

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії чорних металів
і ливарного виробництва

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до випускної атестаційної роботи бакалавра
зі спеціальності 136 – Металургія

на тему: Розробка проекту сталеливарного цеху потужністю 17000 тонн
виливків на рік з розвісом лиття до 100 кг.

Виконав:

студент групи МТ-23-1ск

Керівник випускної роботи

Нормоконтролер

Т.в.о. завідувача кафедри

Максим СИЗОВ

Леван САІТГАРЕЄВ

Леван САІТГАРЕЄВ

Дмитро БАБОШКО

Кривий Ріг

2026 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: гірничо-металургійний
Кафедра: металургії чорних металів і ливарного виробництва
Освітній рівень: бакалавр
Спеціальність: 136 Металургія

Затверджую

т.в.о. зав. кафедрою

_____ Дмитро БАБОШКО

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

до випускної атестаційної роботи бакалавра

СИЗОВ МАКСИМ МИКОЛАЙОВИЧ

Тема роботи: Розробка проекту сталеливарного цеху потужністю 17000 тонн виливків на рік з розвісом лиття до 100 кг.

керівник роботи: к.т.н., доцент Саїтгарєєв Л.Н.

затверджено наказом по КНУ від « 19 » 02 _____ 2026 р. № 112с

2. Строк подання роботи студентом « 25 » 05 _____ 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

5. Перелік графічного матеріалу: презентація (стор. формату А4)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів виконання випускної кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів
1	Розробка технології виготовлення виливка.	6.04.26 - 16.04.26р.
2	Розрахунки основних відділень цеху.	17.04.26 - 10.05.26р..
3	Виконання спеціальної частини роботи.	10.05.26 - 15.05.26р.
4	Виконання графічної частини роботи.	15.05.26 - 25.05.26р
5	Підготовка пояснювальної записки роботи та презентації.	25.05.26 - 05.06.26р
6	Перевірка роботи на антиплагіат та підготовка до захисту.	05.06.26 - 10.06.26р
7		
8		

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Максим СИЗОВ

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ Леван САІТГАРЕСВ

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота викладена на 97 сторінках і містить 14 рисунків, 30 таблиць, 13 джерел літератури, графічну частину у вигляді креслень та презентації.

Кваліфікаційна бакалаврська робота присвячена проектуванню ливарного цеху з виробництва виливків із сірого чавуну марки СЧ20 для машинобудування з річною продуктивністю 17000 тонн литва.

У першому розділі виконано вибір та обґрунтування місця будівництва ливарного цеху, визначено структуру виробництва, взаємозв'язок між основними відділеннями та режими роботи обладнання. Проведено розрахунок річної виробничої програми цеху та розподіл номенклатури виливків за ваговими групами.

У технологічній частині роботи виконано розрахунок та вибір обладнання для плавильного, формувально-заливально-вибивного, стрижневого, змішувального та термообрубного відділень. Розглянуто процеси виготовлення форм і стрижнів, приготування формувальних сумішей, а також методи контролю якості лиття.

У спеціальній частині роботи розглянуто особливості технологічних процесів виготовлення виливків із сірого чавуну та питання забезпечення стабільної якості продукції. Окрему увагу приділено автоматизації виробничих процесів ливарного виробництва, що дозволяє підвищити продуктивність праці, зменшити витрати матеріалів та покращити умови праці персоналу.

У роботі запропоновано сучасні технологічні та організаційні рішення, спрямовані на підвищення ефективності роботи ливарного цеху, покращення якості виливків та зниження собівартості продукції.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10. Р			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Сизов М.М.			РЕФЕРАТ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		Сайтгареев Л.Н.					1	2
<i>Н. Контр.</i>		Сайтгареев Л.Н.				МТ-23-1ск		
<i>Затверд.</i>		Сайтгареев Л.Н.						

Ключові слова: ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО, СІРИЙ ЧАВУН, ВИЛИВОК, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ЛИВАРНИЙ ЦЕХ, ФОРМУВАЛЬНА СУМІШ, СТРИЖНІ, ПЛАВИЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10. Р	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	9
1.1 Вибір та обґрунтування місця будівництва цеху	9
1.2 Структура цеху	9
1.3 Взаємозв'язок цеху з іншими підрозділами цеху	10
1.4 Режим роботи та фонди часу	11
1.5 Річна програма	14
2 РОЗРАХУНОК ВІДДІЛЕНЬ ЦХУУ	15
2.1 Плавильне відділення	15
2.2 Формувально-заливальне-вибивне відділення	40
2.3 Стрижневе відділення	45
2.4 Відділення приготування суміші	49
2.5 Термообрубне відділення	62
2.6 Контроль лиття	70
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	72
4. РОЗРОБКА ТЕЗНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ВИЛИВКА	84
ВИСНОВКИ	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	96

					КНУ.РБ.136.26.112с-10. 3		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Сизов М.М.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Сайтгареев Л.Н.			1	1	
Н. Контр.		Сайтгареев Л.Н.			ЗМІСТ		
Затверд.		Бабошко Д.Ю.			МТ-23-1ск		

ВСТУП

Розробка проекту цеху лиття здійснюється на основі вихідних даних, які є основоположними під час проектування. До основних вихідних даних слід віднести наступні:

1. Виробнича програма з випуску виливків.
2. Номенклатура виливків.
3. Режим роботи та фонди часу.
4. Креслення, специфікації, технічні умови на литі деталі.
5. Норми проектування та інші регламентуючі документи.

Виробнича програма повинна містити завдання на річний випуск виливків з урахуванням випуску запасних частин у відсотках до основного випуску, а також у натуральному обчисленні.

Розрізняють три види виробничої програми: точну, приведену та умовну.

Точна виробнича програма характерна для масового та великосерійного виробництва і передбачає розробку технологічних даних для кожного виливка всієї номенклатури цеху, які зводять у подетальну відомість із зазначенням найменування та номера деталі, сплаву, маси деталі та виливка, кількості деталей на кінцевий виріб, особливі вимоги, а також річний випуск у штуках і тоннах за основною програмою, запчастини (із зазначенням у відсотках від основної програми) та загальний випуск.

Для серійного виробництва виливків характерна зведена програма. У цьому випадку вся номенклатура виливків розбивається на групи за масою, складністю, технологічним процесом або іншими ознаками. З кожної групи вибирається найбільш характерний для неї виливок-представник. Програма складається за виливками-представниками аналогічно точній програмі.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10. В			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ВСТУП	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
Розроб.		Сизов М.М.						
Перевір.		Сайтгареев Л.Н.					1	2
Н. Контр.		Сайтгареев Л.Н.						
Затверд.		Бабошко Д.Ю				МТ-23-1ск		

виливкою-представником і для групи в цілому, причому перерахунок на групу ведеться, як правило, за допомогою поправочних і перевідних коефіцієнтів, що враховують відмінності за масою, складністю виливків та інші фактори.

Дрібносерійне та одиничне виробництво виливків відрізняється тим, що його номенклатура може уточнюватися і навіть визначатися тільки в ході виробництва (наприклад, ремонтне для внутрішніх потреб лиття, стандартне лиття), тому в цих випадках застосовують умовну виробничу програму. Усі розрахунки при цьому проводяться за групами виливків за масою та сплавами на основі досвіду роботи аналогічних підприємств з урахуванням перспективи проектного виробництва.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10. В	Арк.
						2
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Вибір та обґрунтування місця будівництва цеху

Розроблюваний в роботі цех ремонтного лиття сірого чавуну потужністю 17000 тонн на рік.

За серійністю цех відноситься до великосерійних і масових типів виробництва. За технологічним процесом виробництва цех відноситься до цехів, що виробляють виливки, в разових піщаних формах.

Проектований цех є автоматизованим. У ньому застосовуються комплексні автоматичні лінії. В якості підйомно-транспортного обладнання застосовуються мостові крани і конвеєри.

Кліматичні умови міста такі:

- напрямок панівних вітрів північно-західний;
- середня річна температура 0 °С;
- вітрове навантаження 150 кг/м²;
- глибина промерзання землі – 2 м.

Будівництво нового цеху обумовлено наявністю розгалуженої мережі транспортних магістралей, що зв'язують даний район з іншими великими промисловими регіонами країни, наявністю дешевої електроенергії, трудових ресурсів, багатих сировинних джерел, достатнім ринком збуту.

1.2 Структура цеху

До складу проектованого цеху входять:

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.01 ЗЧ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		Сизов М.М.			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		Сайтгареев Л.Н.				1	6
<i>Н. Контр.</i>		Сайтгареев Л.Н.			ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА МТ-23-1ск		
<i>Затверд.</i>		Бабошко Д.Ю					

2 Допоміжні дільниці та відділення, до них відносяться дільниця навішування шихти, дільниця ремонту ковшів, ремонтні майстерні та різні лабораторії;

3 Склади шихти, опок, стрижнів, модельного оснащення, пристосувань, інструменту;

4 Служби цеху.

1.3 Взаємозв'язок проектного цеху з іншими підрозділами заводу

Забезпечення безперебійного функціонування автоматизованих ліній, плавильних агрегатів ДППТ та допоміжного обладнання проектного ливарного цеху базується на інтеграції в загальнозаводську структуру централізованого постачання енергоносіїв, сировини та технологічних середовищ.

Подача електричної енергії для живлення силових трансформаторів плавильного відділення, приводів формувального комплексу «Belloi & Romagnoli» та цехових систем аспірації реалізується за магістральною схемою. Електроенергія транспортується безпосередньо від головної понижувальної підстанції (ГПП) підприємства по високоствольних кабельних лініях під номінальною напругою 6 кВ на внутрішньоцехову трансформаторну підстанцію (ВЦП), де відбувається її трансформація до робочих рівнів напруги 380 В / 220 В.

Для функціонування систем пневмоавтоматики, приводів затискних механізмів, клапанів дегазації стрижневих автоматів Cold-box та імпульсного ущільнення сумішей у цех подається стиснене повітря. Енергоносій надходить по цеховому трубопроводному колектору від централізованої

Інфраструктурне забезпечення робочих зон та побутових приміщень ливарного цеху є повністю інтегрованим і підключеним до магістральних заводських мереж:

– водопостачання: централізоване, розділене на господарсько-питний

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.01 ЗЧ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контур та оборотний технологічний цикл (охолодження індукторів плавильних печей, водоохолоджуваних елементів дугових агрегатів та елементів систем гідроочищення).

– каналізація: промислово-дощова та побутова мережа з підключенням до загальнозаводських очисних споруд.

– опалення та вентиляція: водяне або парове опалення від ТЕЦ підприємства, суміщене з потужною припливно-витяжною цеховою вентиляцією для компенсації тепловиділень від гарячого литва.

– Транспортний вузол цеху забезпечує чітке розділення вантажопотоків та високу швидкість транзиту матеріалів:

– первинні матеріали, брухт, чавуни та лігатури подаються на дільницю підготовки шихти (шихтовий двір) з використанням внутрішньозаводських залізничних шляхів.

– транспортування свіжих пісків та бентоніту з базисних складів підприємства до видаткових силосів сумішеприготувального вузла здійснюється за допомогою високопродуктивної системи герметичного пневмотранспорту, що запобігає запиленості прольотів.

– екстрактовані та первинно охолоджені виливки «Кришка» після вибивання автоматизовано доставляються до термообрубного (обрубного) відділення цеху за допомогою стаціонарного пластинчастого конвеєра, що стійкий до дії високих температур.

1.4 Режими роботи і фонди часу

Виробничий режим проєктованого ливарного цеху визначається загальним обсягом річної програми випуску виливків, характером серійності, а також вимогами раціонального використання енергетичних та матеріальних ресурсів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.01 ЗЧ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для проектованого об'єкта регламентовано двозмінний паралельний режим роботи за умов п'ятиденного робочого тижня з тривалістю однієї робочої зміни 8 годин.

Усі інженерно-технологічні розрахунки, визначення пропускну́ї здатності парку автоматизованих машин (2Н380, ліній Belloi & Romagnoli) та розрахунок чисельності виробничого персоналу виконуються на основі дійсного (робочого) фонду часу. У практиці проектування машинобудівних підприємств чітко диференціюють три види часових фондів:

Календарний фонд часу F_k : абсолютний часовий простір планового року, який є інваріантним для всіх прольотів і розраховується як:

$$F_k = 365 \times 24 = 8760 \text{ год}$$

Номінальний (номінально-режимний) фонд часу F_n : граничний часовий інтервал, протягом якого може реалізовуватися виробничий процес відповідно до прийнятого графіку змінності підприємства, без урахування неминучих технологічних і організаційних втрат:

$$F_n = (365 - T_v - T_c) \times n_{zm} \times t_{zm} - T_{skr}$$

де T_v , T_c — кількість вихідних та святкових днів у році відповідно; n_{zm} — число робочих змін ($n_{zm} = 2$); t_{zm} — тривалість зміни $t_{zm} = 8$ год; T_{skr} — сумарний час скорочення змін передсвяткових днів.

Дійсний фонд часу розраховується окремо для технологічного устаткування та для штатного персоналу цеху через різну природу часових втрат:

Для основного та допоміжного обладнання $F_{д.об}$: визначається шляхом віднімання від номінального фонду часу, необхідного для проведення планово-попереджувальних ремонтів (ППР), капітальних ревізій, технічного обслуговування, а також часу на технологічне переналаштування (заміну стрижневих ящиків, прес-форм АФЛ):

$$F_{д.об} = F_n \times \left(1 - \frac{\alpha_{ппр}}{100}\right)$$

де $\alpha_{ппр}$ — нормативний коефіцієнт втрат на ремонт і обслуговування обладнання (зазвичай становить 3-5%).

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.01 ЗЧ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для виробничих робітників $F_{д.роб}$: розраховується з урахуванням балансу робочого часу одного середньосписочного працівника. Дійсний фонд часу менший за номінальний через планові та поважні причини невиходу на роботу, до яких належать: перебування у щорічних чергових та додаткових відпустках, тимчасова непрацездатність (лікарняні листи), виконання державних обов'язків та навчальні відпустки:

$$F_{д.роб} = F_n - T_{відп} - T_{хвор} - T_{ін}$$

Розраховані значення $F_{д.об}$ та $F_{д.роб}$ є базовою числовою матрицею для подальшого обчислення необхідної кількості плавильних печей, формувальних автоматів, очисних дробеметних барабанів та визначення явочного і списочного складу працівників ливарного цеху.

Фонди часу роботи обладнання та робітників наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1- Режим і фонди часу роботи обладнання та робітників

Найменування відділення	Кількість робочих змін	Фонд часу роботи	
		Обладнання	Робочого
Плавильне	2	3890	1820
Формовочне	2	3645	
Змішувальне	2	3935	
Стрижневе	2	3935	
Вибивне	2	3935	
Термообрубне	2	3975	

Вихідними даними для проектування є: виробнича програма, креслення, специфікації та технічні умови на литі вироби. Проектований цех є цехом масового виробництва, з обмеженою номенклатурою виливків. Розподіл річної програми виливків за ваговими групами представлено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Розподіл річної програми виливків за ваговими групами

Вагові групи лиття (штучна вага виливка, кг)	Кількість виливків на рік			
	найменувань	т	шт	відсоток до загальної ваги лиття
4-30	8	10510	839190	88,03
30-100	4	6490	114173	11,97
Разом:	12	17000	953363	100

1.5 Річна програма цеху

Річна програма цеху представлена в таблиці 1.3

Таблиця 1.3 – Річна програма цеху

Найменування деталі	Марка сплаву	Вага деталі, кг	Річна програма			Технологічні відходи			Потрібно залити за рік	
			%	т	шт	%	т	шт.	т	шт.
1. Блок	СЧ20	19	18	3060	161053	2	61,2	3222	3121,2	164275
2. Вкладиш	СЧ20	80	18	3060	38250	2	61,2	765	3121,2	39015
3. Кришка люка	СЧ20	75	3	510	6800	2	10,2	136	520,2	6936
4. Муфта	СЧ20	43	5	850	19768	2	17	396	867	20164
5. Втулка циліндрова	СЧ20	25	10	1700	6800	2	34	1360	1734	69360
6. Диск рухомий	СЧ20	4,5	8	1360	302223	2	27,2	6045	1387,2	308268
7. Диск малий рухомий	СЧ20	19	5	850	44737	2	17	895	867	45632
8. Диск малий нерухомий	СЧ20	17,5	11	1870	106858	2	37,4	2138	1907,4	108996
9. Диск великий рухомий	СЧ20	24,5	7	1190	48572	2	23,8	972	1213,8	49544
10. Діаметр барабана	СЧ20	8,85	4	680	76837	2	13,6	1537	693,6	78374
11. Втулка натискна	СЧ20	11	2	340	30910	2	6,8	619	346,8	31529
12. Корпус	СЧ20	31	9	1530	49355	2	30,6	988	1560,6	50343
Разом				1700	953363		340	18917	17340	972436

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.01 ЗЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

2 РОЗРАХУНОК ВІДДІЛЕНЬ ЦХУУ

2.1 Плавильне відділення

Розрахунок плавильного відділення починається з розрахунку металозавалки за марками сплаву. У серійному виробництві при постійній номенклатурі виробів витрата металу визначається подетальним розрахунком. Вага металозавалки визначається з ваги придатного лиття на програму, ваги металу ливників, витрати металу на угар і безповоротних втрат.

У даному ливарному цеху буде виплавлятися сірий чавун марки: СЧ20.

Баланс металу наведено в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Баланс металу

Найменування деталі	Придатне лиття		Технологічні відходи		Випаровування та втрати		Рідкий метал		Металозавалка	
	%	т/рік	%	т/рік	%	т/рік	%	т/рік	%	т/рік
1. Блок	75	3060	23	938,4	2	81,6	98	3998,4	100	4080,0
2. Вкладиш	77	3060	21	834,6	2	79,5	98	3894,5	100	3974
3. Кришка люка	76	510	22	147,6	2	13,4	98	657,6	100	671
4. Муфта	74	850	24	275,7	2	23	98	1125,7	100	1148,7
5. Втулка циліндрова	72	1700	26	613,9	2	47,2	98	2313,9	100	2361,1
6. Диск рухомий	73	1360	25	465,8	2	37,3	98	1825,8	100	1863,1
7. Диск малий рухомий	77	850	21	231,8	2	22,1	98	1081,8	100	1103,9
8. Диск малий нерухомий	74	1870	24	606,5	2	49,5	98	2477,2	100	2527
9. Диск великий рухомий	71	1190	27	452,5	2	33,5	98	1642,5	100	1676
10.Круг барабана	75	680	23	208,5	2	18,1	98	888,5	100	906,6
11. Втулка натискна	76	340	22	98,5	2	9	98	438,4	100	447,4
12. Корпус	72	1530	26	552,5	2	42,5	98	2082,5	100	2125
Разом		17000		5426,3		457		22426,8		22883,8

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Сизов М.М.				ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Сайтгарєєв Л.Н.						1	56
Н. Контр.	Сайтгарєєв Л.Н.					МТ-23-1ск		
Затверд.	Бабошко Д.Ю							

2.1.2 Вибір і розрахунок плавильних агрегатів

При проектуванні ливарних цехів малої та середньої потужності, а також дільниць спеціального і фасонного литва, найбільш техніко-економічно виправданими та гнучкими агрегатами для виплавки конструкційних чавунів є індукційні тигельні печі (ІТП) промислової або підвищеної частоти.

