.2 \text{ год}$$

- обрубно-очисне обладнання

$$\Phi_{\phi o,оч} = 1996 \cdot (1 - 0,09) = 1816.4 \text{ год}$$

Інші фонди часу фактичної роботи обладнання заносимо до табл. 1.1.

Фактичний фонд роботи працівників в одну зміну на рік:

$$\Phi_{\phi p} = \Phi_n \cdot (1 - k_p) = 1996 \cdot (1 - 0,12) = 1756.5 \text{ год}, \quad (1.4)$$

Таблиця 1.1 – Фактичний фонд роботи обладнання

Обладнання	Номинальний фонд часу	Коефіцієнт втрат, %	Кількість змін	Дійсний фонд часу	Дійсний фонд при 2-х змінах
1	2	3	4	5	6
Плавильне обладнання	1996	6	2	1876,2	3752,4
Очисне обладнання	1996	9	2	1816,4	3632,8
Формувальна лінія	1996	12	2	1756,5	3513
Стержневі машини	1996	6	2	1876,2	3752,4
Змішувачі	1996	6	2	1876,2	3752,4
Крани	1996	12	2	1756,2	3513

1.2. Плавильна дільниця

1.2.1. Характеристика ВЧ 500

Чавун марки **ВЧ 500** (частіше **ВЧ 500-7**) належить до класу **високоміцних чавунів з кулястим графітом (ВЧГ)** і є одним із найбільш поширених конструкційних ливарних матеріалів у сучасному машинобудуванні. Його отримують шляхом модифікування рідкого чавуну невеликими добавками магнію або рідкоземельних елементів, що забезпечує формування графіту у вигляді сфер замість пластин.

Основною особливістю структури ВЧ 500 є наявність кулястого графіту, рівномірно розподіленого в металевій основі, яка може бути феритною, перлітною або змішаною. Така форма графіту суттєво зменшує концентрацію внутрішніх напружень у металі, що виникають під навантаженням, і тим самим значно підвищує міцність та пластичність матеріалу порівняно зі звичайним сірим чавуном.

Механічні властивості ВЧ 500-7 характеризуються тимчасовим опором розриву близько **500 МПа** та відносним видовженням приблизно **7%**, що свідчить про оптимальне поєднання міцності та деформаційної здатності. Межа плинності цього матеріалу знаходиться на рівні приблизно 300 МПа, що дозволяє використовувати його у відповідальних навантажених конструкціях. Твердість зазвичай знаходиться в межах 150–230 НВ залежно від структури металевої основи.

Завдяки таким властивостям ВЧ 500 широко застосовується у виробництві деталей машин, які працюють в умовах статичних, динамічних та ударних навантажень. До них належать корпуси редукторів, насосів, компресорів, ступиці коліс, елементи підвісок, кронштейни, зубчасті колеса та інші силові вузли. Матеріал добре піддається механічній обробці, має високу зносостійкість і стабільні експлуатаційні характеристики.

Важливою перевагою ВЧ 500 є його технологічність у ливарному виробництві: він добре заповнює форму, дозволяє отримувати складні за геометрією виливки та забезпечує стабільну якість продукції при серійному виробництві. Також він має кращу ударну в'язкість і тріщиностійкість у порівнянні з сірими чавунами.

Властивості високоміцного чавуну з кулястим графітом значною мірою визначаються його хімічним складом і балансом елементів, які впливають на процес графітизації, структуру металевої основи та механічні характеристики.

Вуглець (C) є основним структуроутворюючим елементом чавуну. Його вміст зазвичай становить близько 3,4–3,8%. Вуглець визначає кількість графітної фази. У ВЧ 500 він виділяється у вигляді кулястого графіту, що забезпечує високу міцність і пластичність. Надлишок вуглецю може призводити до зниження міцності та утворення надмірної кількості графіту, тоді як недостатній вміст ускладнює графітизацію.

Кремній (Si) є основним графітизуючим елементом і сприяє переходу вуглецю в графітну форму. Його вміст зазвичай становить 2,0–3,0%. Кремній підвищує міцність і твердість чавуну, але при надмірному вмісті може знижувати пластичність і сприяти утворенню крихкої феритної структури.

Марганець (Mn) виконує роль стабілізатора перлітної структури. Він підвищує міцність і твердість, але при надлишку сприяє утворенню карбідів, що погіршують пластичність і оброблюваність. У ВЧ 500 його вміст зазвичай обмежують на рівні 0,2–0,6%.

Магній (Mg) є ключовим модифікуючим елементом, який забезпечує формування кулястого графіту. Його вводять у дуже малих кількостях (приблизно 0,03–0,06%). Магній змінює умови кристалізації вуглецю, запобігаючи утворенню пластівчастого графіту. Саме завдяки магнію забезпечується висока міцність і пластичність ВЧ 500.

Рідкоземельні елементи (Ce, La та ін.) використовуються як додаткові модифікатори. Вони стабілізують процес сфероїдизації графіту, зменшують чутливість до домішок (особливо сірки та кисню) і покращують стабільність структури.

Сірка (S) є шкідливою домішкою, оскільки зв'язує магній і знижує ефективність модифікування. Тому її вміст жорстко обмежують (зазвичай до 0,02–0,03%).

Фосфор (P) також є небажаним елементом, оскільки підвищує крихкість і сприяє утворенню крихких фосфідних евтектик. Його вміст у відповідальних марках, таких як ВЧ 500, зазвичай не перевищує 0,05–0,1%.

Магній і церій, як сфероїдизатори, залишаються в кількості не менше 0,03 % і 0,02 % відповідно. Інакше графіт кристалізується в кулястій формі лише частково. Механічні властивості чавуну при цьому знижуються. Але занадто високий вміст магнію або церію призводить спочатку до утворення цементиту в сирій структурі, а потім до перемодифікування – утворення пластинчастого графіту. Отже, залишковий вміст магнію і церію не повинен перевищувати 0,08 і 0,05% відповідно.

Мікродомішки мають значний вплив на процес модифікування і на властивості ВЧ. В більшості випадків вони заважають утворенню кулястого графіту і знижують властивості чавуну. Але вплив цих домішок складний і інколи введення деяких із них буває навіть корисним (наприклад, Pb).

В табл.1.2 наведено хімічний склад та механічні властивості чавуну марок ВЧ 500.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад і механічні властивості високоміцного чавуну марки ВЧ 500

Група сплавів (система)	Марка	Масова частка елементів, %					Механічні властивості	
		C	Si	Mn	P	S	σ_B , МПа	НВ
Fe-Si-C	ВЧ 500	3,4-3,8	2,0-3,0	0,2-0,6	до 0.1	до 0.02	500-700	170-230

1.2.2. Розрахунок шихти для ВЧ 500

Розрахунок шихти для сплаву марки ВЧ 500 виконуємо методом підбору. Згідно ДСТУ 3925-19: «Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки» середній хімічний склад чавуну марки ВЧ500 становить: 3,6% C, 2,4% Si; 0,4% Mn.

В кислій електропечі угар кремнія становить $\Delta Si=15\%$, марганцю – $\Delta Mn=20\%$.

Масова частка елемента в шихті $E_{ш}$ визначається за формулою:

$$E_o = E_p \cdot B / (100 \pm \Delta E), \quad (1.5)$$

де E_p – масова частка даного елемента в рідкому чавуні, %; B – вихід рідкого металу у відсотках від маси металозавалки.

Частка кремнію в шихті:

$$Si_{ш} = 1,9 \cdot 95 / (100 - 15) = 2,12\%; \quad (1.6)$$

$$Si_{шн} = 1,4 \cdot 95 / (100 - 15) = 1,56\%; \quad (1.7)$$

$$Si_{ув} = 2,4 \cdot 95 / (100 - 15) = 2,68\%; \quad (1.8)$$

$$1,56\% \leq Si_{ш} \leq 2,68\% \quad (1.9)$$

Частка марганцю в шихті:

$$Mn_{ш} = 0,85 \cdot 95 / (100 - 20) = 1,01\%; \quad (1.10)$$

$$Mn_{шн} = 0,7 \cdot 95 / (100 - 20) = 0,83\%; \quad (1.11)$$

$$Mn_{ув} = 1,0 \cdot 95 / (100 - 20) = 1,19\%; \quad (1.12)$$

Частка вуглецю в шихті:

$$0,83\% \leq Mn_{ш} \leq 1,19\% \quad (1.13)$$

$$C_{ш} = 3,4 - 0,15 \cdot (1,5 + 0,4) = 3,12\%; \quad (1.14)$$

$$C_{шн} = 3,3 - 0,15 \cdot (1,5 + 0,4) = 3,02\%; \quad (1.15)$$

$$C_{ув} = 3,5 - 0,15 \cdot (1,5 + 0,4) = 3,22\%; \quad (1.16)$$

$$3,02\% \leq C_{ш} \leq 3,22\% \quad (1.17)$$

Хімічний склад шихти такий: вуглець 3,02% – 3,22% (середнє 3,12%); кремній 1,56% – 2,68% (середнє 2,12%); марганець 0,83% – 1,19% (середнє 1,01%); фосфор $\leq 0,20\%$; сірка $\leq 0,11\%$.

Результати розрахунку шихти зводимо до табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Розрахунок шихти

№	Компонент шихти	Марка	Маса в кг компонента на 100 кг шихти	Масова частка елементів, %									
				C		Si		Mn		P		S	
				В ком-пон.	В шихті	В ком-пон.	В шихті	В ком-пон.	В шихті	В ком-пон.	В шихті	В ком-пон.	В шихті
1	Ливарний чавун	Л1	10,0	3,65	0,365	3,40	0,34	1,30	0,13	0,08	0,008	0,05	0,005
2	Ливарний чавун	Л3	10,0	2,85	0,285	2,6	0,26	0,6	0,06	0,07	0,007	0,04	0,004
3	Ливарний чавун	Л5	18,0	4,0	0,72	1,8	0,324	0,5	0,09	0,06	0,011	0,03	0,005
4	Переробний чавун	ПЛ1	7,0	4,0	0,28	1,0	0,07	0,3	0,02	0,08	0,006	0,02	0,001
5	Чавунний брухт		8,5	3,3	0,281	2,4	0,204	0,8	0,07	0,15	0,013	0,04	0,003
6	Відходи власного виробництва		31,5	3,4	1,071	1,9	0,599	0,85	0,27	0,15	0,047	0,1	0,032
7	Сталевий брухт	ФС75	–	0,3	0,045	0,2	0,03	0,6	0,09	0,05	0,008	0,05	0,008
8	Феросіліцій		–	3,0	–	77	–	0,4	–	0,05	–	0,02	–
9	Феромарганець	ФМ _n 1,5	–	1,5	–	2,5	–	85	–	0,3	–	0,03	–
	Всього в шихті		100		3,047		1,827		0,73		0,1		0,058
	Середній склад шихти		–		3,12		2,12		1,01		≤0,2		≤0,1
	Необхідний склад шихти		–		3,02–		1,56–		0,83				1
	Всього в шихті при 30% марганцю		0,30		3,22		2,68		1,19		≤0,2		≤0,1
					3,052		1,835		0,98		0,101		0,058

1.2.3. Вибір плавильного обладнання

Для плавки чавуну приймаємо індукційну тигельну піч промислової частоти типу ІЧТ–2,5/0,63, технічна характеристика якої наведена у табл. 1.4. Піч 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 металева шихта нагрівається і плавиться.

Таблиця 1.4 - Технічна характеристика печі ІЧТ–2,5/0,63

№ п/п	Параметр	Од. виміру	ІЧТ–2,5/0,63
1.	Номінальна потужність трансформатора	кВт	630
2.	Частота струму живлячої мережі	Гц	50
3.	Номінальна ємність тигля	т	2,5
4.	Температура перегріву	° С	1600
5.	Число фаз живлячої мережі	шт.	3
6.	Швидкість плавки	т/год	0,75
7.	Розрахункова годинна продуктивність	т	0,50
8.	Номінальна напруга ланцюга управління	В	380/220
9.	Питома витрата електроенергії на розплавлення і перегрів	кВт ч/т	625±40
10.	Витрата води на охолодження: -індуктора, не більше	м ³ /год	7,8±0,6
	-перетворювача, не більше	м ³ /год	3,0±0,2
	-конденсаторної батареї, не більше	м ³ /год	3,6±0,2
11.	Тиск води на вході	МПа (кгс/см)	0,3-0,6(3-6)

Обслуговування електропечі під час плавки виконується плавильником. Плавильник в процесі плавки через певні відрізки часу повинен:

- присаджувати дерев'яним прутом шихту, щоб не утворювалась пустота 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. Склад шихти підбирається відповідно 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 електропеч.

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

Плавка високоміцного чавуну проводиться по затвердженим на заводі 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 загоряється 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 ($T=1450\text{ }^{\circ}\text{C}$).

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 попереднє 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 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 додаткової загрузки **СТРОГО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ**.

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

У шихтовий двір всі матеріали прибувають залізничним транспортом, відходи виробництва іноді завозять автомобільним транспортом. Всі матеріали зберігаються окремо один від одного прибувають вагонами і завантажуються в кагати.

Постійно працює кран, з його допомогою проходить завантаження. Сипкі матеріали завантажуються грейфером на автомобіль. Чавун, сталь, відходи виробництва завантажують за допомогою електромагнітної шайби.

За допомогою електровагового візка або вручну ведеться завантаження шихти. Розрахунок і контроль шихтових матеріалів ведеться майстром зміни. Приготована шихта завантажується у баддю і транспортується до печі. Біля печі працює кран мостовий вантажопідйомністю 10т, який завантажує шихту у піч. Метал зливають у ківш барабанного типу та транспортують до заливної машини.

В індукційній печі рідкий метал доводиться за хімічним складом і нагрівається до потрібної температури 1480-1530 С. Після цього метал переливається у ківш. Ківш встановлюють в камеру автоклаву. Останній герметизується. В автоклаві за допомогою стиснутого повітря створюється надлишковий тиск 5-6 атм. і опусканням штока в розплав вводиться магній. Витрата модифікатора для отримання ВЧ становить 1,2-2% від маси металу.

При введенні в чавун металевого магнію відбувається його інтенсивне випаровування, і він згоряє з виділенням білого диму. Реакція протікає дуже швидко і носить вибухоподібний характер. Тому для спокійного введення магнію в розплав чавуну застосовують лігатури. Склад лігатури приведено у табл. 1.5.

По мірі необхідності рідкий метал транспортується у ковші до автоматичних ліній мостовим краном вантажопідйомністю 5 т.

Таблиця 1.5 – Магнієві лігатури на основі кремнію і кальцію для отримання високоміцного чавуну з кулястим графітом

Група лігатури (система)	Марка сплаву	Масова частка елементів, %					властивості	
		Mg	Ni	Si	Ca	Інші елементи	густина, г/см ³	Температура плавлення, С
Fe-Si-Mg	ВЧ 500	5-15	–	44-48	1-2,5	0,8-1 церій, останнє Fe	3-4,5	1020-1160

Таблиця 1.6 – Характеристика автоклаву моделі В.137 для модифікування чавуну

Характеристика	Параметр для моделі автоклаву В.137
1	2
Ємність ковша, т	2
Продуктивність камери, т/год	10
Тиск повітря, кгс/см ²	3-6
Витрата магнію, %	1,2-2,0
Тривалість циклу модифікування, хв	10-12
Привод установки	електрогідравлічний
Габаритні розміри, мм:	
довжина	3000
ширина	3000
висота	4000
Маса, т	11,33

Контроль за хімічним складом металу і твердістю чавунних відливок здійснюється хімічною лабораторією.

1.3. Формувально-заливочно-вибивна дільниця

З метою підвищення продуктивності та автоматизації виробництва замість лінії ІЛ-225 прийнято сучасну автоматичну формувальну лінію типу KSF50 (Китай), що забезпечує крокове транспортування опок по роликowo-ланцюговому конвеєру.