З електротехнічної точки зору індукційна тигельна піч функціонує як трансформатор без феромагнітного осердя (повітряний трансформатор), у якому:

- первинною обмоткою виступає багатовитковий водоохолоджуваний індуктор, виготовлений із профільної мідної трубки.
- вторинною обмоткою (і одночасно корисним навантаженням) є безпосередньо металева завалка (шихта), розміщена всередині вогнетривкого тигля.

Генерація теплової енергії та наступне плавлення чавуну реалізуються за рахунок вихрових струмів (струмів Фуко), що індукуються в об'ємі металу під дією змінного електромагнітного поля високочастотного індуктора.

Важливою металургійною особливістю ІТП є виникнення потужних електродинамічних сил (лоренцових сил) взаємодії між полями індуктора та струмами в металі. Ці сили ініціюють інтенсивну двоконтурну циркуляцію (електромагнітне перемішування) рідкого чавуну в тиглі. Внаслідок цього забезпечується абсолютна термічна рівномірність об'єму ванни, висока кінетика розчинення легуючих елементів (графітизаторів, феросплавів) та гомогенізація хімічного складу розплаву.

Проектований індукційний комплекс являє собою інтегровану систему, що складається безпосередньо з електропечі та периферійного інженерного комплексу (джерела живлення, конденсаторної батареї, водоохолоджувальної станції та гідроприводу).

Конструктивно електропіч диференціюється на такі основні механічні та теплофізичні вузли:

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Несучий каркас: охоплює жорстку опорну раму, закріплену на фундаменті, та рухому поворотну раму, яка забезпечує нахил печі для зливу чавуну за допомогою двох гідравлічних плунжерів (гідроциліндрів).

2. Індукційний вузол: конструктивно об'єднує зварний немагнітний корпус печі, футерований піддон, магнітопроводи (пакети трансформаторної сталі для екранування зовнішніх полів) та безпосередньо систему індуктора.

3. Електричний контур індуктора: складається з двох секцій — нижньої робочої котушки (до якої підводиться робоча напруга від перетворювача частоти для передачі енергії металу) та верхньої холостої котушки (виконує функцію компенсатора та охолоджувача верхнього поясу).

4. Вогнетривкий тигель: виконується методом пошарового сухого набивання та наступного спікання (синтаризації) кварцитової або корундової вогнетривкої маси спеціального зернового складу. Верхня частина тигля захищається монолітним футерованим поясом (комірцем).

Для мінімізації радіаційних втрат тепла дзеркалом ванни та запобігання насиченню чавуну газами, робочий простір печі перекривається футерованою кришкою. Конструкція кришки оснащена автономним гідравлічним приводом поворотно-відкидного типу, керування яким (дистанційне відкривання та закривання перед завалкою чи скачуванням шлаку) здійснюється оператором із центрального пульта АСУ ТП плавильного відділення.

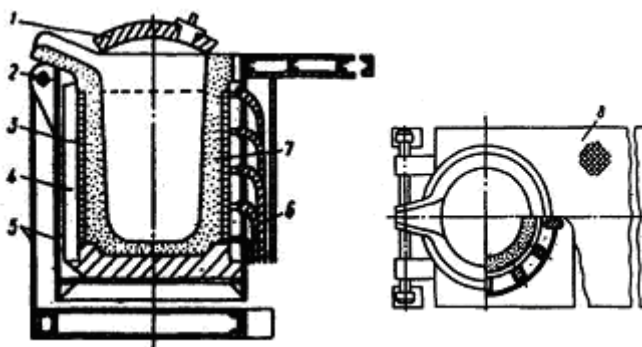


Рисунок. 2.1 – Схема індукційної печі типу ІЧТ – 10

1 – кришка; 2 – вузол повороту; 3 – індуктор; 4 – магнітопроводи; 5 – металоконструкції; 6 – підводи водяного охолодження; 7 – тигель; 8 – майданчик.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

Евакуація (злив) розплавленого металу з вогнетривкого тигля до заливочних або роздавальних ковшів реалізується шляхом контрольованого похилу корпусу індукційної печі в бік зливного носка. Кінематична схема опорно-поворотної рами забезпечує можливість нахилу агрегату на будь-який дискретний кут у діапазоні до 100⁰С від вертикальної осі. Такий кут є технологічно необхідним для повного випуску сплаву та ефективного скачування залишків шлакової фази під час зачищення тигля.

Апаратурне забезпечення та елементи гідроприводу

Динамічне зусилля для повороту печі та керування її конструкційними елементами генерується автономною гідросистемою, яка охоплює такі базові вузли:

1. Виконавчі механізми (гідроциліндри): безпосередній нахил поворотної платформи здійснюється за допомогою двох синхронізованих телескопічних або плунжерних гідроциліндрів двосторонньої дії. Гідроциліндри монтуються шарнірно на опорній базі печі та розраховані на утримання повної маси заповненого плавильного тигля в будь-якому просторовому положенні.

2. Маслонапірна установка високого тиску (насосна станція): центральний енергетичний блок системи, що складається з бака для робочої рідини, системи фільтрації, теплообмінника для охолодження оливи та аксіально-поршневих (або шестеренних) насосів високого тиску, які забезпечують номінальну подачу робочого середовища.

3. Керуюча гідравлічна панель: прецизійний блок регулювальної та розподільчої апаратури. Через систему гідророзподільників, запобіжних, зворотних та дросельних клапанів панель здійснює:

- плавне, безступінчасте регулювання швидкості нахилу печі оператором;
- надійне замикання гідроліній для виключення самовільного падіння чи нахилу печі у разі аварійного знеструмлення або падіння тиску в системі;

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

○ чітку координацію роботи допоміжного контуру — механізму підйому та відкидання футерованої кришки печі.

Робочим середовищем системи є спеціалізовані мінеральні оливи з високим індексом в'язкості та підвищеною температурою спалаху, що гарантує пожежну безпеку гідроприводу за умов його експлуатації в безпосередній близькості до зони випуску гарячого металу.

Піч живиться від високовольтної мережі 6 кВ через трифазний спеціальний багатоступеневий трансформатор. Для рівномірного розподілу однофазного навантаження електропечі по фазах установка оснащена автоматичним симетричним пристроєм. З метою компенсації низького природного коефіцієнта потужності ($\cos\phi$) паралельно індуктору печі включається батарея конденсаторів, що дозволяють підтримувати коефіцієнт потужності близьким до одиниці.

Для повного і ефективного використання потужності печі застосовується автоматичний регулятор електричного режиму (АРЕР), який автоматично підтримує задану потужність протягом усього періоду плавки з метою безпечної експлуатації. Для забезпечення безаварійної експлуатації плавильного комплексу та попередження катастрофічних проривів рідкого чавуну крізь стінку тигля, електропіч в обов'язковому порядку оснащується інтегрованою системою безперервного контролю і сигналізації стану футеровки та ізоляції індуктора.

Даний електронний вузол є прецизійною гальванічною системою моніторингу струмів витоку, яка доповнює стандартний візуальний огляд тигля оператором. Система функціонує за наступним алгоритмом:

– у процесі плавки спеціальний донний електрод (заземлення розплаву) та металева сітка-екран, закладена між набивним тиглем та міканітовою ізоляцією індуктора, створюють вимірювальний електричний контур.

– у разі виникнення мікротріщин, насичення вогнетривкої матриці залізистими оксидами або при небезпеці критичного зносу (наскрізного

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проплавлення) тигля рідким металом, фіксується різке падіння електричного опору футеровки.

– при досягненні порогового (аварійного) значення струму витoku, автоматика АСУ ТП миттєво реагує: блокує і повністю відключає подачу високої напруги на робочі котушки індуктора, активує цехову звукову та світлову сигналізацію, запобігаючи руйнуванню мідних витків та вибуху при контакті металу з водою.

Прецизійний контроль температурного режиму чавуну є обов'язковим для коректного проведення операцій модифікування та безпосереднього випуску металу. Вимірювання температури реалізується на фінальній стадії плавки за допомогою цифрових термопар короткочасного занурення (переважно типу ТПР — платинопродій-платинових). Вимірювальний блок з кварцовим захисним наконечником опускається у дзеркало ванни на 4–6 секунд.

Виплавка конструкційних марок чавуну в індукційних тигельних печах промислової та підвищеної частоти має комплекс вагомих технологічних, металургійних та експлуатаційних переваг порівняно з класичним ваграночним процесом:

– Висока точність легування та хімічного складу: Електродинамічне перемішування ванни дозволяє вводити вуглецевмісні та легуючі добавки з гарантованим рівнем їх часового та просторового розподілу, забезпечуючи стабільне отримання заданих марок чавуну (ЧХ, ВЧ, СЧ).

– Мінімальний чад елементів: Відсутність окиснювального факела полум'я та можливість ведення плавки під герметичною кришкою забезпечують низький питомий чад провідних, який не перевищує 1-2%.

– Ефективний термічний перегрів: Можливість швидкого та контрольованого нагнітання питомої потужності дозволяє досягати високих температур перегріву розплав (до 1500-1550⁰С), що необхідно для деактивації спадкових графітових включень шихти та підвищення рідкотекучості перед заливанням АФЛ.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

– Утилізаційна гнучкість шихтового балансу: Конструкція тигля дозволяє безперешкодно переробляти дрібнодисперсну завалку — велику кількість власних сталевих відходів, легковаговий брухт та металеву стружку без її попереднього брикетування, що суттєво знижує собівартість рідкого металу.

Впровадження індукційних комплексів кардинально трансформує екологічний профіль плавильного прольоту. Завдяки відсутності масового виділення ваграночних газів, пилу та шлакових аерозолів, суттєво покращуються умови праці цехового персоналу. Обслуговуючий персонал та оператори пультів керування повністю захищені від шкідливого впливу надлишкового теплового випромінювання (завдяки водоохолоджуваним кожухам), високочастотного шуму та дисперсного пилу, що відповідає сучасним міжнародним стандартам охорони праці та промислової санітарії.

Характерною особливістю індукційних плавильних печей є наведення вихрових струмів (і подальша трансформація їх енергії в тепло) безпосередньо в самому нагріваному і розплавляемому металі під дією електромагнітного поля індуктора.

Найпростішу будову мають тигельні печі (рис. 2.2).

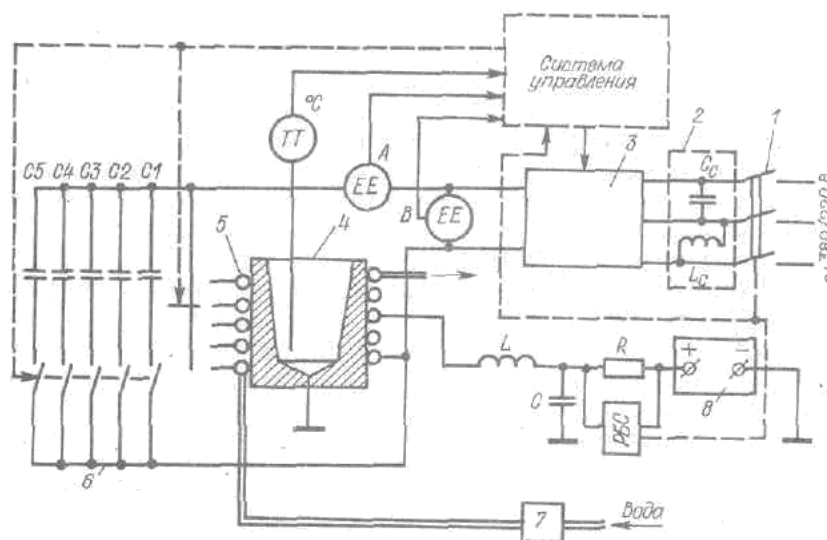


Рисунок.2.2 – Схема автоматизації тигельної індукційної установки

Плавка відбувається у вогнетривкому тиглі 4, оточеному індуктором 5 у вигляді водоохолоджуваної мідної трубки. До індуктора підводять охолоджувальну воду від спеціального насоса 7. Піч живиться електроенергією від мережі змінного струму через вимикач 1 і перетворювач електроживлення 3 (регульований трансформатор з перемикачем ступенів напруги для печей промислової частоти, для інших печей – генератори або тиристорні перетворювачі частоти). Теплова потужність, що виділяється в тиглі індукційної печі, становить, Вт

$$P = 2 \cdot \pi^2 \cdot n \cdot I^2 \cdot d \cdot \sqrt{\rho \cdot \mu \cdot f \cdot 10^{-9}} / h,$$

де n – число витків індуктора;

I – сила струму в індукторі, А;

d – середній діаметр тигля, см;

ρ – питомий опір металу в тиглі, Ом · см;

μ – магнітна проникність металу, Гн/м;

f – частота струму в індукторі, Гц;

h – висота металу в тиглі, см.

Сучасною тенденцією в області індукційного плавлення є переважне використання електроживлення промислової частоти $f=50$ Гц, що виключає необхідність застосування складного і дорогого електрообладнання. Недолік теплової потужності при цьому відшкодовують неповним випуском металу з печі в кінці плавлення (збереженням так званого «болота»).

Для печей значної ємності застосовують трифазні схеми електроживлення (рис. 2.2). Нерівномірний розподіл потужності по фазах тягне за собою недовикористання потужності пічного трансформатора. Тому виникає завдання забезпечення симетричного завантаження фаз, що здійснюється за допомогою симетрикуючого пристрою 2, що містить індуктивність LC і ємність CC. Крім того, після закінчення плавки необхідно регулювати наступні параметри електричного режиму:

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– напруга (i , отже, потужність) на вторинній обмотці пічного трансформатора;

– струм індуктора;

– коефіцієнт потужності пічної установки.

Специфічним завданням автоматизації процесу індукційного плавлення є необхідність контролю стану тигля та ізоляції індуктора.

Ступені напруги пічного трансформатора зазвичай перемикають за тимчасовою програмою з корекцією за температурою металу в тиглі.

Для незалежного регулювання струму індуктора в деяких різновидах індукційних плавильних печей є перемикачі числа робочих витків індуктора. При нагріванні феромагнітних матеріалів (чавуну, сталі) до точки Кюрі в плавильному контурі підвищується індуктивність, що знижує силу струму і уповільнює процес нагрівання. З метою форсування електричного режиму в цей період до пічного трансформатора підключають не весь індуктор, а лише частину його витків.

Оптимальне регулювання коефіцієнта потужності індукційних плавильних установок досягається компенсацією реактивної потужності індуктора шляхом паралельного підключення до нього ємностей $C_1 - C_5$ зі сплаву конденсаторної батареї 6 (рис. 2.2). Співвідношення ємностей:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{C_2}{C_3} = \frac{C_3}{C_4} = \frac{C_4}{C_5} = 2$$

Тому при використанні всього п'яти конденсаторів забезпечуються 32 ступені зміни компенсуючої ємності. Введенням відповідного значення ємності, що змінює по ходу плавлення щихти, досягають оптимальних умов роботи печі при:

$$\cos\varphi \rightarrow 0,98 \div 1,0.$$

Для контролю стану тигля та ізоляції індуктора використовується джерело постійного струму 8 (рис.2.2), підключене до одного з витків

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

індуктора. У ланцюг джерела введено фільтр LC для придушення змінної складової струму від індуктора та резистора R, до якого підключено реле блокування та сигналізації РБС. Зі зменшенням товщини футеровки тигля до критичного значення або при пошкодженні ізоляції тигля реле спрацьовує, відключаючи електроживлення пічної установки і приводячи в дію систему аварійної сигналізації. При цьому можуть бути також проведені відсічка подачі води до індуктора і включення продувки його стисненим повітрям.

Сучасні технічні засоби, що дозволяють здійснювати комплексний контроль параметрів індукційного плавлення (табл.2.2).

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						10
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Таблиця 2.2 – Перелік контрольованих параметрів і засобів автоматичного контролю процесу індукційного плавлення.

Контрольований параметр	Технічні засоби контролю
Напруга на індукторі	Вольтметр, трансформатор напруги, нормуючий перетворювач Е825/1 або Е825/2
Струм індуктора	Амперметр, трансформатор струму, нормуючий перетворювач Е824
Активна потужність трифазного струму	Ватметр, нормуючий перетворювач Е829
Коефіцієнт потужності пічної плавильної установки	Фазометр
Стан футеровки тигля та ізоляції індуктора	Спеціальна схема
Температура охолоджувальної води на виході з індуктора	Термобатарея, електронний потенціометр
Температура металу в тиглі	Термопара занурення в комплекті з електронним потенціометром або пірометр спектрального відношення
Співвідношення між масами «болота» і шихти	Сельсин
Хімічний склад металу і шлаку по ходу плавки	Квантометри в експрес-лабораторії цеху з транспортуванням проб пневмопоштою

При заданій продуктивності печі мета управління її електричним режимом полягає в забезпеченні максимальної економічності процесу плавки за рахунок скорочення питомої витрати електроенергії. Більшою мірою ця мета досягається при комплексному підході до проблеми управління не тільки електричним, але також тепловим і технологічним режимами плавки.

Розрахунок плавильних агрегатів проводимо по рідкому металу. Кількість печей на річну програму розраховуємо за формулою:

$$n = \frac{Q \cdot k_n}{\Phi_d \cdot q},$$

де n – кількість печей, шт;

Q – необхідна кількість рідкого металу, т/г;

k_n – коефіцієнт нерівномірного споживання рідкого металу, рівний для серійного і дрібносерійного 1,1-1,3;

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

ФД – дійсний річний фонд роботи печі, год;

q – продуктивність печі, т/год.

Розрахункова кількість печей ІЧТ-10:

$$n = \frac{224268 \cdot 1,2}{3890 \cdot 2,94} = 2,35 \text{шт.}$$

Приймаємо для плавки чавуну СЧ20 – 3 печі ІЧТ-10.

Коефіцієнт завантаження плавильного обладнання забезпечує нормальну роботу плавильного відділення, $k_3 = [0,7; 0,85]$:

$$k_3 = \frac{n_1}{n_2},$$

де n_1 – кількість обладнання, отримана за розрахунком, шт.;

n_2 – кількість обладнання, прийнята в проекті, шт.

$$k_3 = \frac{2,35}{3} = 0,79$$

Біля печей встановлюємо міксери для вирівнювання металу за хімічним складом і для витримки металу застосовуємо три індукційні каналні міксери ІЧТМ-10 для сплаву СЧ20.

Технічна характеристика печей наведена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.3 – Характеристики індукційних тигельних печей та електроміксерів для плавлення, перегріву та витримки чавуну.

Параметри печей	Тип печей	
	ІЧТ-10	ІЧТМ-10
Ємність тигля, т	10	10
Потужність трансформатора, кВт	2500	1300
Споживана потужність, кВт	2285	600
Продуктивність, т/год	2,94	-
Тривалість плавлення, год	3,4	-
Розрахункова продуктивність при перегріві на 100 0С, т/год	-	перегрів 1300-1400
Витрата електроенергії при перегріві на 100 0С, кВт	-	13
Робоча температура, 0С	1400	50
Витрата охолоджувальної води, м3/год	28	8
Загальна вага печі з рідким металом, т	41	35,7

2.1.3 Технологічний процес виплавки чавуну в печі ІЧТ-10.

Реалізація плавки синтетичного чавуну в індукційних тигельних печах підвищеної частоти та наступне сифонне або чайникове заливання форм на АФЛ підпорядковані суворому часовому та температурному регламенту. Організація процесу розділяється на дискретні етапи.