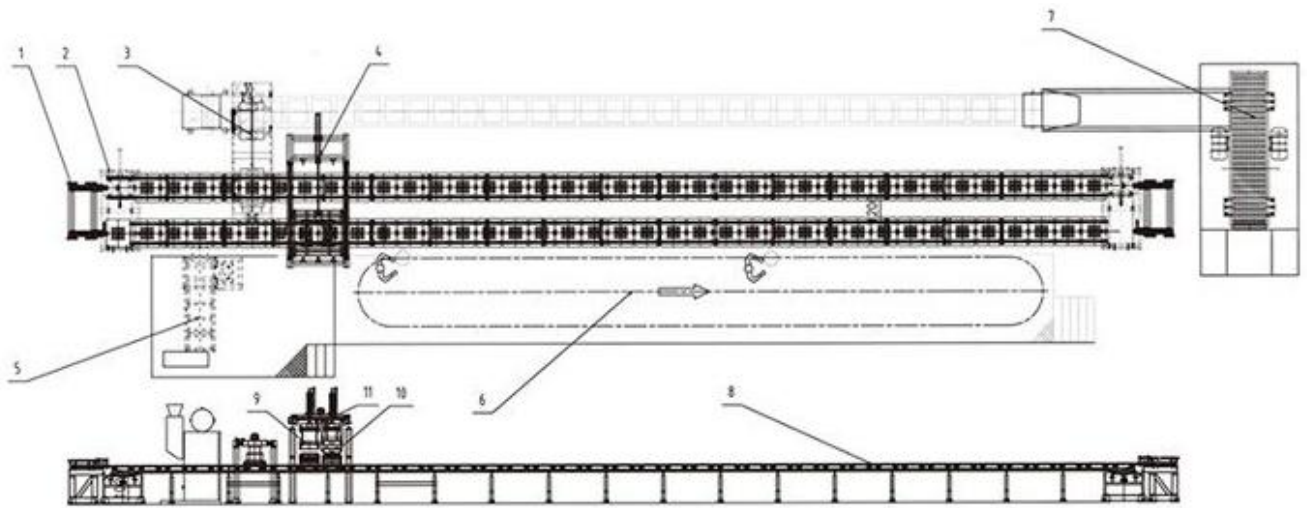


Рис. 1.1 – Автоматична формувальна лінія типу KSF50 (Китай)

Сучасна автоматична формувальна лінія типу KSF50 є розвитком концепції лінії ІЛ-225 і відрізняється переходом від візково-рейкової системи транспортування до крокового роликowo-ланцюгового конвеєра, а також значно вищим рівнем автоматизації та стабільності процесу формування.

На сучасних горизонтальних опочних формувальних лініях типу KSF50, HWS або SINTO застосовується комбінований спосіб ущільнення формувальної суміші, який базується на принципі shoot–squeeze.

Таблиця 1.7 – Порівняння лінії ІЛ-225 та сучасної KSF50

Параметр	ІЛ-225	KSF50 (сучасна китайська)
Тип лінії	Автоматична опочна лінія	Автоматична опочна лінія
Розмір опок	900×600×150/150 мм	500×400×150/150 мм
Роз'єм форми	Горизонтальний	Горизонтальний
Транспортування опок	Візково-рейкова або комбінована система	Кроковий роликowo-ланцюговий конвеєр
Принцип руху	Механічні візки, штовхачі	Крокове переміщення з фіксацією на позиціях
Автоматизація	Часткова (механіка + пневматика)	Повна (PLC-керування, гідравліка)
Швидкість формування	Середня	Вища (завдяки цикловій автоматизації)
Точність позиціонування	Середня	Висока (системи фіксації та датчики)
Обслуговування	Високе, механічне зношування	Нижче, модульна конструкція
Гнучкість переналагодження	Обмежена	Вища
Рівень технології	1970–1980-ті роки	Сучасний рівень (2000–2020-ті)

Спочатку опока заповнюється формувальною сумішшю методом піскострільного (імпульсного) подавання: пісок під дією стисненого повітря з високою швидкістю рівномірно заповнює порожнину форми, забезпечуючи швидке формування заготовки. Після цього виконується етап пресового ущільнення, під час якого гідравлічні плити здійснюють стискання верхньої та нижньої опок до заданої висоти, формуючи необхідну щільність і міцність формувальної суміші. Така комбінація дозволяє досягти рівномірного розподілу щільності по всьому об'єму форми, підвищити точність геометрії та забезпечити стабільну якість виливків. У результаті використання shoot–squeeze процесу сучасні автоматичні лінії забезпечують високу продуктивність і відтворюваність форм у серійному виробництві.

Таблиця 1.8 – Технічна характеристика автоматичної горизонтальної опочної формувальної лінії (KSF50 / аналог HWS)

Параметр	Значення
Тип лінії	Автоматична горизонтальна опочна формувальна лінія
Конструкція форм	Верхня та нижня опоки
Розмір опок	500 × 400 × 150/150 мм
Роз'єм форми	Горизонтальний
Тип формування	Ущільнення форм у опоках (green sand process)
Спосіб ущільнення	Піскострільно-пресовий (shoot-squeeze) або пресовий
Транспортування опок	Кроковий ланцюгово-роликовий конвеєр (палетна система)
Принцип руху	Дискретне переміщення між технологічними позиціями
Технологічні позиції	Формування → складання форми → заливка → охолодження → вибивка
Продуктивність	~60–120 форм/год
Тип приводу	Гідравлічний, пневматичний
Система керування	PLC (автоматизоване програмне керування)
Фіксація опок	Механічно-гідравлічна на позиціях лінії
Матеріал форм	Формувальна суміш
Рівень автоматизації	Високий (повний автоматичний цикл)
Контроль процесу	Датчики позиціонування та тиску

У сучасних горизонтальних опочних формувальних лініях типу KSF50, HWS або SINTO заливка металу здійснюється на спеціально виділеній заливочній позиції, яка є частиною автоматизованого технологічного потоку. Після формування і складання верхньої та нижньої опоки форма кроковим конвеєром переміщується в зону заливки, де вона точно позиціонується і фіксується.

Подача розплавленого металу здійснюється за допомогою ківша, який встановлюється на мостовому крані, заливочному маніпуляторі або спеціальному дозувальному пристрої залежно від рівня автоматизації лінії. У більш сучасних системах процес заливки частково або повністю автоматизований і контролюється програмованою системою керування, яка забезпечує стабільну швидкість і об'єм подачі металу. У напівавтоматичних

варіантах переміщення ківша виконується кран-балкою, але сам процес заливки контролюється оператором.

Розплавлений метал подається у ливникову систему форми, після чого відбувається її заповнення під дією сили тяжіння. Контроль швидкості заливки є важливим, оскільки він впливає на якість виливка, зменшення турбулентності потоку та запобігання утворенню дефектів. Після завершення заливки форма продовжує рух по лінії в зону охолодження, де відбувається кристалізація і затвердіння металу перед вибивкою.

Таким чином, заливка в сучасних автоматичних лініях є інтегрованою частиною безперервного технологічного процесу, де форма переміщується до зони подачі металу, а сам процес виконується з високим ступенем автоматизації або механізації, що забезпечує стабільну якість виливків і високу продуктивність виробництва

У горизонтальних опочних лініях типу **KSF50 / HWS / SINTO** вибивка (витрушування відливка з форми) виконується як автоматизована операція в складі безперервного конвеєра.

Після заливки і проходження ділянки охолодження опока з затверділим виливком надходить у зону вибивки. Тут форма фіксується і подається на спеціальний вузол — вибивну машину (shakeout station). Вибивка здійснюється за рахунок інтенсивної вібрації або ударно-вібраційного впливу, під дією якого формувальна суміш руйнується і відокремлюється від металевого виливка.