Передплавковий моніторинг інженерних вузлів: Перед початком кожного плавильного циклу плавильна бригада проводить інспекцію стану внутрішньої поверхні вогнетривкого тигля. Не допускається наявність сітки розгалужених термічних тріщин, локальних опуклостей (наростів шлаку) або провалів (викришування кварциту). Максимально допустимий ерозійний знос товщини стінок тигля у робочій зоні обмежений і не повинен перевищувати 30% від початкового проектного значення.

Метрологічне забезпечення: Усі компоненти металевої завалки, карбюризатори та флюси піддаються обов'язковому повагонному або поштучному контролю на електронних вагах із робочим діапазоном зважування 0-150 кг.

Формування стартового «болота»: На подину тигля укладають дрібнодисперсні шматки шихти, графітований бій (для первинного науглецювання) та бій натрієвого скла (як стартовий флюс для зв'язування перших оксидів).

Запобігання утворенню шихтових мостів: Великоваговий кусковий сталевий брухт та мірні заготовки завантажують у тигель виключно у вертикальному положенні. Це мінімізує ризики розпирання стінок при термічному розширенні та повністю унеможливорює утворення «довгих мостів» (зависання твердої шихти над рідким розплавом), що призводить до локального перегріву та проплавлення індуктора.

Інтенсифікація плавлення: Після фіксації стартової завалки закривають футеровану кришку, вмикають джерело живлення печі та виводять агрегат на максимальну паспортну потужність. Етап розплавлення ведуть із максимально

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

можливою швидкістю для обмеження часу контакту металу з киснем атмосфери та зниження питомого споживання електроенергії.

– алгоритм введення великого брухту: великогабаритні елементи сталеві завалки присаджують у ванну лише після утворення достатнього об'єму рідкої фази («болота»), що гарантує повне і швидке занурення шматків. Перед безпосереднім опусканням у розплав великі шматки піддають попередньому підігріву на комірці (краю) тигля протягом 10-15 хвилин, що виключає виникнення динамічних сплесків та водневого вибуху.

– теплоізоляція операцій: усі проміжні операції з дозавантаження та осадження шихти виконують при мінімальному куті відкриття кришки або через завантажувальне вікно, перекрите шаром високотемпературного азбестокартону, що мінімізує радіаційні втрати тепла та захищає персонал від бризок сплаву.

– легування та фінішний перегрів: у повністю рідку ванну послідовно вводять розрахункові порції феросплавів FeCr, FeMo, FeMn, після чого здійснюють термічний розгін печі до температури 1530-1550⁰C. Верифікацію температурного індексу виконують за допомогою термопар занурення.

– технологічна витримка: при досягненні цільової температури піч переводять у режим пасивного термостатування (режим витримки) на 5-10 хвилин для завершення процесів графітизації, дифузійного вирівнювання хімічного складу та інтенсивного спливання ендогенних включень.

Температурний інтервал випуску чавуну з печі встановлено в межах 1520-1540⁰C. Перед нахилом корпусу печі з дзеркала ванни за допомогою технологічних гребків повністю видаляють первинний шлак.

Процес графітизуючого модифікування інтегрують безпосередньо в етап випуску металу за наступною ковшовою методикою:

1. На дно сухого, попередньо прогрітого до температури 700-800⁰C роздавального ковша, біля стінки, що є протилежною до зливного носка, завантажують порцію подрібненого модифікатора (фракцією 2–5 мм).

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Наважку модифікатора герметично прикривають технологічним листом низьковуглецевої сталі товщиною 1-3 мм, що вирізаний за внутрішнім контуром днища ковша. Це створює тимчасовий бар'єр, який захищає модифікатор від передчасного згоряння та забезпечує його реакцію в режимі «під флюсом» при заповненні ковша.
3. Ківш позиціонують під піччю таким чином, щоб первинний струмінь рідкого металу вдарив безпосередньо в основу зливного носка, плавно заповнюючи об'єм.
4. При заповненні ковша на 1/2 його корисного об'єму, у струмінь чавуну безперервно вводять вторинний дрібнодисперсний феросиліцій (марки FeSi75) у кількості 0,2-0,3% від загальної маси металу плавки.

Після завершення випуску проводять технологічне перемішування для повної асиміляції лігатури. З метою якісного видалення вторинного ковшового шлаку, дзеркало металу покривають подрібненим боєм натрієвого скла в кількості 0,1-0,5% від маси сплаву. Шлаковий конгломерат згортають, очищуючи поверхню чавуну перед заливанням.

Заливання разових піщано-глинистих форм на конвеєрі АФЛ виконується виключно безперервним, щільним струменем.

- Регламент заповнення ливникової чаші: Протягом усього циклу заповнення форми ливникова чаша (воронка) повинна постійно утримуватися у затопленому (повністю заповненому розплавом) стані. Це створює гідродинамічний затвор, який унеможливорює затягування завихреннями повітря підповерхневого шлаку в стояк і попереджає утворення холодних спаїв на виливку «Кришка».
- Висотний регламент заливання: Для обмеження кінетичного удару та запобігання ерозії форми, носок ковша розташовують над рівнем ливникової чаші на висоті не більше 200 мм. Виключення становить початкова фаза заливання (при максимальному гідростатичному тиску у повному ківші), де допускається короткочасне підняття носка на висоту до 400 мм.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Утилізація залишків: Технологічний залишок металу з ковша (після заливання останньої форми в серії) в обов'язковому порядку зливають у металеві кокільні виливниці для формування маркованих зворотних відходів.

З кожної відлитої плавки здійснюється обов'язковий відбір експрес-проб для визначення повного хімічного складу (спектральним або хіміко-аналітичним методом), що необхідно для оперативного корегування розрахунку шихти наступних плавок.

Для верифікації відповідності фізико-механічних властивостей сталі/чавуну вимогам нормативної документації, від кожної виділеної партії виливків, отриманих з однієї плавки, відливають стандартні технологічні проби-бруски для проведення руйнівних механічних випробувань (на розрив, ударний згин та твердість за Брінеллем) у центральній заводській лабораторії (ЦЗЛ).

2.1.4 Контроль процесів плавки, якості металу

Організація надійного багаторівневого контролю на всіх етапах плавки та позапічної обробки є визначальним фактором отримання стабільного індексу якості виливків в умовах висококомеханізованого виробництва. Функції оперативної верифікації параметрів у плавильному відділенні цеху чітко розподілені між лінійним інженерно-технічним персоналом: змінним майстром, інженером-технологом дільниці та контролером відділу технічного контролю (ВТК).

У межах плавильного прольоту обов'язковому інспекційному контролю підлягає наступний комплекс технологічних чинників:

1. Якість підготовки та стан вогнетривкого контуру: оцінка геометрії та ступеня зносу набивного тигля індукційної печі, стану футеровки випускного жолоба та заливочних ковшів, а також перевірка якості їхнього просушування та прогріву перед прийманням розплаву.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Регламент пробовідбору: контроль правильності та часового інтервалу відбору експрес-проб рідкого металу для хімічного аналізу, що виключає похибки, пов'язані з ліквідацією елементів або потраплянням випадкового шлаку.
3. Хімічний склад сплаву: інспекція відповідності пофазних та фінішних концентрацій елементів (C, Si, Mn, Cr, Mo тощо) вимогам діючої нормативної документації (НД) та державним стандартам на марку сталі 20X5MJL чи модифікованого чавуну.
4. Температурний режим (термометрія): безперервний та дискретний контроль температурного поля розплаву на етапах перегріву, витримки, випуску та безпосереднього заливання піщаних форм.

Залежно від етапу технологічного процесу та фізичного стану об'єкта, визначення температурних параметрів реалізується двома взаємодоповнюючими методами:

Контактна високоточна термометрія (у плавильному агрегаті): безпосередньо в тиглі печі на фінальній стадії плавки (перед випуском металу в ківш) вимірювання температури здійснюється методом короткочасного занурення. Для цього застосовується вольфрам-ренієва термопара занурення (типу ТВР, яка є стабільною в окиснювальних та відновних середовищах при температурах до $1700\text{--}1800^{\circ}\text{C}$). Реєстрація, графічна візуалізація та архівування сигналу термо-ЕРС виконуються автоматично за допомогою стаціонарного аналогово-цифрового автоматичного потенціометра серії КСП-4 (або сучасного мікропроцесорного контролера-індикатора), інтегрованого в пульт керування печі.

Безконтактна оптична термометрія (на заливальній дільниці): у процесі транспортування ковшів та безпосереднього заповнення форм на конвеєрі АФЛ тривалий контактний контроль є неможливим. На цій дільниці моніторинг температури струменя розплаву реалізується безконтактним способом за допомогою фотометричного (оптичного або радіаційного) пірометра. Прилад фіксує інтенсивність теплового випромінювання поверхні металу в оптичному

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діапазоні спектра та трансформує її в цифровий індекс температури, що дозволяє оператору ВТК миттєво виявляти переохолоджений метал і запобігати утворенню браку за спаями чи недоливами.

2.1.5 Характеристика застосовуваних сплавів

Згідно з номенклатурним планом та виробничою програмою проєктованого цеху, основним ливарним сплавом для виготовлення заданої групи деталей є сірий конструкційний чавун марки СЧ20 (згідно з ДСТУ EN 1561). Для зазначеного класу матеріалів визначальними критеріями оцінки експлуатаційної надійності є стабільні фізико-механічні характеристики, де магістральним параметром виступає границя міцності при розтягуванні, яка для цієї марки становить не менше 200 МПа.

Сірий чавун із пластинчастою морфологією графітових включень є класичним та найефективнішим сплавом для отримання фасонного литва завдяки унікальному комплексу технологічних властивостей:

- Високі ливарні характеристики: Екстремально висока рідкотекучість розплаву, низька лінійна усадка (в межах 0,9-1,3%) та мінімальна схильність до утворення гарячих тріщин дозволяють безперешкодно виготовляти складні тонкостінні виливки різної конфігурації.
- Мінімізація матеріаломісткості: Завдяки високій точності відбитка моделі в піщаній формі АФЛ, заготовки отримують із мінімальними технологічними припусками на механічну обробку, що гарантує найвищий коефіцієнт виходу придатного литва (КВП).
- Економічна ефективність: Технологічний маршрут виплавки та формування СЧ20 відрізняється простотою, низькою собівартістю завалки, не потребує дефіцитних чи високовартісних легуючих елементів і характеризується помірними питомими енерговитратами порівняно зі сталевим литвом.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Специфічні властивості деталей: Пластинчастий графіт виконує роль внутрішніх мастильних кишень, що забезпечує високі антифрикційні властивості деталей, відмінну оброблюваність різанням, а також здатність ефективно гасити вібрації та резонансні коливання (висока демпфуюча здатність металевої матриці).

Вплив хімічного складу на кінетику та термодинаміку графітизації

Кінцевий фазовий склад, структура металевої матриці (співвідношення перліту й фериту), а також геометричні параметри та характер розподілу графітових пластин повністю детермінуються процесом графітизації під час первинної та вторинної кристалізації. На кінетику виділення вільного вуглецю вирішальний вплив чинить хімічний склад сплаву.

За ступенем та інтенсивністю термодинамічного впливу на процес графітизації (ефект сприяння або блокування виділення цементиту) основні хімічні елементи розташовуються у наступний нормативний послідовний ряд:

Si, Al, C, Ti, Ni, Cu, P, Zr | Nb | W, Mn, Cr, V, S, Mg, Ce, Te, B.

Графітизуючі елементи (ліворуч від Fe): Алюміній, вуглець та кремній є найпотужнішими графітизаторами. Збільшення їхньої концентрації знижує розчинність вуглецю в аустеніті, зменшує схильність чавуну до відбілу і сприяє формуванню дрібнопластинчастого перліту або фериту.

Карбідоутворюючі (відбілюючі) елементи (праворуч від Fe): Марганець, хром, молібден і ванадій термодинамічно стабілізують карбідну фазу (Fe_3C). Вони гальмують розпад аустеніту в евтектоїдному інтервалі, сприяючи повній перлітизації матриці, що підвищує твердість та міцність чавуну марки СЧ20, проте потребує суворого дозування для запобігання утворенню важкооброблюваних ділянок відбілу.

Ліворуч від Nb – графітизуючі елементи, що сприяють утворенню графіту і фериту, праворуч – карбідуючі елементи (антиграфітизатори), що сприяють утворенню карбідів, перлітизації структури матриці.

Механічні властивості чавуну СЧ20 наведені в таблиці 2.3.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Таблиця 2.3 – Механічні властивості чавуну

Марка сплаву	При розтягуванні		При стисненні	
	δ, %	σ, МПа	δ, %	ψ, МПа
СЧ20	0,2	200	20	20

Основні ливарні властивості та хімічний склад сплавів наведено в таблиці 2.4 за ГОСТ 1412-85.

Таблиця 2.4 – Ливарні властивості та хімічний склад чавуну

Марка сплаву	Ливарні властивості сплаву					Масова частка елементів, %				
	Щільність, г/см ³	Ливарна усадка сплаву, %	Температура, 0С		Твердість за Брінелем, НВ	С	Si	Mn	S	
			Плавлення	Заливки в ливарні форми					не більше	
СЧ20	7,1	1,1	1150-1260	1260	143	3,3-3,5	1,4-2,4	0,7-1,0	0,2	0,15

2.1.6 Розрахунок шихтових матеріалів

Хімічний склад шихтових матеріалів компонентів для сплаву СЧ20 наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Хімічний склад компонентів шихтових матеріалів

Компоненти	Вміст елементів, %				
	С	Si	Mn	P	S
Чавун переробний	3,5	3,3	0,5	0,3	0,02
Лом чавунний	3,0	1,6	0,8	0,2	0,1
Сталевий брухт	0,2	0,3	0,8	0,05	0,05
Повернення	3,4	1,8	0,8	0,2	0,15
Чавунна стружка	3,3	2,1	0,7	0,1	0,09
Сталева стружка	0,3	-	-	-	-

Випаровування металів при заливці в індукційній тигельній печі промислової частоти становить, %: 10 С; 4 Si; 15 Mn.

Розрахунковий вміст кремнію, марганцю, вуглецю з урахуванням випару розраховуємо за формулою:

$$E_i = \frac{\vartheta}{100 \pm \Delta} \cdot 100\%,$$

де E_i – допустимий вміст розрахункового елемента;

E – необхідний склад рідкого чавуну, %;

Δ – випаровування елементів, %.

$$E_C = \frac{3,4 \cdot 100}{100 - 10} = 3,77\% ;$$

$$E_{Si} = \frac{1,8 \cdot 100}{100 - 4} = 1,875\% ;$$

$$E_{Mn} = \frac{0,8 \cdot 100}{100 - 15} = 0,941\%$$

З урахуванням шихтових матеріалів і хімічного складу підбираємо масу окремих компонентів металозавалки. Вміст елементів металозавалки перевіряємо розрахунком (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Розрахунок вмісту елементів

Компоненти	Маса		Вміст елементів, %				
	кг	%	C	Si	Mn	P	S
Чавун переробний	150	15	0,525	0,495	0,075	0,045	0,003
Лом чавунний	250	25	0,75	0,4	0,2	0,05	0,025
Сталевий брухт	200	20	0,04	0,06	0,16	0,01	0,01
Повернення	280	28	0,952	0,504	0,224	0,056	0,042
Чавунна стружка	100	10	0,33	0,21	0,07	0,01	0,009
Сталева стружка	20	2	0,006	-	-	-	-
Разом	1000	100	2,603	1,669	0,729	0,171	0,089

З таблиці видно, що:

– нестача вуглецю у виплавленому чавуні $3,77 - 2,584 = 1,167\%$, або

$$\frac{1,167 \cdot 1000}{100} = 11,67$$

кг. Нестачу вуглецю компенсуємо введенням електродного

бою з засвоєнням 80%, $\frac{11,67 \cdot 100}{80} = 14,58$ кг;

– недолік кремнію у виплавленому чавуні $1,875 - 1,669 = 0,206\%$ або

$$\frac{0,206 \cdot 1000}{100} = 2,06$$

кг. Недолік кремнію заповнюємо введенням у розплав

феросиліцію ФС45 з вмістом кремнію 45%, $\frac{2,06 \cdot 100}{45} = 4,58$ кг.

– недолік марганцю у виплавленому чавуні $0,941 - 0,729 = 0,212\%$ або

$$\frac{0,212 \cdot 1000}{100} = 2,12$$

кг. Недолік марганцю заповнюємо введенням феромарганцю

ФМн75, вміст марганцю в якому становить 75 %, $\frac{2,12 \cdot 100}{75} = 2,826$ кг.

На підставі розрахунку шихтових компонентів методом підбору записуємо склад шихти металевої закладки масою 1000 кг. Річна кількість шихтових компонентів наведена в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Річна кількість шихтових компонентів

Компоненти	Нормативна документація (ГОСТ)	Вміст компонентів у металозавалі, %	Норма витрати, кг	
			на 1000 кг.	на 22883800 кг.
Чавун переробний	805-95	14,68	150	3359341,84
Брухт чавунний	2787-75	24,46	250	5597377,48
Брухт сталевий	2787-75	19,57	200	4478359,66
Повернення	977-75	27,40	280	6270161,2
Чавунна стружка	2787-75	9,78	100	2238035,64
Сталева стружка	2787-75	1,96	20	448522,48
Електродний бій		1,43	14,58	327238,34
ФС45	1415-93	0,44	4,58	100688,72
ФМн75	4755-91	0,28	2,826	64074,64
Разом		100	1021,986	22883800

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Транспортно-технологічна схема дільниці підготовки та дозування металозавалки плавильного відділення розроблена за принципом максимальної механізації вантажопотоків. Вона забезпечує безперервне постачання плавильних агрегатів мірними компонентами шихти при мінімальному використанні ручної праці.

Первинна металева шихта (кусковий сталевий брухт, чавунні чушки, повернення власного виробництва, лігатури) надходить на територію дільниці підготовки залізничним транспортом (циклічність постачання становить один раз на 15 діб).

Розвантаження залізничних вагонів, сортування та диференційоване подання матеріалів у видаткові засіки (бункери проміжного зберігання) реалізується за допомогою мостових кранів, що оснащені вантажними електромагнітними шайбами.

Процес формування точної наважки (порції завалки) для плавки синтетичного чавуну марки СЧ20 автоматизований і підпорядкований наступному алгоритму:

1. Первинний набір та зважування: спеціалізовані магнітно-грейферні мостові крани, що оснащені електромагнітами з регульованою (змінною) підйомною силою, здійснюють покроковий забір шроту та брухту із засіків. Фіксація маси набраного компонента виконується безпосередньо в процесі траєкторії руху за допомогою інтегрованих тензометричних кранових ваг.

2. Верифікація та реєстрація: сформована наважка скидається у стаціонарні бункерні ваги. Тут відбувається фінішне контрольне зважування порції та автоматичний запис (цифрова реєстрація) фактичної витрати шихтових матеріалів в єдиній базі даних АСУ ТП плавильного відділення.

Після проходження верифікаційного зважування компоненти металозавалки перевантажуються у спеціалізовану завантажувальну тару — баддю з нижнім днищем, що розкривається, яка стаціонарно базується на рейковому передавальному візку.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Подальший технологічний маршрут переміщення бадді до плавильних агрегатів включає такі етапи:

- заповнена баддя за допомогою цехового мостового крана знімається з передавального візка та позиціонується на міжпрольотний електровізок.
- електровізок здійснює швидкісний транзит тари безпосередньо до робочого фронту індукційних тигельних печей.
- безпосереднє введення шихти в розігрітій тигель індукційної печі виконується за допомогою консольних пересувних кранів, закріплених на колонах плавильного прольоту. Крановий механізм виводить баддю на геометричну вісь печі, опускає її всередину тигля, після чого здійснюється дистанційне розкриття замків днища.

Дана технологія завантаження «зверху вниз» мінімізує механічні удари великих шматків брухту об дзеркало футеровки, попереджає виплески рідкого металу та суттєво скорочує час перебування кришки печі у відкритому стані, зберігаючи високий тепловий ККД агрегату.

2.1.7 Розрахунок кількості ковшів

Для транспортування рідкого металу застосовуємо барабанні ковші. Кількість ковшів визначаємо за формулою:

$$n = \frac{Q \cdot t}{T_d \cdot P}, \quad (2.4)$$

де Q - річна кількість рідкого металу, т;
 t - час обороту ковша, год;

T_d - дійсний річний фонд часу роботи дільниці, год;

P - місткість ковша, т.

Розрахунки наведені в таблиці 2.8.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Таблиця 2.8 – Розрахунок ковшів

Найменування ковшів	Розрахункова кількість ковшів	Кількість ковшів, що знаходяться в ремонті	Всього ковшів
Чайниковий ківш	7	4	11

При футуруванні чайникових ковшів металева стінка викладається азбестовим картоном з товщиною шару 10-20 мм. Товщина робочого шару для цих ковшів становить 65 мм. Основна футеровка ковшів робиться зі стабілізованого доломіту. Однією з основних функцій ковшів є утримання шлаку, який знімається з поверхні чавуну після заповнення ковша і перед заливкою металу в форму.

Для футерування розливних ковшів застосовуються суміші такого складу:

- кварцовий пісок;
- глина формувальна вогнетривка;
- шамотний порошок.

2.1.8 Контроль якості

У плавильному відділенні передбачені експрес-лабораторії, що здійснюють контроль якості виплавленого металу:

- за пробою на твердість (ГОСТ 24805-81);
- за хімічним аналізом (ГОСТ 3443-87).

Якщо метал не відповідає необхідному хімічному складу, то проводиться коригування.

2.2 Формовочне відділення

2.2.1 Програма формувального відділення

Програма формувального відділення представлена в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Програма формувального відділення.

Найменування вливка	Марка сплаву	Кількість деталей на рік, шт.	Маса		Внутрішній розмір опоки з висотою 400 мм	Кількість вливоків у формі, шт.	Кількість форм на рік, шт.
			Одного вливка, кг	На програму, т.			
1. Блок	СЧ20	164275	19	3998,4	1200X1000	7	23468
2. Вкладиш	СЧ20	39015	80	3894,5	1200X1000	1	39015
3. Кришка люка	СЧ20	6936	75	657,6	1200X1000	1	6936
4. Муфта	СЧ20	20164	43	1125,7	1200X1000	4	5041
5. Втулка циліндрова	СЧ20	69360	25	2313,9	1200X1000	4	17340
6. Диск рухомий	СЧ20	308268	4,5	1825,8	1200X1000	8	38534
7. Диск малий рухомий	СЧ20	45632	19	1081,8	1200X1000	4	11408
8. Диск малий нерухомий	СЧ20	108996	17,5	2477,2	1200X1000	6	18166
9. Диск великий рухомий	СЧ20	4954	24,5	1642,5	1200X1000	4	12386
10.Круг барабана	СЧ20	78374	8,85	888,5	1200X1000	6	13063
11. Втулка натискна	СЧ20	31529	11	438,4	1200X1000	6	5255
12. Корпус	СЧ20	50343	31	2082,5	1200X1000	4	12586
Разом		972436		22426,8			203198

Всі форми виготовляються з єдиної підвищеної міцності формувальної суміші.

Формувальне відділення цеху оснащено однією комплексною автоматичною лінією типу Л651 (рис. 2.2).

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Лінія створена на базі однієї багатопозиційної формувальної установки з «плаваючою» модельною оснасткою і роликowymi конвеєрами.

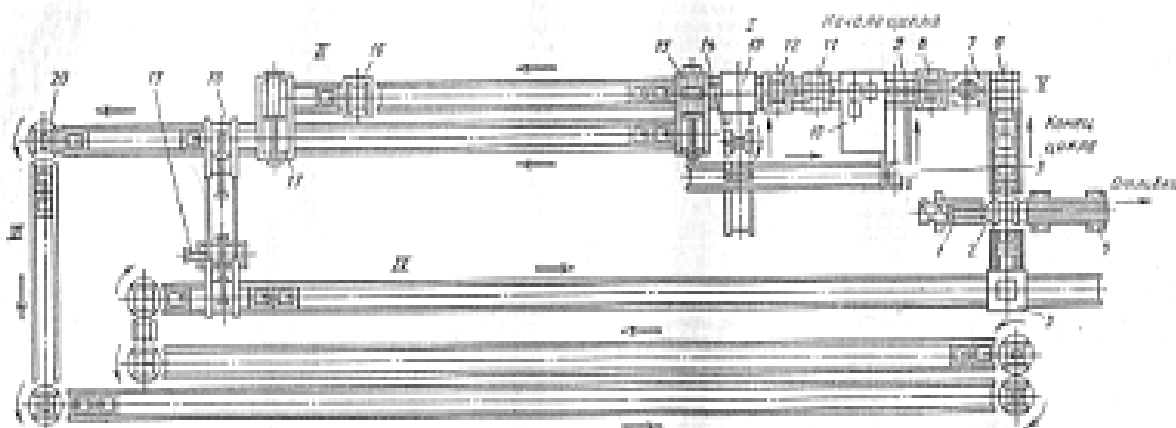


Рисунок.2.2 – Типове планування комплексної автоматичної лінії Л651

1 – зіштовхувач; 2 – прес вибивання; 3 – знімач залитих форм; 4 – вибивна решітка; 5 – стіл підйомний; 6 – розпаровник; 7 – механізм очищення опок; 8 – кантувач опок низу; 9 – механізм складання; 10 – дозатор; 11 – прес диференціальний; 12 – кантувач напівформ; 13 – механізм витяжки; 14 – кантувач моделей; 15 – візок передавальний; 16 – кантувач напівформ верху; 17 – збирач форм; 18 – перекладач вантажів і піддонів; 19 – механізм очищення піддонів; 20 – стіл поворотний; ділянки лінії: I – формування; II – складання форм; III – заливка; IV – охолодження; V – вибивання.

Для забезпечення високої продуктивності та поточності виробництва вилівка «Кришка» в умовах серійного випуску, проектом передбачено впровадження автоматизованої формувальної лінії (АФЛ). Конструктивно-технологічний комплекс лінії диференційовано на чотири автономні, але кінематично пов'язані функціональні дільниці:

1. Дільниця автоматизованого формування напівформ (формувальний блок);
2. Дільниця складання та транспортування конвеєрних блоків на заливання та охолодження;
3. Дільниця автоматичного вибивання та деструкції форм;

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

4. Головна формувальна установка (базовий пресовий агрегат лінії).

Технологічний маршрут формування, заливання та первинної екстракції заготовок реалізується у строгій часовій та просторовій послідовності, що охоплює такі дискретні операції:

1. Паралельно-послідовне формування: Виготовлення нижніх та верхніх піщано-глинистих напівформ на головному пресовому агрегаті.
2. Фрезерування ЛЖС: Механічне фрезерування (вирізання) ливникової чаші у верхній напівформі за допомогою інтегрованого фрезерного супорта.
3. Кантування та інспекція: Поворот (кантування) верхньої напівформи на 180° для продування робочої порожнини та проставляння Cold-box-стрижнів (за необхідності).
4. Спарювання та складання: Точне позиціонування та автоматичне збирання (складання) верхньої та нижньої напівформ у комплектний блок.
5. Базування та привантаження: Встановлення зібраної форми на подовий піддон конвеєрної лінії та автоматичне накладання технологічних важких вантажів (навантаження) для протидії архімедовій силі розплаву.
6. Заливання та витримка: Безперервне заповнення форми рідким сплавом із роздавального ковша на заливочній дільниці та наступне конвеєрне охолодження вилівка в зоні термостабілізації.
7. Розвантаження контуру: Автоматичне зняття привантажувальних елементів та повернення подових піддонів на початкову позицію лінії.
8. Випресовування та деструкція: Механізоване видавлювання (випресовування) комів ущільненої суміші разом із заготовкою з опок та передача цього об'єму на віброрешітку дільниці вибивання.
9. Сепарація та очищення: Відокремлення литих заготовок від відпрацьованої формувальної суміші, роз'єднання пустих комплектів опок та їх фінішне очищення від залишків горілого піску за допомогою механічних щіток або стисненого повітря.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10.Зворотний транзит: Кантування нижньої порожньої опоки у вихідне положення та синхронна подача комплекту оснащення на стіл формувального автомата для повторення циклу.

Головна формувальна установка лінії реалізує прогресивну багатоступеневу схему ущільнення єдиної суміші, яка включає попереднє струшування з наступним одночасним струшуванням та фінішним диференціальним (багатоплунжерним) пресуванням. Це гарантує досягнення високої та рівномірної твердості форми (не менше 90 одиниць за контуром моделі), виключаючи виникнення ужимин чи роздуття вилівка при заливанні високолегованої сталі або чавуну.

Технологічна гнучкість лінії та можливість її швидкої адаптації до випуску дрібносерійних партій сторонніх замовлень забезпечуються такими інженерними рішеннями:

- плаваюче модельне оснащення: Можливість одночасного або послідовного використання до восьми комплектів швидкозмінних модельних плит, що дозволяє оперативно змінювати номенклатуру без зупинки лінії.

– варіативність ЛЖС: Конструкція надувних та пресових плит передбачає гнучку можливість локального позиціонування ливникової чаші у формах у трьох різних координатних точках, залежно від конфігурації деталі-представника.

Координація рухів усіх виконавчих механізмів, гідроциліндрів, штовхачів та кантувачів здійснюється за допомогою багаторівневої АСУ ТП на базі програмованих логічних контролерів (ПЛК). Дистанційний моніторинг та оперативне введення параметрів реалізуються з головного (центрального) пульта керування цеху, а також локальних допоміжних пультів, розміщених безпосередньо на технологічних ділянках лінії.

Програмою автоматизації передбачено функціонування лінії у двох базових режимах:

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- налагоджувальний (сервісний) режим: покрокове ручне керування окремими вузлами, що застосовується при проведенні планово-попереджувальних ремонтів (ППР), заміні модельних плит або верифікації роботи датчиків.
- автоматичний режим: основний експлуатаційний режим роботи АФЛ у конвеєрному циклі заданого темпу виробництва.

Характеристика лінії представлена в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Технічна характеристика лінії типу Л651

Параметр	Л651
Розміри опок у світлі, мм	1200X1000
Висота опок, мм	400
Продуктивність циклова, форм/год	80
Середня маса виливків, кг	50
Кількість робітників, що обслуговують лінію в одну зміну	5
Тиск пресування, МПа	до 1,6
Швидкість переміщення форм по роликівих конвеєрах:	
на гілці охолодження, м/хв	6,3
на складанні та заливці, м/хв	13,2
Витрата формувальної суміші, м3/год	160
Робочий тиск у гідросистемі, МПа	6,3
Подача насосної станції (200X8), л/хв	1600
Витрата стисненого повітря, м3/хв	650
Кількість масла, що заливається в гідросистему, л	9000
Встановлена потужність, кВт	585
Габаритні розміри лінії, мм	96340X27100X5820
Маса комплекту обладнання, що поставляється, т	900

2.2.2 Розрахунок кількості формувальних ліній

Кількість формувальних ліній розраховуємо за формулою:

$$N = \frac{n \cdot K_H}{\Phi_D \cdot P},$$

де n – кількість форм на рік, шт.;

K_H – коефіцієнт нерівномірності (1,2 – 1,3);

Φ_D – дійсний фонд часу роботи обладнання, год/рік;

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

P – продуктивність формувальної лінії, форм/год.

$$n = \frac{203198 \cdot 1,2}{3645 \cdot 80} = 0,836 \text{ шт.}$$

Приймаємо одну лінію мод. Л651.

Коефіцієнт завантаження дорівнює $KЗ=0,836/1=0,836$

2.3 Стрижневе відділення

2.3.1 Програма стрижневого відділення

Обсяг виробництва стрижневого відділення представлений у таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Обсяг виробництва стрижневого відділення

Деталь	Річна кількість виливків, шт	Стрижні			Потреба стрижнів, шт.			Маса виготовлених стрижнів на рік, т	Обсяг, м3	Річна кількість зйомок, зйомок/рік
		Номер	Маса, кг	Кількість в стрижневому ящику, шт	На деталь	На річний випуск	Річний з урахуванням браку та поломки стрижнів			
1 Блок	161053	1	12,4	2	1	161053	164275	2037	1697	82138
		2	4,8	4	1	161053	164275	788,5	657,1	41069
4 Муфта	19768	4	5	4	1	19768	20164	100,8	84	5041
5 Втулка циліндрова	68000	5	3,5	5	1	68000	69360	242,8	202,3	13872
6 Диск рухомий	302223	6	0,8	10	1	302223	308268	246,6	205,5	30827
7 Диск малий рухомий	44737	7	5	4	1	44737	45632	228,1	190,1	11408
8 Диск малий нерухомий	106858	8	4,5	4	1	106858	108996	490,4	408,7	27249
9 Диск великий рухомий	48572	9	5,5	3	1	48572	49544	272,5	227	16515
10 Діаметр барабана	76837	10	2,5	5	1	76837	78374	195,9	163,3	15675

11 Втулка натискна	30910	11	4,8	4	1	30910	31529	151,3	126,1	7883
12 Корпус	49355	12	16,3	2	1	49355	50343	820,6	683,8	25172
Разом	908313					106936	1090760	5575	4645	276849

Для формування внутрішніх порожнин виливків складного конвекційного профілю в проекті регламентовано впровадження прогресивної технології виготовлення стрижнів із холоднотвердіючих сумішей (ХТС) (зокрема, фуранових або альфа-сет процесів). Стрижневі елементи, отримані за цим методом, мають високий комплекс фізико-механічних та реологічних характеристик:

- екстремальна початкова та кінцева міцність: що виключає ризики руйнування або деформації знаків під дією динамічного натиску та гідростатичного тиску розплаву;
- висока точність відбитка: забезпечує мінімальну шорсткість внутрішніх стінок і чітке дотримання геометрії заготовки без утворення просічок чи заливів;
- термічна податливість та відмінна деструкція: після кристалізації та охолодження сплаву органічне сполучне суміші вигорає, завдяки чому стрижні легко руйнуються і безперешкодно видаляються з виливків на віброрешітках дільниці вибивання цеху.

Для виготовлення великогабаритних або середніх стрижневих систем в умовах серійного виробництва застосовуються дерев'яні та комбіновані (дерево-пластикові) стрижневі ящики. Робочі поверхні оснащення піддаються обов'язковому багат шаровому фарбуванню спеціалізованими епоксидними або поліуретановими емаліями. Це дозволяє:

1. Захистити деревину від гігроскопічного набрякання та деструктивного впливу хімічно активних рідких катализаторів і смол;
2. Досягти високого класу чистоти поверхні (низького коефіцієнта тертя), що забезпечує легке, безперешкодне вилучення (розпалубку) затверділого стрижня без пошкодження його країв.

З огляду на обмежену живучість (швидкість хімічного затвердіння після змішування смоли з кислотним каталізатором), процес приготування ХТС реалізується безпосередньо біля формотворчих місць за принципом «just-in-time».

Технологічний цикл формування складається з наступних етапів:

- Приготування суміші: Кварцовий пісок, рідка смола та каталізатор безперервно дозуються та перемішуються у високошвидкісних лопатевих шнекових змішувачах (змішувачах безперервної дії), що закріплені на поворотних консолях безпосередньо над робочими місцями стрижневиків.

- Подача та заповнення: Готова суміш безпосередньо з випускного сопла змішувача гравітаційним способом безперервно подається в порожнину стрижневого ящика.

- Динамічне ущільнення: Для досягнення однорідної щільності та повного заповнення глибоких пазів оснащення, процес формоутворення стрижнів здійснюється із застосуванням цехових вібростолів низької або середньої частоти. Імпульсний віброплив забезпечує перерозподіл зерен піску під власною вагою, мінімізуючи пористість та гарантуючи високу міцність стрижня по всьому його об'єму.

Після завершення віброущільнення стрижневий блок витримується в оснащенні протягом кількох хвилин до завершення початкової фази полімеризації, після чого розкривається і передається на стадію фінішного протипригарного фарбування.

Сукупність всіх операцій виконують на комплексно-механізованій лінії Л40Х (рис. 2.3).

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

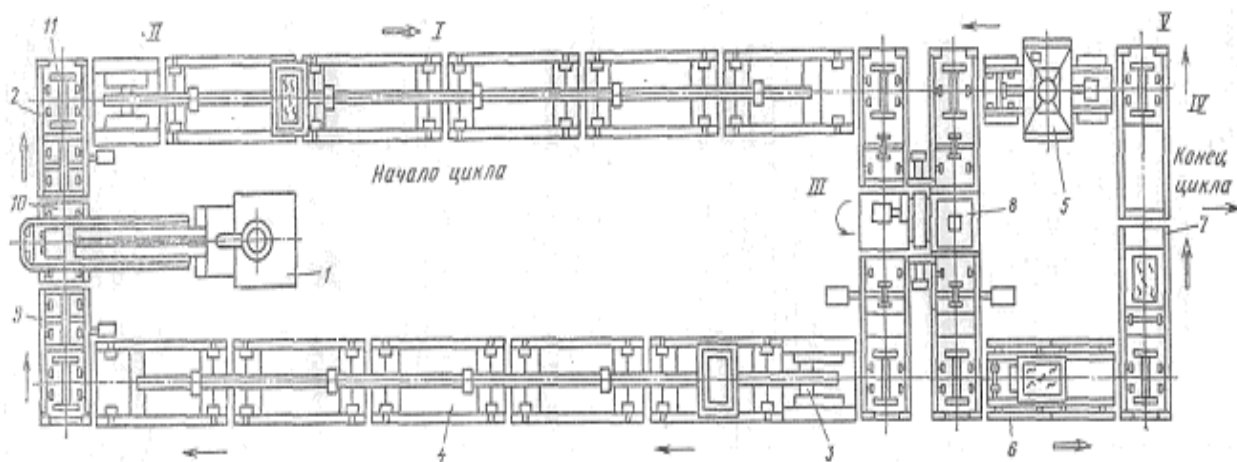


Рисунок. 2.3 – Типове планування стрижневої лінії Л40Х

1 – змішувач; 2, 3, 6, 7, 9 – роликові конвеєри; 4 – штанговий конвеєр; 5 – камера очищення сушильних плит; 8 – поворотно-витяжна машина; 10 – вібростіл; 11 – стіл передавальний; I, II – ділянка обробки та затвердіння стрижнів; III – ділянка катування та витягування стрижнів; IV – ділянка зняття стрижнів; V – ділянка очищення сушильних плит.