Руйнування форми відбувається через коливання решітки або платформи, на якій розміщена опока. Пісок проходить крізь решітку і потрапляє в систему регенерації формувальної суміші, де він очищується, охолоджується і повторно використовується у виробництві. Виливок при цьому залишається на решітці або транспортується далі по рольгангу до ділянки очищення.

У більш сучасних лініях процес вибивки повністю синхронізований з рухом конвеєра і працює без зупинки загального циклу, що дозволяє забезпечити високу продуктивність і стабільність виробництва. Таким чином, вибивка є автоматизованим завершальним етапом формувального циклу, який одночасно

забезпечує відділення відливків і повернення формувальної суміші в технологічний процес.

1.4. Сумішоприготувальна і стрижнева дільниці

1.4.1. Вибір обладнання для приготування стрижневої суміші

Для приготування стержневої суміші прийнято лопатевий змішувач моделі 15104. Змішувач призначений для приготування стержневих і формувальних сумішей на різних зв'язуючих, зокрема на рідкому склі. Завдяки інтенсивному перемішуванню забезпечується рівномірний розподіл зв'язуючого по поверхні зерен піску та отримання однорідної суміші з високими технологічними властивостями.

Конструкція змішувача включає змішувальну камеру з валом, на якому закріплені лопаті. Під час роботи лопаті безперервно переміщують суміш по всьому об'єму камери, забезпечуючи рівномірне змішування компонентів без надмірного перетирання зерен піску. Такий спосіб приготування є особливо ефективним для рідкоскляних сумішей, оскільки дозволяє рівномірно розподілити рідке скло та забезпечити стабільні властивості готової суміші.

Технічна характеристика лопатевого змішувача 15104 наведена у таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Технічна характеристика лопатевого змішувача 15104

Параметр	Значення
Тип змішувача	Лопатевий, безперервної дії
Продуктивність	8–12 т/год
Об'єм змішувальної камери	0,25–0,40 м ³
Частота обертання вала	60–120 об/хв
Потужність електродвигуна	11–15 кВт
Тип сумішей	Формувальні та стержневі
Зв'язуючі	Рідке скло, глина та інші
Обслуговуючий персонал	1 оператор

Застосування лопатевого змішувача 15104 забезпечує отримання однорідної стержневої суміші стабільної якості, що сприяє виготовленню міцних і точних стержнів.

1.4.2. Технологія приготування стержневої суміші

Для виготовлення стержнів застосовується рідкоскляна суміш, яка складається з кварцового піску та рідкого скла. Вміст рідкого скла становить 4 % від маси суміші. Після формування стержня у стержневому ящику його твердіння здійснюється шляхом продування вуглекислим газом. У результаті хімічної взаємодії CO_2 з силікатом натрію утворюється міцна зв'язуюча структура, що забезпечує необхідну міцність стержня під час складання форми та заливання металу.

Якщо робота виконується за класичними нормами ливарного виробництва, то для ВЧ500 я б рекомендував прийняти:

- пісок кварцовий 1К02А — 96 %;
- рідке скло модуль 2,6–2,8 — 4 %;
- продування CO_2 — 15–30 с залежно від маси стержня.

1.4.3. Технологія виготовлення стержнів

Для виготовлення стержнів, необхідних для формування внутрішніх порожнин вилівка «Люлька», прийнято використання піщано-рідкоскляної суміші з твердінням шляхом продування вуглекислим газом. Дана технологія відзначається простотою, надійністю та багаторічним успішним застосуванням у ливарному виробництві при виготовленні виливків із чавуну та сталі.

Формування стержнів здійснюється на піскодувно-піскострільній стержневій машині моделі 4750, яка широко застосовується на ливарних підприємствах завдяки простоті конструкції, високій надійності та стабільній якості виготовлюваних стержнів. Машина призначена для механізованого виготовлення стержнів із рідкоскляних сумішей та забезпечує якісне заповнення стержневих ящиків і рівномірне ущільнення суміші.

Основні технічні характеристики стержневої машини 4750 наведено в таблиці 1.10

Таблиця 1.10 – Технічна характеристика стержневої машини 4750

Параметр	Значення
Тип машини	Піскодувно-піскострільна
Найбільші розміри стержневого ящика	800 × 600 × 300 мм
Робочий тиск стисненого повітря	0,4–0,6 МПа
Тиск продування CO ₂	0,15–0,25 МПа
Продуктивність	до 40–60 стержнів за годину
Встановлена потужність	5–7 кВт
Тип суміші	Піщано-рідкоскляна

Для виготовлення стержнів застосовується рідкоскляна стержнева суміш, основними компонентами якої є кварцовий пісок та рідке скло. Кварцовий пісок виконує роль вогнетривкої основи суміші, а рідке скло є зв'язуючим матеріалом, що забезпечує міцність стержня після його твердіння. Для надання суміші необхідних технологічних властивостей вміст рідкого скла становить близько 4 % від маси суміші. Підготовлена стержнева суміш подається до резервуара машини, звідки за допомогою стисненого повітря вдувається у порожнину стержневого ящика. Під час заповнення відбувається ущільнення суміші та точне відтворення конфігурації майбутнього стержня.

Після заповнення стержневого ящика сумішшю здійснюється продування вуглекислим газом під тиском 0,15–0,25 МПа. Тривалість продування становить 30 с, що забезпечує повне твердіння рідкоскляної суміші та отримання стержня необхідної міцності для подальшого складання форми і заливання металу. У результаті взаємодії CO₂ з рідким склом відбувається хімічне твердіння суміші з

утворенням кремнегелю, який міцно зв'язує зерна піску між собою. Завдяки цьому стержень набуває необхідної міцності та зберігає свої геометричні розміри під час транспортування, складання форми та заливання металу.

Після завершення продування виконується коротка витримка для завершення процесу твердіння, після чого стержневий ящик відкривається, а готовий стержень виймається. За необхідності стержні очищаються від задирок, покриваються протипригарними фарбами та направляються на складання форм.

Застосування стержнів, виготовлених за CO₂-процесом, забезпечує достатню міцність, точність внутрішніх поверхонь вилівка та стабільність технологічного процесу виготовлення вилівка «Люлька» з високоміцного чавуну марки ВЧ500.

1.4.4. Вибір обладнання для приготування формувальної суміші

Для приготування формувальної піщано-глиняної суміші прийнято бігунковий змішувач 1A12, який забезпечує інтенсивне перемішування компонентів і отримання однорідної суміші, що відповідає вимогам машинного формування на автоматичній лінії KSF50.

Бігунковий змішувач 1A12 призначений для приготування формувальних піщано-глиняних сумішей, які використовуються при машинному формуванні ливарних форм. Змішувач забезпечує інтенсивне механічне перемішування компонентів за рахунок дії бігунів, які одночасно здійснюють роздавлювання, перемішування та часткове ущільнення суміші.

Конструкція змішувача дозволяє отримувати однорідну формувальну суміш із рівномірним розподілом глини, вологи та добавок по всій масі піску, що є критично важливим для стабільної міцності форм при заливанні металу.

Змішувач 1A12 широко застосовується у ливарному виробництві при серійному та масовому виготовленні вилівоків, зокрема при роботі з автоматичними формувальними лініями.

Таблиця 1.11 – Технічна характеристика змішувача 1А12

Параметр	Значення
Тип	Бігунковий, періодичної дії
Продуктивність	20–30 т/год
Місткість чаші	1200–1600 л
Діаметр чаші	~2000 мм
Тривалість циклу змішування	4–8 хв
Потужність електродвигуна	30–45 кВт
Частота обертання бігунів	25–35 об/хв
Тип сумішей	Піщано-глиняні формувальні
Зволоження	Вода + глина (бентоніт)
Обслуговування	1–2 оператори

1.4.5. Приготування формувальної суміші

Для виготовлення ливарних форм вилівка «Люлька» з високоміцного чавуну марки ВЧ500 застосовується піщано-глиняна формувальна суміш, яка забезпечує необхідну міцність форми, газопроникність та стабільність геометричних параметрів при заливанні металу (табл. 1.12). Приготування суміші здійснюється на бігунковому змішувачі періодичної дії типу 1А12, який забезпечує інтенсивне перемішування компонентів і рівномірний розподіл глинистого та вологого зв'язуючого по поверхні зерен піску.