Характеристика стрижневої комплексно-механізованої лінії Л40Х представлена в таблиці 2.12

Таблиця 2.12 – Технічна характеристика стрижневої лінії Л40Х

Параметр	Л40Х
Найбільша маса стрижнів, кг	40
Найбільші розміри стрижневого ящика, мм:	800X630X495
Продуктивність циклова, знімків/год	50
Витрата стрижневої суміші, м3/год	1,5
Робочий тиск в гідросистемі, МПа	4
Витрата стисненого повітря, м3/год	51
Встановлена потужність, кВт	45
Габаритні розміри лінії, мм:	
довжина	23000
ширина	5180
Маса комплекту, що поставляється, т	45

2.3.2 Розрахунок кількості стрижневих ліній

Кількість стрижневих ліній розраховуємо за формулою:

$$N = \frac{n \cdot K_H}{\Phi_D \cdot P},$$

де n – необхідна кількість зйомок на рік, шт.;

K_H – коефіцієнт нерівномірності (1,2 – 1,3);

Φ_D – дійсний фонд часу роботи обладнання, год/рік;

P – продуктивність стрижневої лінії, форм/год.

$$n = \frac{276849 \cdot 1,2}{3935 \cdot 50} = 1,69 \text{ шт.}$$

Приймаємо 2 стрижневі лінії Л40Х.

Зачистка, фарбування, контроль стрижнів здійснюються в цьому ж відділенні.

Для запобігання пригорання стрижні фарбуємо водною графітною фарбою. Склад фарби: 33% - графіт кристалічний; 13,5% - тальк; 2,5% - бентоніт; 1% - декстрин; 50% - вода.

2.4 Відділення приготування суміші

2.4.1 Склади формувальної та стрижневої сумішей та їх основні властивості

Для виготовлення форм на формувальних лініях застосовується єдина піщано-глиниста формувальна суміш з підвищеною міцністю. Склад суміші наведено в таблиці 2.13.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.13 – Склад і властивості формувальної суміші

Найменування суміші	Кількість за масою, %						Основні властивості		
	Оборотна суміш (ОБІКО25)	Бентоніт (БПТ1)	Вугілля гранульоване	Крохмаліт (ЕКР)	Кварцовий пісок	Вміст активного бентоніту	Вологість, %	Газопроникність, од	Межа міцності, · 105 Па
Формовочна єдина суміш	88	2,6	1	0,04-0,08	5	4,5-5,5	3,5 – 5,0	120	1,2 – 1,4

Приготування високоякісних формувальних та стрижневих сумішей є базовим елементом стабілізації реологічних властивостей (газопроникності, міцності у вологому стані, піддатливості та текучості) разових піщаних матриць АФЛ. Незалежно від хімічної природи використовуваних сполучних комплексів, загальний технологічний цикл сумішеприготування підпорядкований суворому покроковому регламенту, який охоплює такі послідовні операції:

1. Високоточне дозування (зважування або об'ємне відмірювання): вимірювання масових чи об'ємних часток усіх вихідних сухих компонентів, оборотного регенерату, рідких функціональних сполучних матеріалів та технологічної води, необхідних для отримання суміші заданого фізико-механічного класу.
2. Послідовне завантаження: подача сухих та рідких інгредієнтів у робочу чашу змішувача у строго визначеному часовому інтервалі для запобігання передчасному згортанню смол або утворенню незмішаних конгломератів.
3. Гомогенізація (інтенсивне перемішування): динамічне залучення компонентів у процес механічного перемішування для рівномірного розподілу сполучних плівок по поверхні зерен кварцового піску та досягнення абсолютної однорідності маси.
4. Технологічна витримка та аерація: фінішне доведення, охолодження та розпушування (аерація) готових сумішей перед їх транспортуванням

пневмотранспортом або стрічковими конвеєрами до видаткових силосів формувальних ліній.

Для забезпечення високої точності та виключення людського фактора, сумішеприготувальне відділення оснащено автоматизованою системою дискретного та безперервного дозування:

- Дискретне дозування сипучих компонентів: Подача основних сухих матеріалів реалізується за допомогою автоматичних вагових бункерних дозаторів. Для високоточного зважування свіжого кварцового піску та сухого оборотного регенерату (відпрацьованої суміші) інтегровано дозатори тензометричного типу моделі ДПЛ-800-І. Дозування порошкоподібних добавок (бентоніту, меленого вугілля, вогнетривкої глини) здійснюється прецизійними бункерними вагами серії ДГЛ-50.
- Безперервне потокове дозування: Для забезпечення безперервної роботи високопродуктивних каткових змішувачів (бігунів) безперервної дії, подача масових сипучих компонентів (відпрацьованого піску з дільниці вибивання) реалізується за допомогою автоматичних вагових стрічкових дозаторів безперервної дії. Це гарантує стабільний потік сухої суміші заданої щільності.
- Дозування рідкої фази: Введення води, рідких смол, каталізаторів або рідкого скла виконується за допомогою автоматичних об'ємних дозаторів (поршневих або імпульсних витратомірів), що забезпечують точність подачі рідких сполучних матеріалів незалежно від зміни їхньої в'язкості.

Залежно від зони застосування (формування чи виготовлення внутрішніх стрижнів) у цеху запроектовано використання двох відмінних за складом технологічних сумішей:

1. Єдина формувальна суміш

Служить для монолітного набивання (ущільнення) всього робочого об'єму верхньої та нижньої напівформ на автоматичній лінії 2Н380. Використання єдиної суміші є високоефективним рішенням при машинному та імпульсному формуванні дрібних і середніх сталевих чи чавунних виливків масою до 500 кг (включаючи деталь «Кришка»).

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Від класичної наповнювальної суміші єдина відрізняється підвищеною регенеративною здатністю, дещо більшим вмістом свіжого кварцового піску (для компенсації втрат при вибиванні) та спеціальними протипригарними й пластифікуючими добавками (вугільний пил, бентоніт).

2. Холоднотверднуча стрижнева суміш (ХТС) на основі рідкого скла

Для формування прецизійних внутрішніх порожнин вилівка в проекті передбачено використання ХТС, де як сполучне застосовується силікат натрію (рідке скло), що твердне за рахунок хімічної взаємодії з рідкими естерами (складними ефірами) або шляхом продування вуглекислого газу (CO₂). Суміш характеризується високою термостійкістю та низьким газовиділенням при контакті зі сталлю 20Х5МЛ.

Повну компонентну рецептуру, відсотковий вміст та функціональне призначення кожного інгредієнта проектованої стрижневої суміші зведено у таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 – Склад і властивості стрижневої суміші

Найменування суміші	Кількість за масою, %			Основні властивості		
	Кварцовий пісок КК10202, або регенерат із вмістом SiO ₂ ближче до 99,00%	Рідке скло	Рідкий загврджувач (АЦЕГ)	Осіпання менше, %	Живучість, хв	Межа міцності на розрив, 10 Па
ХТС	94	5,0	0,5	3	20	2,5

2.4.2 Визначення витрати сумішей

Сумарна річна потреба в єдиній формувальній суміші для забезпечення планового технологічного темпу роботи автоматизованої лінії визначається аналітичним розрахунком. В основу обчислень покладено геометричні параметри опочного оснащення та річну квантитативну програму випуску форм для всієї закріпленої за цехом номенклатури деталей.

Для кожної типорозмірної групи заготовок теоретична витрата формувальної суміші на одну заповнену опоку розраховується як чиста різниця між внутрішнім корисним об'ємом комплектної форми та простором, який витісняється металом і стрижневими елементами:

$$V_{\text{см}} = V_{\text{оп}} - (V_{\text{в}} + V_{\text{лжс}} + V_{\text{стр}})$$

де:

- $V_{\text{оп}}$ — сумарний внутрішній геометричний об'єм верхньої та нижньої напівформ (опок) у світлі;
- $V_{\text{в}}$ — теоретичний об'єм, що займає тіло кондиційного вилівка;
- $V_{\text{лжс}}$ — об'єм, що відчужується під канали ливниково-живильної системи (стояк, шлакоуловлювач, живильники, прибутки);
- $V_{\text{стр}}$ — сумарний об'єм піщаних стрижнів (виготовлених за *Cold-box-atin* або ХТС процесами), що проставляються у внутрішню порожнину форми і витісняють суміш.

Повний комплекс вихідних геометричних і вагових параметрів, а також пофазні результати розрахунків об'ємів для поточної номенклатури виробництва цеху систематизовано і наведено в таблиці 2.15.

Інтегральний розрахунок на річну програму з урахуванням технологічних втрат

Перехід від одиничного об'єму до валової річної витрати суміші виконується з обов'язковим урахуванням немінучих втрат часу та матеріалів,

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

що виникають у реальному ливарному контурі. За результуючими статтями та підсумковими числовими даними таблиці визначають річну витрату суміші на програму виробництва виливків в опоках заданого габариту за наступною інтегральною залежністю:

$$Q_{\text{рік}} = V_{\text{см}} \cdot \gamma_{\text{см}} \cdot N_{\text{форм}} \cdot \left(1 + \frac{K_{\text{бр.ф}}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{K_{\text{бр.в}}}{100}\right)$$

де:

- $\gamma_{\text{см}}$ — середня щільність ущільненої формувальної суміші після диференціального пресування);
- $N_{\text{форм}}$ — планова річна кількість комплектних форм для виконання замовлення;
- $K_{\text{бр.ф}}$ — нормативний коефіцієнт, що враховує технологічний брак форм при збиранні, спарюванні та кантуванні на АФЛ;
- $K_{\text{бр.в}}$ — коефіцієнт, що компенсує перевитрату суміші через виникнення ливарного браку виливків на етапах очищення чи дефектоскопії.

Розраховані за цією методикою кінцеві показники масового балансу є фундаментальною числовою базою для подальшого проектування потужності сумішеприготувального контуру, вибору продуктивності каткових змішувачів безперервної дії, а також для розрахунку норм питомої витрати і закупівлі свіжих формувальних матеріалів (кварцового піску, бентоніту, вугільного пилу).

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.15 – Розрахунок формувальної та стрижневої суміші за кількістю форм

№	Маса виливка, кг	Норма витрати суміші, т/т		Загальна витрата, т	
		формувальна	стрижнева	формувальна	стрижнева
1	19	10	0,5	30600	1530
2	80	10,5	-	32130	-
3	75	10,5	-	5355	-
4	43	10,5	0,5	8925	425
5	25	10,5	0,3	17850	510
6	4,5	9,5	0,3	12920	408
7	19	10,5	0,3	8925	255
8	17,5	10,5	0,5	19635	935
9	24,5	10,5	0,5	12495	595
10	8,85	10	0,3	6800	204
11	11	10	0,5	3400	170
12	31	10,5	0,5	16065	765
Разом	-	-	-	175100	5797

Маючи річну витрату формувальних і стрижневих сумішей за розмірами

		форм і їх складом, розраховуємо витрату компонентів за таблицею 2.16 з	
		КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ.	41
Підпис	Дата	урахуванням втрат при транспортуванні і в процесі формування. Підсумки	

використовуємо в розрахунках складів і сумішоприготувального обладнання. Кількість суміші, що визначається різницею між сумою річних витрат всіх сумішей і загальною масою використаної відпрацьованої суміші, повинна видалятися з цеху системами видалення відходів у відвал, на регенерацію і вентиляцією у вигляді газів і пилу. У розрахунках приймаємо, що системами вентиляції з цеху видаляється до 10% відходів.

Кількість відходів, що надходять до відділення регенерації, приймаємо рівною кількості використовуваного регенерату з урахуванням ККД регенераційної установки (0,75-0,8) і транспортних втрат (5%).

Таблиця 2.16 – Річна витрата компонентів єдиної суміші

Суміш		Витрата компонентів											
Вид	Річна витрата, т/рік	Кварцовий пісок		Бентоніт		Вугілля		Крохмаліт		Оборотна суміш		Вода (H ₂ O)	
	всього	%	т/рік	%	т/рік	%	т/рік	%	т/рік	%	т/рік	%	т/рік
Єдина	192610	5	9630,5	2,7	5200,47	1	1926,1	0,06	115,566	88	169496,8	3,24	6240,564

З урахуванням просипання витрата формувальної суміші складе 10 %, звідси річна витрата дорівнює 192610 тонн, а для стрижневої суміші просипання 5 %, тобто всього стрижневої суміші 6086,85 тонн.

Таблиця 2.17 – Річна витрата компонентів стрижневої суміші

Суміш			Витрата компонентів					
Вид	Річна витрата, т/рік		Кварцовий пісок		Рідке скло		Рідкий затверджувач (АЦЕГ)	
	всього	з втратами	%	т/рік	%	т/рік	%	т/рік
Стрижнева	5797	6086,85	94,5	5752,07	5	304,34	0,5	30,44

2.4.3 Приготування формувальної та стрижневої суміші

Процес приготування єдиних і спеціальних піщано-глинистих формувальних сумішей являє собою строго регламентований дискретно-безперервний цикл. Його метою є забезпечення високої реологічної стабільності, заданої міцності на стиснення у вологому стані та необхідної газопроникності готових форм на автоматизованій лінії.

Технологічний алгоритм сумішеприготування складається з наступних послідовних операцій:

1. Високоточне дозування інгредієнтів: Автоматизоване зважування сухої матриці (свіжого кварцового піску, оборотного регенерату) за допомогою тензометричних бункерних дозаторів, а також паралельне прецизійне відмірювання рідких сполучних речовин, технологічних добавок і води через об'ємні дозувальні системи.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

2. Координаційне завантаження компонентів: Подача вихідних матеріалів у робочу чашу плавно-заливочного контуру у строго визначеній часовій та пофазній послідовності. Це запобігає локальній агломерації глинистих часток і гарантує оптимальну послідовність змочування зерен наповнювача.

3. Інтенсивне гомогенізуюче перемішування: Матеріали піддаються високоінтенсивному механічному впливу в каткових змішувачах періодичної або безперервної дії (із вертикально або горизонтально розташованими котками та плужками). Динамічне поєднання розтирання та перемішування забезпечує рівномірний розподіл сполучних плівок по всій поверхні зерен піску, досягнення абсолютної однорідності маси та стабілізацію заданих фізико-механічних властивостей готової формувальної суміші перед її подачею на АФЛ.

Основним компонентом глинистих формувальних сумішей є оборотна суміш, а стрижневих - кварцовий пісок. Сумішоприготувальне відділення випускає тільки один вид суміші, але є можливість змінювати її склад. Для єдиної формувальної суміші у відділенні встановлено два однакових змішувачі періодичної дії з вертикально-обертливими катками моделі 15107, призначені для приготування формувальних сумішей з великою кількістю освіжаючих добавок (рис. 2.4).

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

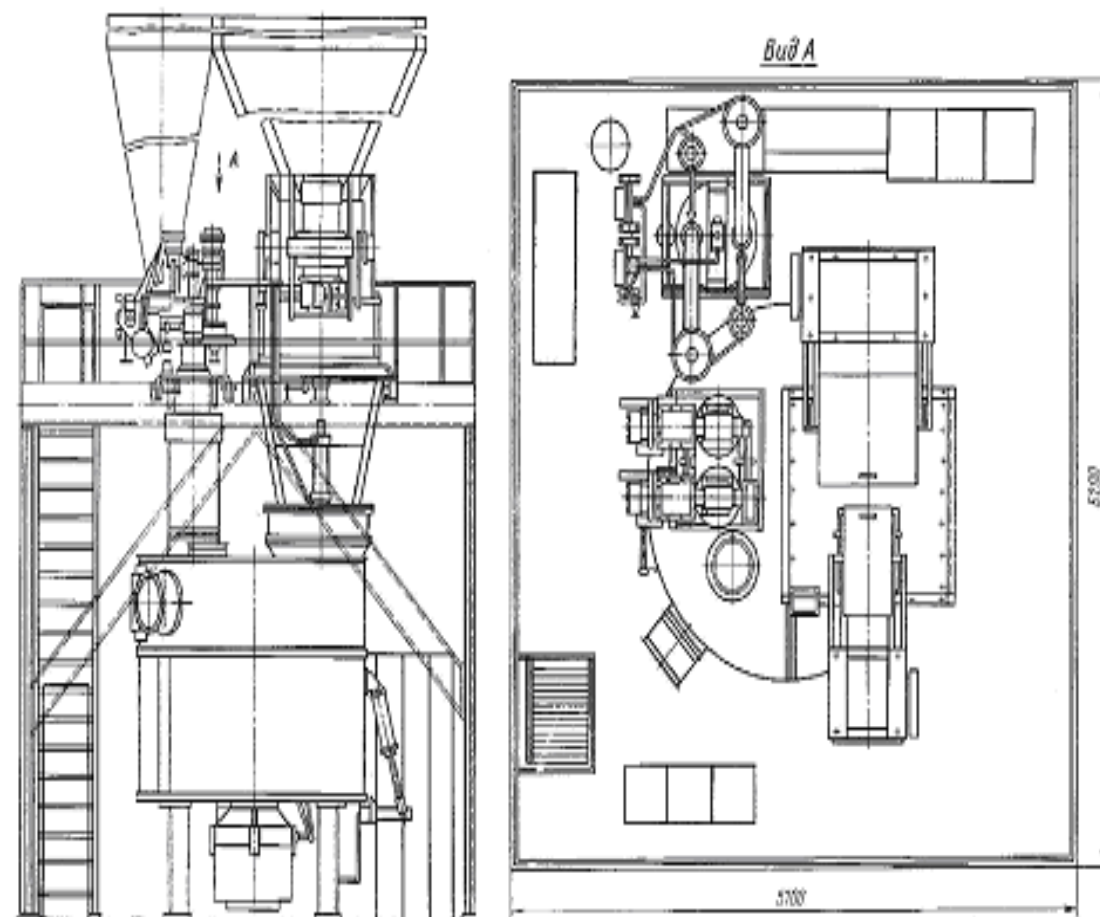


Рисунок. 2.4 – Змішувальні бігуни моделі 15107

Технічні характеристики змішувача моделі 15107 представлені в таблиці 2.18.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Таблиця 2.18 – Технічна характеристика змішувача 15107

Параметр	Значення
Об'єм замісу, м ³	2
Продуктивність, т/год	38
Внутрішній діаметр чаші, мм	2540
Потужність приводу, кВт	75
Габаритні розміри, мм	3850X3150X3250
Маса, кг	1100
Висота чаші, мм	1220
Діаметр котка, мм	1015
Ширина котка, мм	380
Частота обертання вертикального вала, об/хв	32,8
Посилення тиску котка, кН	0

Для автоматизації процесів сумішеприготування та забезпечення високої поточності ділянки виготовлення стрижнів із холоднотвердінючих сумішей (ХТС), у проекті передбачено впровадження високопродуктивного технологічного обладнання нового покоління.

Лопатеві змішувачі безперервної дії моделі 19653 (рисунок 2.5) призначені для прецизійного швидкісного приготування формувальних та стрижневих ХТС (на основі фуранових, фенол-уретанових смол або рідкого скла), а також для безпосереднього гравітаційного заповнення ними робочих порожнин стрижневих ящиків та заливочних форм в умовах багатомоделного, серійного та гнучкого ливарного виробництва.