Таблиця 1.12 – Склад формувальної суміші

Компонент	Вміст, %
Кварцовий пісок (основний)	85–90
Бентонітова глина	6–10
Вода	3–5
Спеціальні добавки (вуглецева добавка, пилоподібний вуглець)	0,5–1,5

Для технологічного розрахунку приймається типовий склад: 88% кварцового піску, 8% бентоніту та 4% води.

Приготування формувальної суміші здійснюється періодичним способом у бігунковому змішувачі 1A12. Спочатку у змішувач завантажується відважена кількість кварцового піску, який є основним каркасним матеріалом суміші. Після цього додається бентонітова глина, що виконує функцію зв'язуючого компонента та забезпечує пластичність і міцність формувальної суміші.

Під час роботи змішувача бігуни здійснюють роздавлювання та перемішування суміші, забезпечуючи рівномірний розподіл глини по поверхні зерен піску. Після попереднього перемішування подається розрахункова кількість води, яка активує зв'язуючі властивості глини та формує необхідну вологість суміші.

У процесі змішування відбувається інтенсивна механічна обробка матеріалу, що забезпечує однорідність складу, стабільну вологість та необхідні формувальні властивості. Тривалість циклу змішування становить 4–8 хвилин залежно від маси завантаження та вимог до якості суміші.

Готова формувальна суміш транспортується до автоматичної формувальної лінії KSF50, де використовується для виготовлення ливарних форм вилівка «Люлька». Отримана суміш забезпечує високу міцність форми, достатню газопроникність та стійкість до термічної дії рідкого високоміцного чавуну.

1.5. Очисна дільниця

Для попередньої очистки відливок від залишків формувальної, 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 моделі Н26-4Л

Найменування характеристик	Значення
Продуктивність при очищенні відливок із сірого чавуну, т/год	5
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

Висока продуктивність очищення литва масою до 20 кг досягається при установці дробометних барабанів безперервної дії (рис. 1.2). Відливки завантажуються через воронку 4, а видаляються з протилежного торця барабана по жолобу 6. Для переміщення відлиwkів уздовж барабана до його рухової стрічки прикріплені похилі лопатки 9. Усередині кожуха розташовано два дробометних апарати 5.

При обертанні барабана відливки повертаються підставляючи під струмінь дробу всі свої поверхні. Для захисту обслуговуваного персоналу від поразки дробом в барабані передбачена штора 8.

Пил, що виділяється при очищенні, відсмоктується в пило-збирач а дріб зсипається через отвори в два бункери 3, звідки двома шнеками через сито подається в елеватор 2. З елеватора дріб, що містить частинки металу і піску, поступає в сепаратора 7 звідки після очищення прямує в дробометні апарати.

Таблиця 1.14 - Характеристика дробометного барабана

Найменування	Модель	Габаритні розміри	Продуктивність ,	Маса, т	Встановлена потужність
Дробометний барабан	323М	4,8x4,0x5,6	2,0...3,2	9,3	32,5

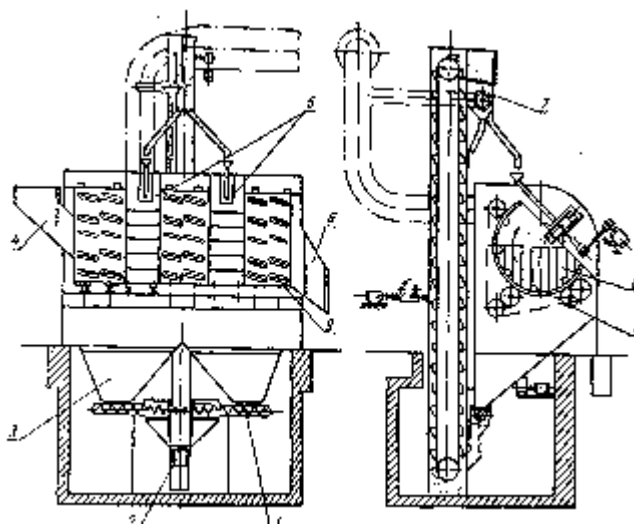


Рис. 1.2. Схема дробометного барабана

Для фінішної очистки відливків використовуємо шліфувально - зачисні верстати моделі ЗК631, технічна характеристика яких наведена в табл. 1.15.

Таблиця 1.15 - Технічна характеристика шліфувально – зачисного верстату

Характеристика	Величина	Одиниця
Діаметр круга	250	мм
Маса відливків	20	кг
Годинна продуктивність	0,3...0,5	т/год

2. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА «ЛЮЛЬКА»

2.1. Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок

Деталь «Люлька» являє собою фасонний виливок корпусного типу, призначений для роботи в умовах дії статичних та помірних динамічних навантажень. Для забезпечення необхідної міцності, пластичності та експлуатаційної надійності матеріалом виливка прийнято високоміцний чавун марки ВЧ500.

Конструкція деталі характеризується компактною формою та симетрією відносно вертикальної і горизонтальної осей. Основним конструктивним елементом є центральна кільцева частина діаметром 130 мм, яка сприймає основні робочі навантаження. З центральним кільцем за допомогою ребер жорсткості з'єднані бічні приливи (вухка), призначені для кріплення або передачі навантаження на суміжні елементи конструкції.

З точки зору технологічності лиття конструкція деталі є вдалою. Усі переходи між елементами виконані плавними, а в місцях сполучення поверхонь передбачені радіуси заокруглень R6, R10, R30, що сприяє покращенню умов заповнення форми металом та знижує концентрацію напружень у виливку. Відсутність гострих кутів і різких змін перерізів зменшує ймовірність утворення гарячих тріщин і локальних усадочних дефектів.

Конструкція містить систему ребер жорсткості, які забезпечують необхідну міцність деталі без значного збільшення її маси. Ребра мають плавні переходи до кільцевої частини та бічних приливів, що забезпечує більш рівномірний розподіл температурного поля під час кристалізації та охолодження виливка.

Аналіз креслення показує, що деталь не має складних внутрішніх порожнин і піднутрень, які б значно ускладнювали виготовлення ливарної форми. Конфігурація виливка дозволяє застосувати двохопокову піщано-глиняну форму з горизонтальною площиною роз'єму. Таке рішення забезпечує простоту виготовлення модельного комплексу, зручність формування та вилучення моделі з форми.

Найбільш масивною частиною конструкції є центральне кільце, яке характеризується найбільшим модулем охолодження та буде тверднути останнім. Саме ця зона є основним тепловим вузлом виливка і потребує особливої уваги при проектуванні ливниково-живильної системи. Бічні приливи та ребра жорсткості мають менші перерізи, тому їх кристалізація відбудуватиметься раніше, ніж центральної частини деталі.

Для забезпечення високої якості виливка необхідно організувати напрямлене твердіння металу в напрямку до найбільш масивної кільцевої частини. При проектуванні технології лиття слід передбачити раціональне розташування підживлювача та ливникової системи для компенсації усадки металу в зоні теплового вузла.

Застосування високоміцного чавуну марки ВЧ500 для виготовлення даної деталі є технічно обґрунтованим. Матеріал забезпечує межу міцності на розтяг не менше 500 МПа, достатню пластичність, високу зносостійкість і добрі ливарні властивості. Необхідні механічні характеристики досягаються завдяки отриманню кулястої форми графіту шляхом обробки рідкого чавуну магнієвмісними модифікаторами та формуванню переважно перлітної металеві основи.

Технічними умовами на вилівок передбачається відсутність усадочних раковин, газових дефектів, тріщин, неметалевих включень і пригару. Поверхня виливка після очищення повинна бути чистою та відповідати встановленому класу точності й шорсткості. Структура металу повинна забезпечувати кулясту форму графіту та механічні властивості, що відповідають вимогам до високоміцного чавуну марки ВЧ500.