Інтеграція даного лопатевого змішувача в контур стрижневого прольоту забезпечує виконання важливих інженерних та економічних критеріїв:

- Робота в режимі «Just-in-Time»: Оскільки живучість ХТС після введення каталізатора обмежується кількома хвилинами, модель 19653 здійснює змішування компонентів у проточному режимі безпосередньо в момент подачі, що повністю виключає ризики передчасного затвердіння суміші в

			робочій камері	КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
№ докум.	Підпис	Дата	Висока	гомогенізація при низькому чаді сполучного	44

геометрія змішувальних лопаток, закріплених на високообертovому валу,

Спеціальна

гарантує рівномірне покриття кожної зернини кварцового піску мікроплівкою смоли за мінімальний час перебування матеріалу в камері. Це дозволяє знизити витрату дорогих рідких зв'язуючих на 10-15% при збереженні проектних міцнісних характеристик стрижня.

- Конструктивна гнучкість та радіус дії: Змішувач оснащений поворотною консоллю (рукавом), яка може вільно переміщуватися в горизонтальній площині. Це дозволяє оператору дільниці послідовно або одночасно обслуговувати кілька стрижневих постів (вібростолів), розташованих у радіусі дії консолі, забезпечуючи високу ергономіку процесу розпалубки та заповнення оснащення.

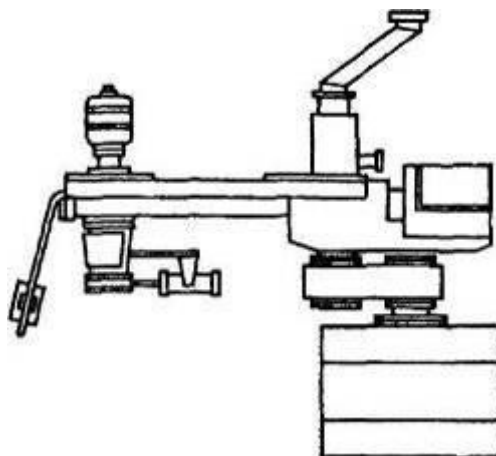


Рисунок. 2.5 – Схема змішувача безперервної дії для приготування ХТС моделі 19653

Основним агрегатом лопатевих змішувачів безперервної дії є горизонтальний вал, що обертається в коритоподібному жолобі-корпусі. При обертанні вала лопаті, закріплені на ньому, захоплюють перемішуваний матеріал і переміщують їх по колу і вздовж корпусу змішувача. Завдяки постійному перевертання, перекидання, тертя об лопаті і стінки корпусу матеріал переміщується. Зміною кута установки лопатей і частоти обертання валів забезпечується підбір режимів практично для всіх існуючих типів сумішей.

Лопатеві змішувачі мають один або два змішувальних вали в одному корпусі (одножолобні одновальні або одножолобні двовальні), а також окремі

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

ізолювані жолоби для кожного вала при двовальному виконанні. Перевага такої компоновки полягає в можливості прискореного перемішування багатокomпонентних сумішей. У кожному з жолобів змішуються компоненти, що не реагують між собою, наприклад, пісок і сполучна речовина - в одному, а пісок і затверджувач - в іншому. Остаточне змішування відбувається у вихровій голівці. Значно полегшується також подальше чищення змішувача і перехід з одного складу на інший. Для очищення вихрової головки від налиплої суміші достатньо дворазового продування стисненим повітрям через вбудований колектор.

Технічні характеристики змішувача моделі 19653 представлені в таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Технічна характеристика змішувача 19653

Параметр	Значення
Кут повороту плеча, град	240
Радіус дії, мм:	
найбільший	2250
найменший	1015
Продуктивність, т/год	2,5
Потужність приводу, кВт	6,93
Габаритні розміри, мм	3745X700X3200
Маса, кг	2520

Розрахунок змішувачів проводиться за формулою:

$$N = \frac{n \cdot K_H}{\Phi_D \cdot P},$$

де n – необхідна кількість формувальної суміші на рік, шт.;

K_H – коефіцієнт нерівномірності (1,2 – 1,3);

Φ_D – дійсний фонд часу роботи обладнання, год/рік;

P – продуктивність змішувача, т/год.

Для бігунів моделі 15107:

$$n = \frac{192610 \cdot 1,2}{3935 \cdot 38} = 1,546 \text{ шт.}$$

$$K3 = \frac{1,546}{2} = 0,773$$

Для бігунів моделі 19653:

$$n = \frac{608685 \cdot 1,2}{3935 \cdot 2,5} = 0,743 \quad \text{шт.}$$

$$K3 = \frac{0,748}{1} = 0,743$$

Кількість бігунів моделі 15107 дорівнює 2; моделі 19653 дорівнює 1.

2.5 Розрахунок кількості обладнання термообрубного відділення

Очищення виливоків проводиться на першій стадії в галтувальному барабані періодичної дії моделі 41114 (малюнок 2.6). Технічна характеристика наведена в таблиці 2.20.

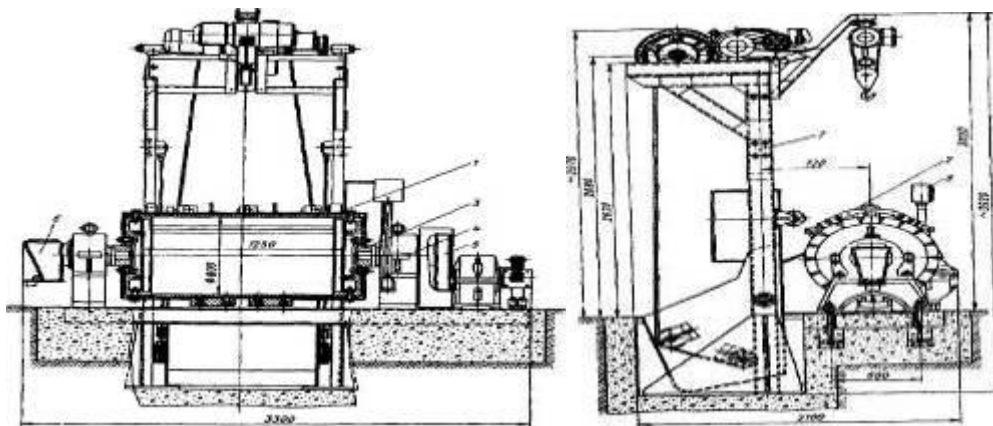


Рисунок. 2.6 – Очисний галтувальний барабан періодичної дії моделі 41114

1 – обечайка барабана; 2 – замок кришки; 3 – цапфи; 4 – опорні підшипники барабана; 5 – редуктор приводу барабана; 6 – патрубок підключення пиловідсмоктувача; 7 – скиповий підйомник; 8 – пульт управління барабаном і скиповим підйомником

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Таблиця 2.20 – Технічна характеристика очисного галтувального барабана періодичної дії моделі 41114

Параметр	Значення
Об'єм завантаження, мЗ	0,8
Найбільша маса завантаження, кг	1800
Розміри завантажувального вікна, мм	1250X600
Продуктивність по чавуну, т/год	2,4
Тривалість циклу, хв	45
Діаметр циліндричної частини барабана, мм	90
Довжина робочої частини барабана, мм	1400
Швидкість обертання барабана, об/хв	30
Встановлена потужність, кВт	75
Габаритні розміри, мм	3525X1615X1490
Вага установки, т	3,8

Фінішні операції в термообрубному відділенні цеху детермінують остаточну якість поверхні, метрологічну точність профілю та механічні властивості готової продукції. Весь масив виливків після вибивання з форм автоматизованої лінії АФЛ проходить цикл фінішної обробки у строго регламентованій технологічній послідовності.

1. Попереднє технологічне очищення: на початковому етапі з виливків видаляють конгломерати горілої формувальної та стрижневої сумішей, що легко відокремлюються, механічно вилучають металеві стрижневі каркаси, а також зачищають локальні зони під майбутній вогневий та механічний розділ елементів ЛЖС.

2. Диференційоване відокремлення елементів ЛЖС: метод видалення ливників, випорів та прибутків визначається хімічною природою ливарного сплаву:

– для сталевого литва (деталь «Кришка» зі сталі 20X5МЛ): Відокремлення елементів ливникової системи реалізується методом електроконтактного відрізання. Остаточне видалення масивних прибутків та випорів здійснюється за допомогою повітряно-дугового різання (стружки). На відміну від класичного киснево-газового різання, повітряно-дуговий метод

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

термодинамічно не погіршує стан прилеглих шарів металу (відсутній глибокий термічний наклеп та науглецювання країв), суттєво знижує трудомісткість операції та покращує санітарно-гігієнічні умови праці обрубників. Залишки живильників та прибутків на необроблюваних за кресленням поверхнях видаляються врівень із основним тілом деталі;

– для чавунного литва (сторонні замовлення з СЧ20): Відокремлення крихкої чавунної ливникової системи від тіла дрібних і середніх заготовок реалізується механічним відбиванням (шляхом імпульсного зрізу або гідробоями) або безпосередньо в процесі галтування.

3. Термічна обробка: для зняття залишкових внутрішніх напружень, подрібнення литої дендритної структури та досягнення заданого комплексу механічних характеристик сталі 20Х5МЛ та чавуну СЧ20, виливки піддають обов'язковій термообробці в цехових камерних або прохідних електропечах за режимами, що суворо регламентовані відповідними технологічними інструкціями заводської лабораторії.

4. Остаточне високоінтенсивне очищення: очищення поверхонь заготовок від залишків пригару та вторинної окалини після термічної обробки здійснюється диференційовано: у періодичних галтувальних барабанах, в очисних барабанах із вбудованою дробеметною установкою або в тунельних дробеметних камерах із поворотним столом (колом).

Процес галтування орієнтований на масове очищення дрібних і середніх заготовок (переважно супутньої номенклатури з чавуну СЧ20). Ефективне відділення пригару та залишків ядерних стрижнів базується на принципі абразивного взаємного тертя, мікрорізання та контрольованого зіткнення виливків один об одного під час обертання робочого органу.

Виливки, завантажені в робочу порожнину, під дією сили тертя захоплюються внутрішньою футерованою поверхнею барабана, піднімаються на певну висоту по дузі обертання, а потім під дією сили тяжіння зриваються вниз. Вільно перекочуючись по каскаду нижніх заготовок, вони здійснюють взаємне сколювання пригару.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Критерій частоти обертання: для інтенсифікації процесу кутову швидкість (частоту обертання барабана) підтримують на верхній технологічній межі. Проте критичне значення частоти суворо обмежене умовою, за якою виникаюча відцентрована сила ($F_{ц}$) не повинна перевищувати або нейтралізувати силу тяжіння, тобто $F_{ц} < G$.

У разі порушення цієї нерівності виливки притискаються відцентровою силою до стінок і обертаються разом із барабаном без скочування («режим супутника»), що повністю припиняє процес очищення.

Інтенсифікація процесу: для посилення мікрошліфувального ефекту в барабан спільно із заготовками завантажують абразивні зірочки (скребки), відлиті з високотвердого зносостійкого білого чавуну. Гострі вершини та грані зірочок фракцією 20-65 мм здійснюють додаткове механічне шкреблення важкодоступних пазів та внутрішніх порожнин виливків.

Конструктивна схема очисного агрегату складається з основних інженерних вузлів:

Робочий барабан: Основою є циліндрична оболонка (обшивка), зварена з товстолистової конструкційної сталі товщиною 25 мм, яка з торців жорстко перекрита литими сталевими кришками.

Опорно-вентиляційний вузол: До торцевих кришок прикріплені масивні порожнисті цапфи, які входять у корпуси опорних підшипникових вузлів зі сферичними дворядними роликотопідшипниками, що дозволяє барабану вільно обертатися навколо горизонтальної осі. Підшипники надійно захищені від проникнення високоабразивного кварцового пилу лабіринтовими ущільненнями. Через внутрішню порожнину цапф здійснюється безперервна витяжна вентиляція робочої камери для евакуації пилу в цехову систему аспірації.

Акустичний захист: З метою дотримання санітарних норм щодо рівня звукового тиску в обрубному прольоті, зовнішні поверхні обшивки та кришок покриті шаром товстолистової губчастої (демпфуючої) гуми, яка захищена від механічних пошкоджень зовнішнім металевим кожухом із тонколистової сталі.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електро механічний привід: Включає електродвигун, клиноремінну передачу, циліндричний редуктор, відкриту зубчасту пару передачі крутного моменту безпосередньо на цапфу барабана та електромагнітне колодкове гальмо для точної фіксації люка при завантаженні.

Механізми автоматизації та безпеки: Завантаження заготовок реалізується за допомогою автоматичного скіпового підйомника (завантажувача) через люк із надійними ексцентриковими затискачами кришки. Вивантаження очищеного литва здійснюється у розвантажувальний висувний візок. Периферійний контур робочої зони захищений підйомною решіткою, яка інтегрована в схему безпеки: у піднятому положенні решітка кінцевим вимикачем блокує електросхему живлення приводу, унеможливаючи випадковий запуск агрегату.

Для запобігання термічному руйнуванню (коробленню) корпусних елементів очисних установок та для виключення утворення гартувальних тріщин у заготовках, у галтувальні та дробеметні барабани дозволяється завантажувати лише виливки, попередньо охолоджені до температури нижче 60°C.

Одночасно завантажена в робочу камеру партія литва повинна бути уніфікована — заготовки мають належати до однієї вагової категорії та мати приблизно однакову товщину стінок. Це мінімізує ризики механічного розбивання або деформації тонкостінних елементів масивними деталями під час їх сумісного перекочування.

Розрахунок кількості галтувальних барабанів проводиться за формулою:

$$N = \frac{n \cdot K_H}{\Phi_D \cdot P},$$

де n – річна програма виливків з ливниками і прибутками, т;

K_H – коефіцієнт нерівномірності (1,2 – 1,3);

Φ_D – дійсний фонд часу роботи обладнання, год/рік;

P – продуктивність галтувального барабана, т/год.

$$n = \frac{224268 \cdot 1,2}{3975 \cdot 2,4} = 2,82 \text{ шт.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо 4 очисних галтувальних барабани періодичної дії.

$$K3 = 2,82/4 = 0,705$$

Далі очищення виливків здійснюється в очисних дробеметних барабанах моделі 42223 для дрібного і середнього лиття. Технічна характеристика барабана наведена в таблиці 2.21.

Таблиця 2.21– Технічна характеристика дробеметного барабана безперервної дії моделі 42223

Параметр	Значення
Найбільша маса очищуваного виливка, кг	100
Габарити, мм	5000X4500X5000
Продуктивність по чавуну, т/год	2,0÷5,6
Кількість дробеметних апаратів, шт	2
Маса завантаження, кг	800
Об'єм завантаження, м ³	0,3
Потужність, кВт	36,4
Маса, т	17

Розрахунок кількості дробеметних барабанів проводиться за формулою:

$$N = \frac{n \cdot K_H}{\Phi_D \cdot P},$$

де n – річна програма виливків, т;

K_H – коефіцієнт нерівномірності (1,2 – 1,3);

Φ_D – дійсний фонд часу роботи обладнання, год/рік;

P – продуктивність дробеметного барабана, т/год.

$$n = \frac{17340 \cdot 1,2}{3975 \cdot 3,7} = 1,415 \text{ шт.}$$

Приймаємо 2 дробеметні барабани безперервної дії.

$$K3 = \frac{1,415}{2} = 0,707$$

Далі виливки піддаються штучному старінню в камерних термічних тупикових печах з висувним подом (малюнок 2.7). Технічні характеристики камерної термічної тупикової печі з висувним подом представлені в таблиці 2.22

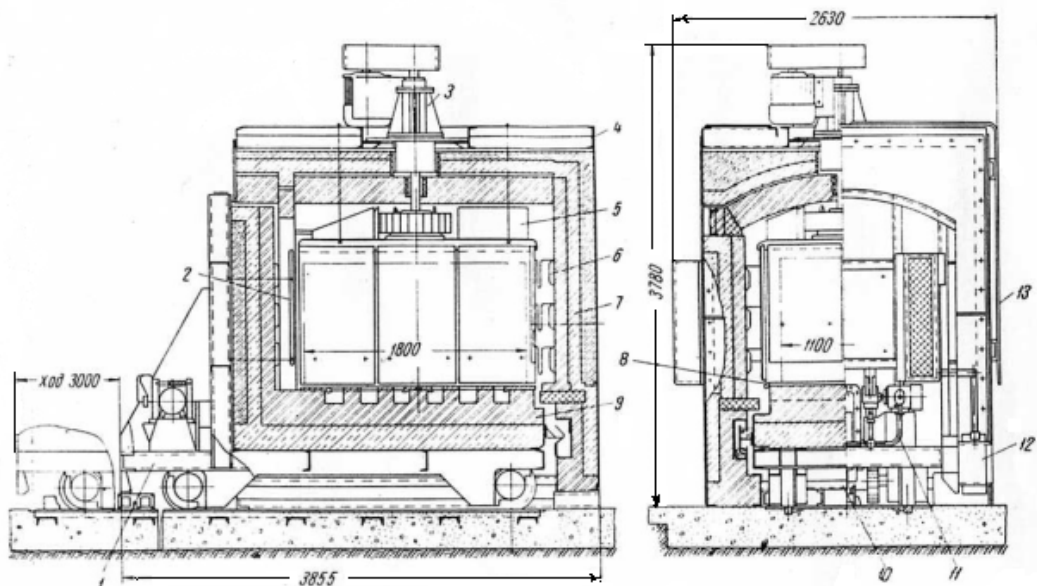


Рисунок. 2.7 – Електропіч опору кам'яна з висувним подом

1 – візок висувного пода; 2 – екран висувного пода; 3 – установка вентиляторна; 4 – каркас камери; 5 – екрани камери; 6 – нагрівачі; 7 – футеровка камери; 8 – плита; 9 – футеровка висувного пода; 10 – кінцеві вимикачі; 11 – струмопідвід; 12 – з'єднання контактне; 13 – система водоохолодження вентилятора.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ

Арк.

53

Таблиця 2.22 – Технічна характеристика камерної термічної тупикової печі з висувним подом моделі ТДО-45.100.28/11-160

Параметр		Значення	
Розміри робочого пода, мм			
	Б	997	
Висота робочого простору печі, мм		280	
Розміри завантажувальних вікон, мм		2200X4640	
Умовна площа пода, м2		45	
Максимальна маса садки, т		160	
Продуктивність, т/год	При гартуванні, відпалі та нормалізації	5,85	
	При відпуску	4,500	
	При старінні	2,250	
Кількість пальників (форсунок)		24	
Найбільша витрата палива	Природний газ, м3/год	560	
	Мазут, кг/год	450	
Поверхня нагріву рекуператорів, м2		42	
Встановлена потужність електродвигунів, кВт		4	
Витрата основних матеріалів для спорудження, м	Всього	При відборі диму в боров	625
		При відборі диму в цех	595
	У тому числі металу		159

Розрахунок кількості печей для термообробки розраховуємо за формулою:

$$N = \frac{n \cdot K_H}{\Phi_D \cdot P}$$

де n – річна програма виливків, т;

K_H – коефіцієнт нерівномірності (1,2 – 1,3);

Φ_D – дійсний фонд часу роботи обладнання, год/рік;

P – продуктивність печі з висувним подом, т/год.

$$n = \frac{17340 \cdot 1,2}{3975 \cdot 2,25} = 2,32654 \text{ шт.}$$

$$\text{Кількість печей приймаємо 3 штуки, } K_3 = \frac{2,327}{3} = 0,776$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Контроль виливків проводиться в процесі обрубки, очищення з метою вилучення з технологічного потоку бракованих і дефектних виливків. Остаточний контроль проводиться на постах зовнішнього огляду виливків.