Таким чином, конструкція деталі «Люлька» є технологічною для виготовлення методом лиття в піщано-глиняні форми. Наявність плавних переходів, раціональних радіусів заокруглень, ребер жорсткості та відсутність складних внутрішніх порожнин створюють сприятливі умови для отримання якісного виливка з високоміцного чавуну марки ВЧ500.

2.2. Проектування ливарної форми

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

Виливок «Люлька» доцільно розташовувати у формі таким чином, щоб його вісь симетрії знаходилася в площині роз'єму. Таке положення забезпечує зручність формування, вільне вилучення моделі з форми та рівномірне заповнення порожнини форми металом. Для підвищення продуктивності виробництва в одній формі розміщують два виливки, розташовані симетрично відносно стояка ливникової системи. Обране положення сприяє раціональному розміщенню ливниково-живильної системи та забезпечує сприятливі умови для кристалізації металу.

Площину роз'єму форми приймають по осі симетрії виливка (переріз Б–Б), що проходить через центр кільцевої частини та бічні приливи. Вибір даної площини обумовлений симетричною конструкцією деталі, відсутністю піднутрень та можливістю отримання двох простих півформ приблизно однакової складності. Прийнята площина роз'єму забезпечує спрощення модельної оснастки, полегшує складання форми та створює умови для отримання якісного виливка з мінімальною ймовірністю виникнення формувальних дефектів.

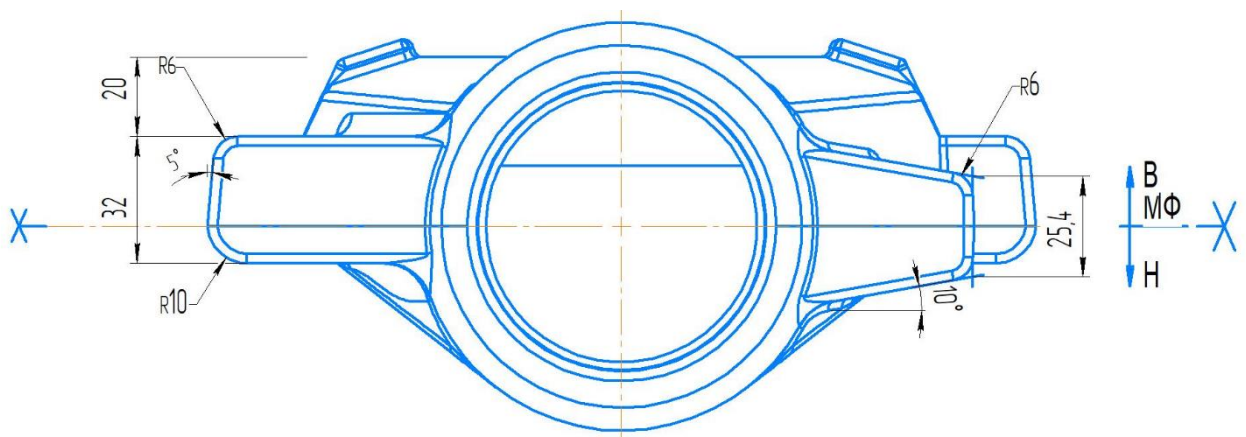


Рис. 2.2 – Поверхня роз'ємну форми

2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку

Величину припусків для високоміцного чавуну марки ВЧ 500 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	Низ	2,0
2,0	Верх	2,0
4,0	Внутрішня поверхня	2,0

Припуски на механічну обробку виливка Люлька показані на кресленні БР– 131.26.06.02.01.00.00.00 КС

2.2.3. Вибір радіусів галтелей та ливарних кутів

Радіуси галтелей 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 відливок, 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 ВЧ 500 – 2,2%.

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, шлаковловлювача 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. Конструкцію ливникової системи вибираю типову: звужуючу, бокову. При проектуванні ливників слід враховувати габаритні розміри виливка і габаритні розміри форми. При цьому приймаю розмістити у кожній ливарній формі по два виливка (БР-131.26.06.02.02.00.00.00 КС). Ливникова система містить: одну заливочну воронка, один стояк; два живильника, через які розплав потрапляє у робочі порожнини форми.

Оптимальна тривалість заливки визначається за формулою:

$$t = S \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot G_1} \quad (2.1)$$

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

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 від маси відливка.

$$G = 5,8 + 0,4 \cdot 5,8 = 8,12 \text{ кг}$$

Тоді:

$$t = 2,0 \cdot \sqrt[3]{17 \cdot 8,12} = 10,3 \text{ сек}$$

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.

$$V = \frac{102}{10,3} = 9,9 \text{ мм / сек.}$$

Оскільки у форму заливають розплав високоміцного чавуну і середня товщина вилівка знаходиться у межах 10-20 мм, то виходячи з умови, що $V > 6 \dots 8$ 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:

$$\sum F_{жс} = \frac{G}{\rho \cdot \mu \cdot t \cdot \sqrt{2 g H_p}} \quad (2.4)$$

де G – вага одного виливка, г;

μ – коефіцієнт витрати ливникової системи, $\mu = 0,4$;

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, $H_0 = 15,0$ см;

p – висота відливка над рівнем підйому металу, $p = 5,1$ см;

c – загальна висота відливка, $c = 10,2$ см.

$$H_p = 15,0 - \frac{5,1^2}{2 \cdot 10,2} = 13,73 \text{ см}$$

$$\sum F_{жс} = \frac{8,12 \cdot 1000}{7,2 \cdot 0,4 \cdot 10,3 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 13,73}} = 1,67 \text{ см}^2$$

Визначаємо площу поперечного перерізу шлаковловлювача із співвідношення:

$$\sum F_{жс} : F_{шл} = 1:1,10 \quad (2.6)$$

$$F_{шл} = \sum F_{жс} \cdot 1,10 = 1,67 \cdot 1,1 = 1,84 \text{ см}^2$$

Визначаємо площу поперечного перерізу стояка із співвідношення:

$$\sum F_{жс} : \sum F_{ст} = 1:1,15 \quad (2.7)$$

$$\sum F_{ст} = \sum F_{жс} \cdot 1,15 \quad (2.8)$$

$$F_{ст} = 1,67 \cdot 1,15 \cdot 2 = 3,84 \text{ см}^2$$

де 2 – кількість виливків у ливарній формі.

Визначаємо діаметр стояка за формулою:

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

$$d_{ст} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,84}{3,14}} = 2,2 \text{ см}$$

Діаметр заливочної чаші приймаємо з технологічних міркувань рівним 8 см.

2.2.6. Розрахунок підживлювача

Для даного виливка найбільш масивною частиною є нижня кільцева зона перерізу Б–Б.

Прийmemo її спрощено як кільцевий циліндр:

- зовнішній діаметр $D=106$ мм;
- внутрішній діаметр $d=65$ мм;
- висота $h=17$ мм.

Об'єм вузла

$$V = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot h$$

$$V = \frac{3,14}{4} (106^2 - 65^2) \cdot 17 = 93600 \text{ мм}^3 = 93,6 \text{ см}^3$$

Площа охолодження

$$F = \pi(D + d) \cdot h + 2 \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

$$F = 3,14(106 + 65) \cdot 17 + 2 \frac{3,14}{4} (106^2 - 65^2) = 13800 \text{ мм}^2 = 138 \text{ см}^2$$

Модуль вузла

$$M_B = \frac{V}{F}$$

$$M_B = \frac{93,6}{138} = 0,68 \text{ см}$$

Визначаємо модуль підживлювача. Для високоміцного чавуну приймаємо

$$M_{\Pi} = 1,2M_B$$

$$M_{\Pi} = 1,2 \cdot 0,68 = 0,82 \text{ см.}$$

Розраховуємо циліндричний підживлювач. Приймаємо:

$$H = D$$

Для циліндра

$$M_{\Pi} = \frac{D}{5}$$

Отже,

$$D = 5 M_{\Pi} = 5 \cdot 0,82 = 4,1 \text{ см} = 41 \text{ мм}$$

Отримане значення є теоретичним мінімумом.

Приймаємо конструктивні розміри. Для забезпечення надійного живлення і врахування втрат ефективності через бокове розташування підживлювача приймаємо запас.

Припускаємо

$$D = 60 \text{ мм}$$

$$H = 60 \text{ мм}$$

Перевіряємо модуль прийнятого підживлювача

$$M_{\Pi} = \frac{D}{5} = \frac{60}{5} = 1,2 \text{ см}$$

Порівнюємо M_{Π} з M_B

$$\frac{M_{\Pi}}{M_B} = \frac{1,2}{0,68} = 1,76$$

Умова живлення виконується з достатнім запасом.

Для компенсації усадки металу під час кристалізації виконано розрахунок підживлювача методом модулів. Найбільш масивною частиною вилівка є кільцева зона, яка характеризується найбільшим модулем охолодження та твердне останньою. Для забезпечення напрямленого твердіння та надійного живлення вилівка модуль підживлювача прийнято більшим за модуль теплового вузла.

Підживлювач прийнято циліндричної форми з відношенням висоти до діаметра ($H=D$). За результатами розрахунку та з урахуванням особливостей кристалізації високоміцного чавуну ВЧ500 прийнято підживлювач діаметром 60 мм і висотою 60 мм. Підживлювач розташовується на живильнику між горизонтальним колектором та вилівком і забезпечує компенсацію усадочних явищ у процесі кристалізації найбільш масивних перерізів вилівка.

У формі передбачено два однакові підживлювачі, розташовані симетрично відносно стояка. Прийняті розміри забезпечують необхідний запас рідкого металу для живлення вилівоків та отримання щільної структури металу без усадочних дефектів.

2.3. Проектування ливарної оснастки

Для виготовлення виливка «Люлька» з високоміцного чавуну ВЧ500 у піщано-глиняних формах на автоматичній формувальній лінії KSF50 спроектовано модельний комплект, який складається з верхньої та нижньої модельних півчастин, модельної плити та стержневих знаків. Конструкцію модельного комплексу розроблено з урахуванням конфігурації виливка, прийнятого положення у формі, площини роз'єму та умов механізованого формування.

Площина роз'єму проходить через середину виливка, що забезпечує зручність формування, складання форми та встановлення стержня. Розподіл елементів виливка між верхньою та нижньою модельними півчастинами виконано відповідно до прийнятої площини роз'єму. Нижня модельна півчастина (рис. 2.3 і креслення БР-131.26.06.02.02.00.00.00 КС) формує основну частину конфігурації виливка та стержневі знаки, які забезпечують точне встановлення стержня у формі. Верхня модельна півчастина (рис. 2.4 і креслення БР-131.26.06.02.03.00.00.00 КС) формує верхні поверхні виливка та завершує формування його зовнішнього контуру після складання форми.

Конструкція модельного комплексу передбачає одночасне отримання двох виливків у формі, що дозволяє підвищити продуктивність процесу та раціонально використовувати метал. При проектуванні враховано ливарну усадку високоміцного чавуну ВЧ500, припуски на механічну обробку та формувальні ухили, необхідні для безперешкодного вилучення моделей із форми.

Для виготовлення модельного комплексу обрано алюмінієвий ливарний сплав АЛ9. Даний сплав характеризується малою густиною, достатньою механічною міцністю, високою корозійною стійкістю та хорошою оброблюваністю різанням. Застосування алюмінієвого модельного комплексу зменшує масу оснащення, полегшує його експлуатацію на формувальній лінії та забезпечує високу точність геометричних розмірів формувальних порожнин.

Крім того, моделі зі сплаву АЛ9 мають тривалий термін служби та добре витримують багаторазові цикли формування.