2.6 Контроль лиття

Контроль вихідних формувальних матеріалів проводить лабораторія формувальних матеріалів, що входить до системи центральної заводської лабораторії (ЦЗЛ). Кварцові піски перевіряють на вміст глинистої складової, визначають їх зерновий склад, що дає можливість встановити клас піску, групу його зернистості та категорію за ГОСТ 2138 – 85. Формовочні глини контролюють на вміст SiO₂, глинистої складової і сірки, на міцність при стисненні в сухому і вологому станах.

Контроль шихтових матеріалів проводять керівники груп вхідного контролю на основі сертифіката і паспорта на основні та допоміжні матеріали, що надходять на склад заводу. Відбираються проби металів, які доставляють в ЦЗЛ для встановлення хімічного складу. Контролюють ступінь підготовки шихтових матеріалів до плавки (розміри і масу шматків чавунного і сталевого брухту та ін.).

Контроль формувальних і стрижневих сумішей проводить цехова лабораторія за ГОСТ 23409.0-85 – ГОСТ 23409.26-85. Суміші, що тверднуть в холодному стані, додатково контролюють на стискання.

Контроль піщано-глинистих форм проводять на основі технологічних інструкцій технолога і майстра. При машинному формуванні контрольні операції полягають у налагодженні механізмів формувального автомата.

Контроль процесів плавлення проводять технолог і майстер плавильного відділення. Контроль процесу плавлення починається з перевірки правильності зважування вихідних шихтових матеріалів і складання шихти; температура контролюється за допомогою термопар занурення.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контроль розплаву полягає у визначенні хімічного складу, ливарних властивостей, схильності до усадки, відбілювання, утворення тріщин.

Контроль заливки ливарних форм включає перевірку готовності розливних ковшів і форми до заливки, перевірку температури розплаву, що заливається у форму.

Поопераційний контроль дозволяє знизити брак ливарного цеху, який міг утворитися за рахунок порушення технологічної дисципліни при виконанні описаних вище операцій.

Згідно з ГОСТ 19200-85, розрізняють дефекти виливків за невідповідністю геометрії (недолив, перекіс, короблення та ін.) або несущільності металу виливків (гарячі тріщини, холодні тріщини, газова пористість, піщані раковини та ін.), за невідповідністю металу виливків необхідній структурі (відбіл, ліквідація та ін.) і наявності включень.

Дефекти поділяють на дві групи – не виправні та виправні. Невиправні дефекти виправити неможливо або не вигідно, тому виливку з такими дефектами вважають бракованою і направляють на переплавку. Виправні (зазвичай дрібні) дефекти усувають з метою зробити виливку придатною для подальшої обробки та використання. Найбільш поширеними дефектами виливків є раковини і тріщини.

Виправляються дефекти замазками або мастиками, газовим і електричним зварюванням.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.02 ТЧ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ МАШИННОГО ФОРМУВАННЯ

Більшість формувальних машин механізують дві основні операції з виготовлення ливарних форм:

- ущільнення формувальної суміші;
- витягування моделі з напівформи.

На окремих типах машин виконуються додаткові операції з механізованого перевертання на 180° напівформ та їх зіштовхування на приймальний або складальний рольганг.

Класифікація формувальних машин здійснюється за трьома основними ознаками.

Тип приводу (вид енергії для приведення механізмів машини в дію). З урахуванням типу приводу формувальні машини поділяють на пневматичні (що працюють під дією стисненого до 600 кПа повітря), гідравлічні (що працюють під дією тиску води або масла, який досягає 5 МПа і більше), пневмогідравлічні, електромагнітні та електромеханічні – пісcomedети.

Спосіб ущільнення суміші у формі. Формовочні машини поділяють на пресові, вібропресові, струшувальні, струшувально-пресові та пісcomedети. Ширше застосування знаходять струшувальні та струшувально-пресові машини, що дозволяють виготовляти форми в опоках з розмірами в світлі від 500×400 до 3000×2500 мм.

Спосіб виймання моделі з напівформи. Формовочні машини поділяють на машини зі штифтовим або рамним підйомним механізмом, з витягуванням моделі, з поворотом плити (підйомного столу) або колони машини на 180°, з перекидним столом.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.03 ОП			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ МАШИННОГО ФОРМУВАННЯ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Розроб.</i>		Сизов М.М.						
<i>Перевір.</i>		Сайтгареев Л.Н.					1	12
<i>Н. Контр.</i>		Сайтгареев Л.Н.				МТ-23-1ск		
<i>Затверд.</i>		Бабошко Д.Ю						

Стосовно сучасних високомеханізованих та автоматизованих ливарних цехів наведена вище класифікація формувальних машин включає додаткові ознаки:

- **конструктивне компоновання** частин і механізмів з урахуванням способів переміщення опок і напівформ. Беручи до уваги цю ознаку, формувальні машини поділяють на однопозиційні прохідного типу, двопозиційні човникового типу, багатопозиційні прохідного типу, багатопозиційні карусельного типу;

- **метод керування (ступінь механізації)**. Формовочні машини поділяють на автомати, напіваавтомати та машини з ручним керуванням. *Автомат* – формувальна машина, на якій без безпосередньої участі людини виконується комплекс операцій з виготовлення напівформ: нанесення на модельні плити розділового складу; введення опок у робочу зону машини та фіксація на модельному плиті; дозування суміші та її ущільнення; вилучення моделі з напівформи; обрізка та видалення напівформи з машини. При цьому цикл виготовлення напівформ повторюється безперервно без участі людини. *Напіваавтомат* – формувальна машина, на якій повторення циклу виготовлення напівформ відбувається за участю людини;

- **умови експлуатації**. Розрізняють машини, що працюють як самостійний агрегат, і формувальні автомати, що працюють у складі автоматичних формувальних і ливарних ліній.

Способи ущільнення суміші у формі

У сучасних формувальних машинах процеси ущільнення суміші в опоках здійснюються за допомогою механізмів пресування, вібропресування, струшування, струшування з допресуванням, пісcomedів, механізмів піскодувної та піскострільної дії. Така різноманітність механізмів і, відповідно, методів формування обумовлена різними можливостями обладнання у

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.03 ОП	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпеченні необхідного ступеня та рівномірності ущільнення суміші у формі. Саме ці параметри головним чином впливають на міцнісні та газопровідні властивості ливарних форм, а також на якість виливків та їх схильність до утворення дефектів.

Поняття про ступінь ущільнення суміші при формуванні та методи її контролю

Ступінь ущільнення суміші у формі характеризується щільністю укладання її частин у певному об'ємі. Її прийнято позначати літерою σ (дельта) і виражати в грамах на кубічний сантиметр (г/см³). Якість ливарних форм і виливків значною мірою визначається міцнісними властивостями ливарної форми. Для піщано-глинистих форм ці властивості формуються в результаті ущільнення формувальної суміші. При цьому найважливішими показниками якості ущільнення є рівень значення та характер розподілу щільності суміші по об'єму форми (напівформи). Саме ці показники визначають міцнісні, а також газопровідні властивості ливарної форми.

Відомо, що багато поверхневих дефектів є наслідком недостатньої або надмірно високої щільності набивання форми або її окремих ділянок. Тому сучасне формувальне обладнання має забезпечувати оптимальний рівень міцності та рівномірно щільне набивання по всьому об'єму форми. Останнє завдання ускладнюється в міру зростання геометричної та рельєфної складності моделей. Загальновідомі дані про щільність набивання форм різними способами ущільнення наведено на рис. 3.1. Слід зазначити, що це усереднені дані, які не враховують безліч важливих параметрів, таких як висота опок, розміри та конфігурація моделей, і не дають відомостей про рівномірність розподілу щільності набивання в горизонтальній площині.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.03 ОП	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

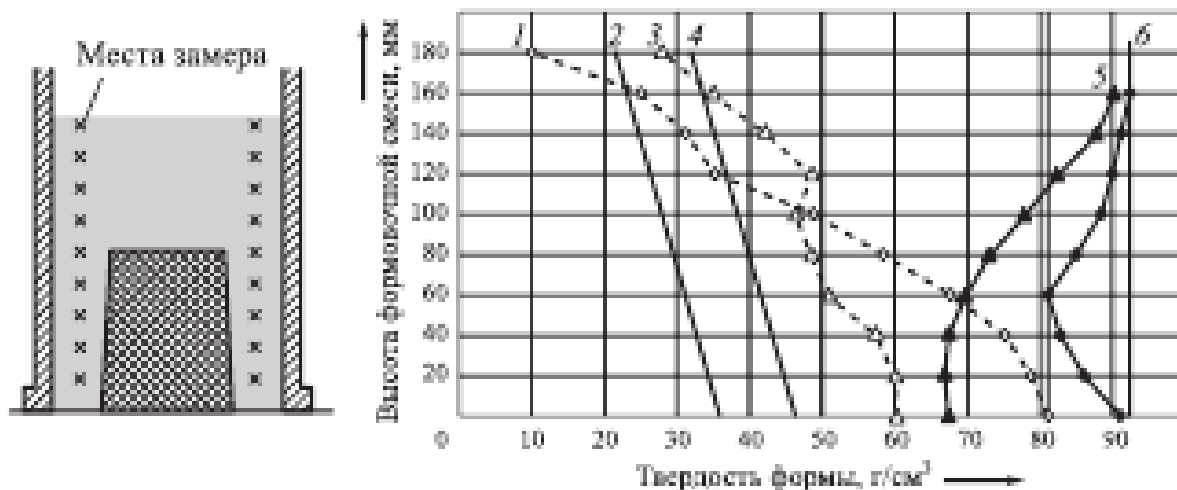


Рис. 3.1. Технологічно необхідний ступінь ущільнення суміші в різних місцях ливарної форми різними способами:

1 – повітряним потоком; 2 – піскодувним способом; 3 – струшуванням; 4 – піскометним способом; 5 – струшуванням з допресуванням; 6 – повітряним потоком з пресуванням («Seiatsu-процес»)

З графіка випливає, що найбільша неоднорідність щільності форм спостерігається при використанні одностадійних методів ущільнення шляхом струшування та пресування. При ущільненні струшуванням на контрладі формувальна суміш навіть розпушується, і виникає необхідність допресування верхніх шарів. Цей метод ущільнення застосовується лише для найпростіших моделей невеликої висоти. Водночас вібрація використовується як спосіб попереднього ущільнення.

При ущільненні пресуванням відносно високі ділянки ливарних моделей обмежують можливість ущільнення нижніх шарів форми. Даний спосіб підходить для формування простих, але більш високих моделей.

Як видно з графіку, поєднання методів струшування та пресування забезпечує відносно рівномірне та щільне ущільнення по всьому об'єму форми. Однак наведена схема ущільнення не відображає можливості ущільнення суміші у вузьких частинах моделей зі складним рельєфом та в поглибленнях. Визначальним фактором для щільності набивання таких ділянок є

співвідношення висоти моделі та опоки. Використання високих моделей призводить до різних дефектів внаслідок низької щільності формувальної суміші в кишнях моделі. Ці проблеми вирішуються застосуванням піскодувного та піскометного способів. Найнижчу, але досить рівномірну щільність набивання дає піскодувний спосіб ущільнення, тому формувальна суміш, що застосовується при виготовленні форм піскодувними машинами, повинна мати високу міцність, що забезпечується дорогими сполучними речовинами, насамперед синтетичними смолами. Очевидно, що вартість сполучних речовин не дозволяє виготовляти піскодувним способом об'ємні опорні форми. Застосування цього способу ущільнення обмежується виготовленням стрижнів і оболонкових форм або використанням спільно з іншими способами ущільнення. Для запобігання пригоранню, через низьку щільність набивання, отримані піскодувним способом форми необхідно фарбувати протипригарними фарбами.

Піскометний спосіб ущільнення забезпечує рівномірну щільність набивання, яка є дещо вищою, ніж у разі використання піскодувного методу. Піскомет — єдиний тип формувального обладнання, що не пов'язаний із оснащенням. Незважаючи на значне перевитрачання формувальної суміші, піскомет є незамінним при заповненні кесонів та великих форм. Крім того, при ущільненні піскометом не виникає значних навантажень на стінки опоки, що дозволяє використовувати дешеве зварне оснащення замість дорогого литого.

Високий рівень щільності при рівномірному її розподілі по висоті та площі опок, у тому числі на рельєфних ділянках і в карманах моделей, можуть забезпечити комбіновані способи ущільнення з обов'язковим використанням стадії ущільнення енергією стисненого повітря. Найбільш прогресивні способи формування – піскодувно-пресовий, ущільнення повітряним потоком з подальшим пресуванням, ущільнення повітряним імпульсом і допресуванням та інші – покладені в основу роботи сучасних формувальних машин, автоматів і автоматичних ліній і забезпечують найвищу якість ливарних форм навіть на найскладніших модельних комплектах.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.03 ОП	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, вибір способу ущільнення для виготовлення ливарних форм зумовлений габаритами та складністю моделей, необхідною продуктивністю, висотою опок, вимогами до якості форм. При цьому міцність форми визначатиметься рівнем щільності суміші під час ущільнення та зв'язувальними властивостями бентоніту.

Контроль щільності набивання – поверхневої твердості форм – здійснюють за допомогою спеціальних приладів – твердомірів (рис. 3.2). При визначенні поверхневої твердості сирої форми опорну поверхню 1 кулькового твердоміра (рис. 6.2, а) притискають до поверхні форми, щоб визначити опір ущільненої суміші вдавненню кульки 2 під навантаженням 0,2–1 кгс. Показання поверхневої твердості фіксуються стрілкою приладу, яка обертається під дією зусилля, що передається їй від кульки. При контролі поверхневої твердості хімічно твердіючих форм, коли потрібно знати міцність поверхневого шару глибиною не менше 20 мм, кулькові твердоміри непридатні. З огляду на це, було

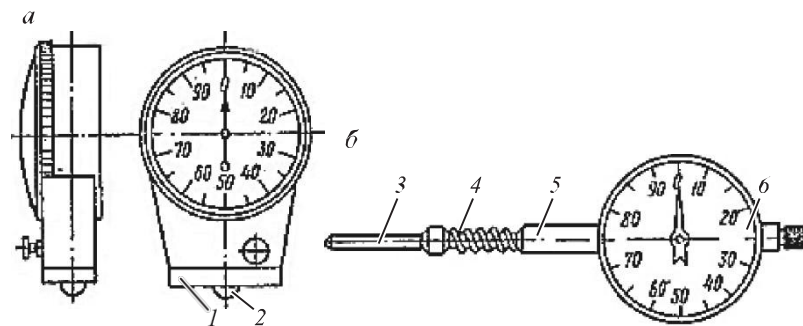


Рис. 3.2. Твердоміри:

а – кульковий, для сирих форм; б – голчастий, для форм, що твердіють хімічним шляхом; 1 – опорна поверхня; 2 – кулька; 3 – сталева голка; 4 – пружина; 5 – нерухомий шток; 6 – індикатор

Сконструйовано голчастий твердомір (рис. 6.2, б), яким можна перевірити поверхневу міцність форм у процесі хімічного твердіння, після нього та перед складанням форми. Для продавлювання робочої поверхні форми служить сталева голка 3 діаметром 1,8 мм і довжиною 20 мм, яка нагвинчується на

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.03 ОП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

нерухомий шток 5 з надітою на нього сталевую пружиною 4. Щоб здійснити контроль міцності, твердомір встановлюють голкою перпендикулярно до поверхні форми і натискають рукою на корпус індикатора 6. Для зручності користування прилад вставляють в оправку з майданчиком для натискання рукою.

Форма або стрижень вважаються достатньо затверділими, якщо велика стрілка зробить 3,5 оберти, а голка при цьому не проб'є поверхню форми. Якщо голка зануриться в облицювальний шар раніше, ніж велика стрілка зробить 3,5 оберти, це означає, що форма або стрижень недостатньо затверділи. Для з'ясування причини дефекту розрізають облицювальний шар. При підготовці форми до заливки розкрите місце закладають сумішшю і підсушують прийнятим у цеху методом.

Усі машинні способи ущільнення суміші за характером впливу на суміш поділяють на статчні, динамічні та комбіновані.

Статичні способи ущільнення суміші

Статичні способи ущільнення, залежно від конструкції машин і способу прикладання первинних сил до суміші, поділяються на верхнє пресування, нижнє пресування, двостороннє пресування, пресування багатоплунжерною головкою, пресування гнучкою діафрагмою, пресування з одночасним вакуумуванням, пресування роторною головкою, пресування лопатевою головкою.

Верхнє пресування (рис. 3.3) здійснюється після завантаження формувальної суміші 3 через тракт подачі формувальної суміші в опоку 5 з наповнювальною рамкою 6 пресовою плитою 7 при подачі стисненого повітря в циліндри 9, які, опускаючись, ущільнюють суміш.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.03 ОП	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

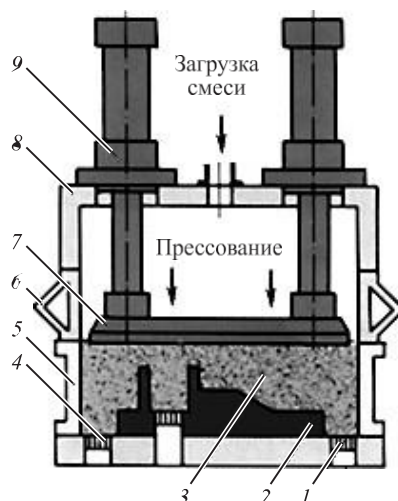


Рис. 3.3. Технологічний процес верхнього пресування:

1, 4 – вентиляційні отвори; 2 – модель із модельною плитою; 3 – формувальна суміш; 5 – опока; 6 – наповнювальна рамка; 7 – пресова плита; 8 – корпус пресової машини; 9 – циліндр пресового механізму

Ущільнення суміші пресуванням відрізняється безшумністю та високою продуктивністю. Однак при верхньому пресуванні найбільше ущільнення суміші виходить у верхніх частинах напівформи, біля пресової плити, а знижене – у моделі 2, у шарах суміші, що утворюють порожнину форми, що може призвести до спотворення конфігурації виливка, оскільки при заливці форми вони більшою мірою піддаються впливу розплаву. Особливо нерівномірною буде щільність ущільнення суміші при використанні моделей з неоднаковою висотою окремих місць: надмірно великою на високих частинах і недостатньою – на малих. Щоб забезпечити рівномірне ущільнення суміші в опоці, збільшують питомий тиск пресування. Замість звичайного тиску пресування (0,3–0,7 МПа) застосовують підвищений (0,7–2,0 МПа) або високий (2–6 МПа) тиск пресування. Це сприяє отриманню щільних ливарних форм з гладкою і малоподатливою робочою поверхнею, а отже, виливків з точними геометричними розмірами і низькою шорсткістю.

Нижнє пресування відрізняється тим, що найбільша щільність суміші досягається у шарах, розташованих біля моделі. Принцип нижнього пресування

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.03 ОП	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

суміші забезпечує точність контурів виливка. Він застосовувався у широко використовуваних раніше машинах для моделей ПФ-3, ПФ-4.

Двостороннє пресування здійснюють одночасно або послідовно, домагаючись при цьому більш рівномірного розподілу щільності по висоті форми. Застосовують у тих випадках, коли необхідно забезпечити щільність суміші, однакоvu з обох боків форми (обидва боки робочі).