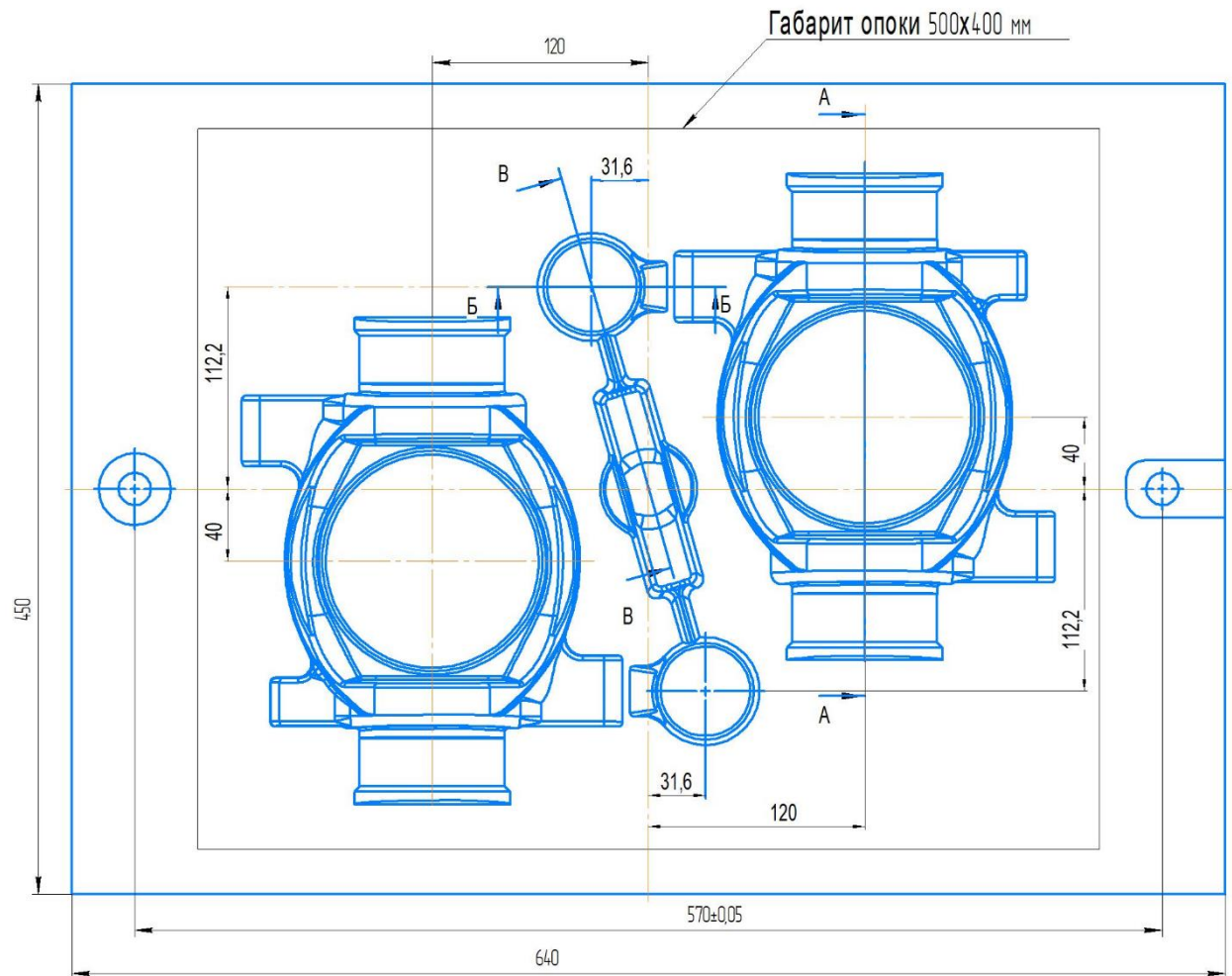


Рис. 2.3 – Схема модельного комплекта низа

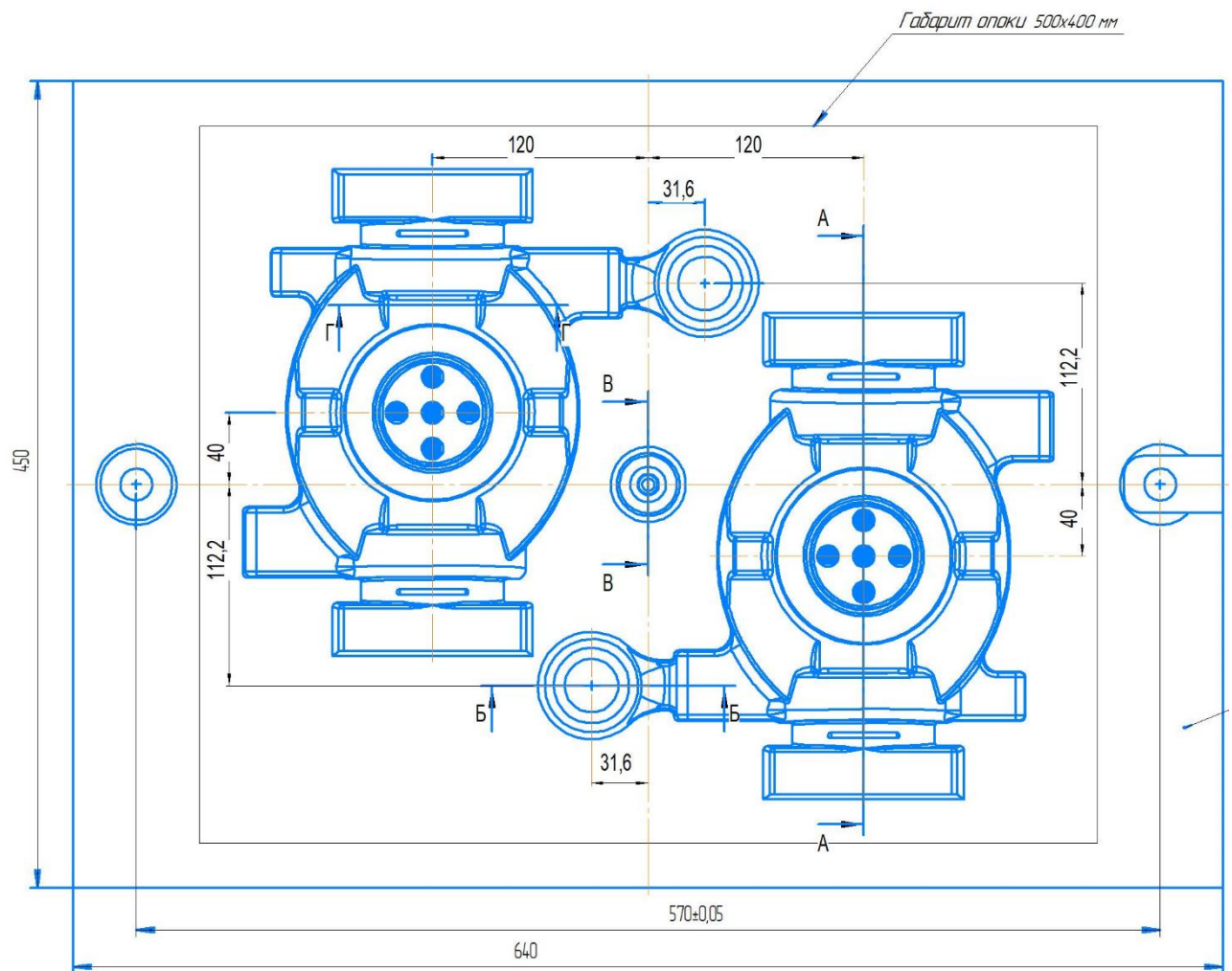


Рис. 2.4 – Схема модельного комплекта верха

Прийнята конструкція модельного комплекта забезпечує стабільне отримання якісних форм, точне взаємне розташування порожнин форми та стержня, а також відповідає вимогам серійного виробництва виливків на сучасних автоматизованих формувальних лініях KSF50 (Китай).

Стержневий ящик показано на рис. 2.5

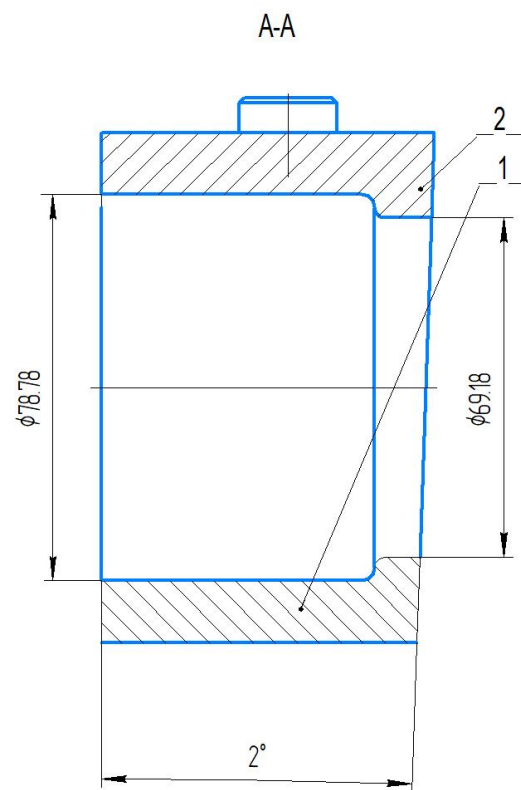
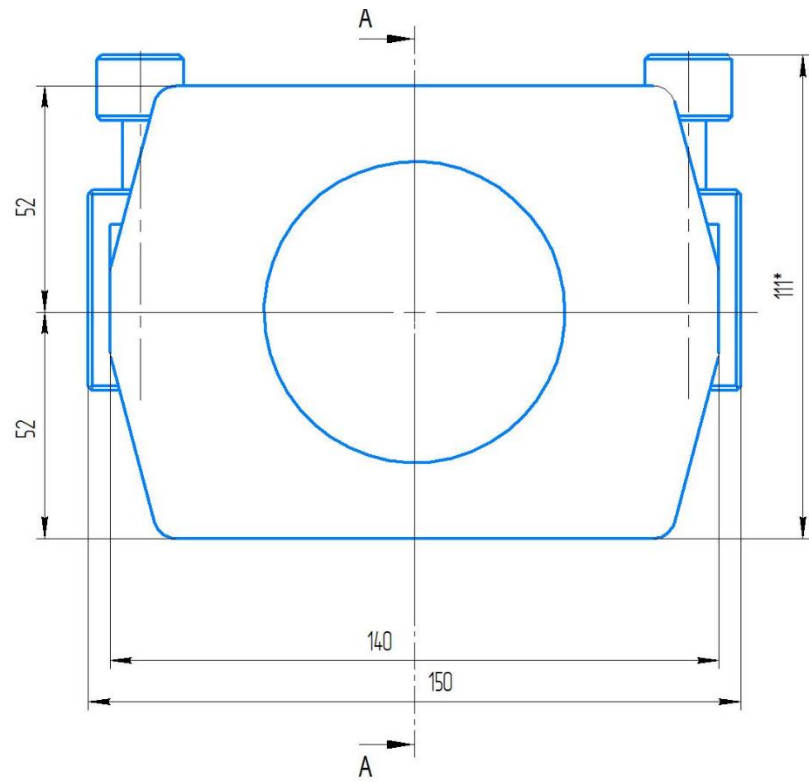


Рис. 2.5 – Схема стрижневого ящика

Висновок

Для ефективної роботи цеху високоміцного чавуну обрано сучасне високопродуктивне обладнання і приведено його технічну характеристику.

Розроблено процес виготовлення виливка “Люлька” на формувальній лінії моделі KSF50. 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 підживлювачів для кожного виливка у ливарній формі.

Виконані креслення технологічних вказівок, модельного комплекту низу, модельного комплекту верху і стрижневого ящика.

Список літератури

1. Бойко І. І., Кобиляцький В. С. Основи ливарного виробництва. – Київ: Либідь, 2016. – 320 с.
2. Кузьменко В. І. Процеси та обладнання ливарного виробництва кольорових металів. – Харків: НТУ "ХПІ", 2019. – 284 с.

ДОДАТКИ