Підвищений і більш рівномірний тиск пресування суміші в сучасних формувальних машинах досягається застосуванням *багатоплунжерних головок* (рис. 3.4), які ущільнюють суміш декількома пресуючими плунжерами, оснащеними поршневыми гідравлічними приводами. При цьому кожен плунжер 3 під дією масла на поршень 2 пресує ділянку форми, що знаходиться під ним, незалежно від сусідніх. Багатоплунжерне пресування успішно використовують при формуванні блоків автомобільних циліндрів та виготовленні форм розмірами $2,9 \times 1,1 \times (0,4-0,6)$ м.

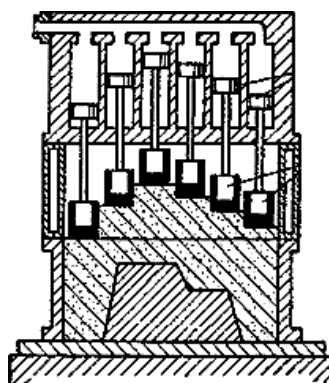


Рис. 3.4. Технологічний процес верхнього пресування суміші багатоплунжерних головою: 1 – корпус головки; 2 – поршні; 3 – пресуючі плунжери

Пресування гнучкою діафрагмою (рис. 3.5) забезпечує отримання форм з рівномірним розподілом щільності. Діафрагмові пресові головки складаються з еластичної діафрагми 2, закріпленої в корпусі 1, і робочого тіла (зазвичай стисненого повітря), що знаходиться в герметичній порожнині корпусу 1 за діафрагмою. Рівномірність ущільнення суміші досягається тим, що діафрагма

під дією стисненого повітря, що впускається в головку, тисне на формувальну суміш у формі 4, обтискає та ущільнює її з усіх боків моделі 3.

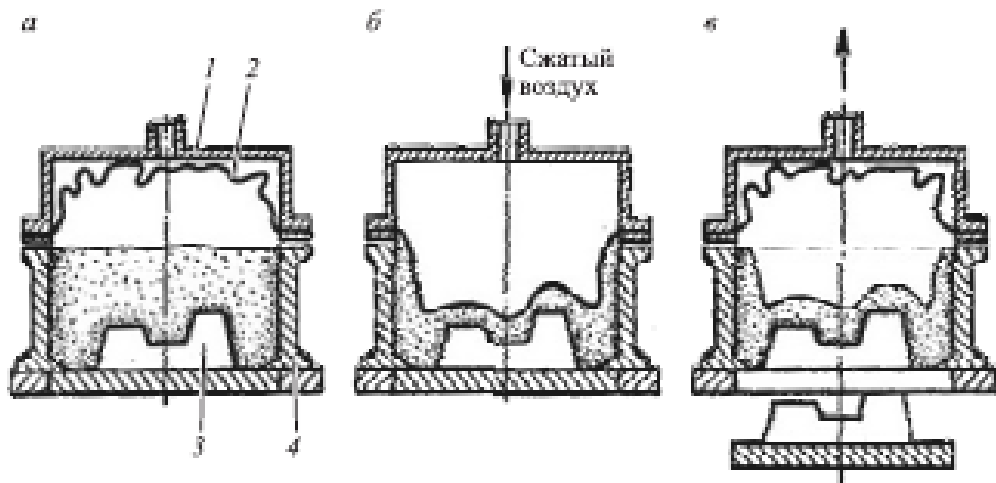


Рис. 3.5. Послідовність виконання технологічних операцій пресування формувальної суміші гнучкою діафрагмою:

a – перед пресуванням; *б* – пресування; *в* – вихлоп, підйом діафрагми та витяжка моделі; 1 – корпус; 2 – еластична діафрагма; 3 – модель; 4 – опока

При цьому після ущільнення профіль контрформи повторює профіль моделі 3. Робоча поверхня діафрагми зазвичай більша за площу форми на 30–40%. Стійкість гумової діафрагми товщиною 6 мм становить 60 тис. формувань. Діафрагмові головки використовують при верхньому пресуванні (тобто головка виконує функцію пресового механізму) для отримання середніх і великих форм розміром до 2000×865×255 мм.

Пресування з одночасним вакуумуванням (рис. 3.6) забезпечує рівномірний розподіл щільності суміші по всьому об'єму форми. Підмодельна плита 6 з опокою 7 і наповнювальною рамкою 8, встановлені на станині 5 із пресувальним поршнем 4, переміщуються в герметичну вакуумну камеру 2. Пасивна багатоплунжерна головка 3 розташована в крайньому правому положенні таким чином, щоб суміш при відкритті заслінки з дозатора 1 змогла заповнити опоку 7 і наповнювальну рамку 8. Перед початком пресування шибер закривається і головка 3 переміщується вліво в робоче положення, а з

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.03 ОП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

вакуумної камери відкачується повітря. Модельна плита 6 і глибокі кишені моделей мають вентиляційні отвори, які сполучені з вакуумною камерою 2, розрідженн в якій постійно підтримується через ресивер Р з вакуумним насосом Н. Пресування рухом поршня 4 вгору ведеться при одночасному вакуумуванні суміші.

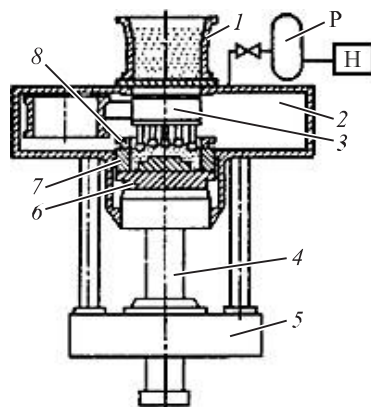


Рис. 3.6. Технологічний процес ущільнення суміші на вакуумно-прес формовій машині:

1 – дозатор; 2 – вакуумна камера; 3 – багатоплунжерна головка; 4 – поршень; 5 – станина; 6 – модельна плита; 7 – опока; 8 – наповнювальна рамка

Пресування роторною головкою полягає в тому, що опока, встановлена на підмодельну плиту з моделлю, заповнюється формувальною сумішшю вище рівня контрлада, потім переміщується під пресовою роторною головкою з декількох пресуючих валків, які притискаються до суміші. При цьому кожен валок ущільнює суміш таким чином, щоб з-під останнього валка напівформа вийшла повністю ущільненою.

Пресування лопатевою головкою, тобто виготовлення форм за допомогою лопатевих органів (гвинта, шнека), поєднує операції заповнення та ущільнення і полягає в тому, що подача суміші в опоку з підмодельною плитою здійснюється лопатями з гвинтовою поверхнею, які захоплюють формувальну суміш і переміщують її в опоку. подача суміші триває після повного заповнення опоки, одночасно відбувається ущільнення форми. Пресування

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.03 ОП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

лопатевою головкою дозволяє отримувати форми з рівномірним розподілом щільності та твердості в об'ємі заформованої опоки.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.03 ОП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОТРМАННЯ ВИЛИВКА

Аналіз заказу

Вихідні данні для розробки технології виготовлення виливки:

Найменування – «Проставок 2 ступеню»;

Матеріал – СЧ – 20 ГОСТ 1412 – 85;

Креслення – КХП86 – 03.00.001;

Маса – 85кг.;

Класифікація виливки - загального призначення.

Виробництво - багатосерійне.

Групу складності даної виливки визначаємо способом угруповання ознак шляхом їх послідовного віднесення, починаючи з вищих груп складності, убік нижчих, і зупиняємося на групі складності, при якій досягаємо чотири умовно співпадаючі ознаки [4]. Аналіз приведений в таблиці 2.1.

Таблиця 4.1 - Аналіз групи складності виливки

Ознака складності	Група складності					
	1	2	3	4	5	6
Конфігурація литих поверхонь виливки			+			
Маса		+				
Максимальний габаритний розмір		+				
Товщина основних стінок виливки		+				
Характеристика заступів, ребер литих отворів			+			
Кількість стрижнів на 1 виливки		+				
Характер механічної обробки				+		
Відповідальність призначення			+			
Особливі технічні вимоги			+			

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.04 РТ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Сизов М.М.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Сайтгареев Л.Н.</i>				1	9
<i>Н. Контр.</i>		<i>Сайтгареев Л.Н.</i>			МТ-23-1ск		
<i>Затверд.</i>		<i>Бабощко Д.Ю</i>					
РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОТРМАННЯ ВИЛИВКА							

Виходячи з аналізу преїскуранта, робимо висновок що виливки відповідає третій групі складності.

Аналіз технологічності конструкцій литої деталі і вибір способу виготовлення виливки

З точки зору ливарної технології виливка «Проставок 2 ступеню» технологічна, це рішення обґрунтовано тим, що вона не складної конфігурації, середня товщина стінки 27 – 30 мм. Форма виливки циліндрична, максимальний внутрішній діаметр 340 мм при зовнішньому – 1030 мм, така форма і розміри дозволяють безперешкодно витягати її з форми. Внутрішню порожнину технологічніше і доцільніше виконувати болваном. На бокових поверхнях виконуються пази і 2 отвори механічним методом.

Враховуючи, сказане вище та серійність заказу, виливку «Проставок 2 ступеню» доцільно виконувати литтям в сиру піщано – глинисту форму. Це найбільш економічний спосіб виготовлення виливків, тому що в такому разі не потребується додаткова площа для встановлення сушильних печей, відповідно менше витрачається розходу палива і скорочується технологічний цикл виготовлення виливки. Все це призводить до зменшення собівартості продукції.

З точки зору технології в користь виготовлення виливки в сирій формі говорить і той факт, що виливка масою до 100 кг., висотою до 300 мм, таким чином при заливці тиск металу на стінки форми не перебільшить 25 кПа.

Визначення положення виливки у формі при заливці

Дана виливка циліндричної форми, внутрішня порожнина виконується болваном, тому для уникнення перекосу доцільно виконувати болван в нижній напівформі.

Виливка по висоті 72 мм, тому для уникнення появи перекосу по зовнішньому контуру і для забезпечення направленої твердіння, прийнято

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.04 РТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1

рішення розташувати більшу частину виливки в нижній напівформі. Вибране положення виливки у формі забезпечує можливість перевірки розмірів порожнини форми при збірці.

Переважаюча товщина стінки виливки - 20 мм дозволяє залити форму без особливих технологічних прийомів.

Виливки з чавуну СЧ-20. Чавун має невелику усадку, додаткових особливих прийомів по попередженню усадкових раковин не вимагається.

Поверхня вибраного роз'єму горизонтальна, а також зручна для виготовлення і збірки форми. Форма і модель мають одну плоску горизонтальну поверхню роз'єму. При вибраному роз'єму модель вільно витягується з форми.

Важливим є визначення оптимального числа виливків у формі. При багатосерійному виготовленні піщаних форм на лініях необхідно прагнути до максимальної металоємності форми, але враховуючи габаритні розміри і форму виливки доцільніше виготовляти одну відливку у формі, що дозволить зменшити відсоток браку.

Визначення ділянок поверхні виливка, що виконуються стрижнями

Для виготовлення порожнини у виливці «Проставок 2 ступеню» не потребується використовувати стрижні, тому що технологічніше і доцільніше її виконати за допомогою болвана, який розташовуємо у нижній напівформі.

Вибір матеріалу для виготовлення модельного комплекту

При виборі матеріалу для виготовлення модельного комплекту враховуємо в першу чергу серійність виробництва, габарити і масу виливки, метод виготовлення. Модельний комплект виготовляємо з чавуну, по конфігурації – роз'ємний. Для виготовлення стрижньових ящиків використовуємо алюмінієвий сплав.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.04 РТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

Конструкції і розміри модельних комплектів

Для визначення конструктивних розмірів модельного комплекту в першу чергу необхідно встановити припуски на механічну обробку, припуски на усадку і формувальні ухили.

Припуски на механічну обробку призначаємо по ДСТУ 26645 - 86. Цей ДСТ розповсюджується на виливках з чорних металів і сплавів і регламентує допуски на розміри, масу і припуски на механічну обробку. Клас точності розмірів і мас виливків і ряди припусків на механічну обробку виливків визначаємо по тому ж ДСТУ.

Клас точності розмірів і мас для виливки «Проставок2 ступеню» визначаємо виходячи з максимального габаритного розміру виливки (\varnothing 1030 мм), враховуючи марку сплаву (СЧ 20). Таким чином назначаємо 11 ряд 4.

Клас точності маси, враховуючи клас точності розмірів, дорівнює 12. Основні припуски на механічну обробку встановлюємо в залежності від номінального розміру, табл..2.2.

Таблиця 4.2 – Визначення припусків на механічну обробку

Обробляемі поверхні	Номінальний розмір, мм	Допустимі відхилення, мм	Основні припуски на мех..обробку, мм	
По зовнішньому діаметру	1030	9	10	
По внутрішньому діаметру	1010	9	10	
По висоті	Верх	72	4,4	8
	Низ	72	4,4	6

Формувальний ухил β по ГОСТу 3212 – 80 для модельного комплекту при виготовленні виливки в сирій піщаній формі залежить від діаметра або

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.04 РТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

мінімальної ширини заглиблень і висоти формообразуючої поверхні, таким чином приймається формувальний ухил – 1,26.

Забарвлення і маркування модельного комплекту

Враховуючи сплав, з якого виготовляється відливка, поверхні моделі і стрижньового ящика фарбуємо в червоний колір. Поверхні стрижньових знаків тих, що не заливаються рідким металом - в чорний. Маркування виконуємо на бічних зовнішніх поверхнях стрижньових ящиків і поверхнях моделей, відповідних необроблюваним поверхням виливків .

Для моделі:

КХП86 – 03.00.001

К1

ПВ2 – Л8

Для стрижневого ящика:

КХП86 – 03.00.001

К1

Визначення розмірів і конструкцій опок

При виборі опоки виходимо з мінімальної товщини суміші в частинах форми для відповідної ваги форми (рис. 2.1). Одержані дані дозволяють визначити мінімально допустимі розміри опок, які після розрахунку уточнимо по [1], збільшивши до найближчого, більшого розміру (табл.2.3).

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.04 РТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

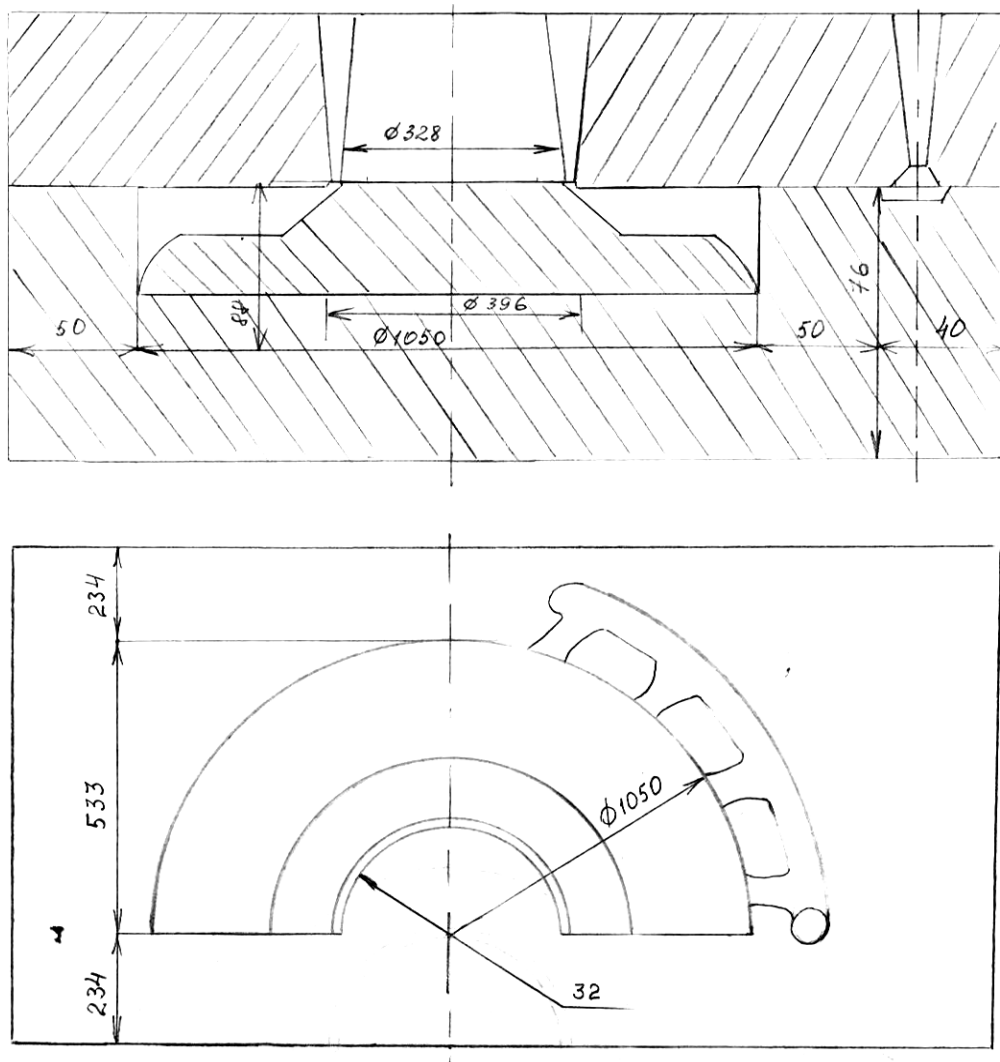


Рис.4.1 – Схема для визначення розмірів опок

Висота верхньої опоки: $90 + 12 + 8 = 110$ мм.

Висота нижньої опоки: $100 + 60 + 8 = 168$ мм.

Довжина з шлаковловлювачем: $120 + 1030 + 20 + 50 = 1220$ мм.

Ширина: $120 + 515 + 20 = 655$ мм.

Таблиця 4.3 - Розміри опок

Розміри опок, мм	Розрахункові дані	По Гост 2133-85
Довжина L	1220	1250
Ширина B	655	700
Висота нижньої H _н	168	200
Висота верхньої H _в	110	200

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.РБ.136.26.112с-10.04 РТ

Арк.

5

Проектування і розрахунок ЛЖС

Правильна конструкція ливникової системи, забезпечує безперервну подачу розплаву у форму по найкоротшому шляху, спокійне і плавне її заповнення, уловлювання шлаку і інших неметалічних включень, створення направленою твердіння виливки. Ливникова система, включає стояк, шлакоуловлювач, живильник, випор, прибуток і ливникову воронку. Застосовуємо горизонтальну ливникову систему з підведенням металу по роз'єму ливарної форми. Далі розраховуємо площі поперечних перетинів і визначаємо розміри елементів ливникової системи.

Площа перетину при заливці з поворотних ковшів визначаємо по формулі:

$$\Sigma Fi = 1000G / (\mu \cdot \tau \cdot 0,31 \sqrt{H \delta}),$$

де G – маса металу у формі (з урахуванням маси ливникової системи), г;

μ - загальний коефіцієнт витрати в системі, літника [4](0,50);

ρ - щільність сплаву = 7 г/см³;

q - прискорення вільного падіння, см/с²;

H - середній гідростатичний натиск.

Визначаємо час заливки металу у форму:

$$\tau = S \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot G}$$

де S – коефіцієнт, що враховує рідкоплинність сплаву і тип ливникової системи;

δ – середня товщина виливки;

G – маса виливки, літників і прибутків; $G = 85 \cdot 1,34 = 114$ кг.

$\tau = 58,8$ с.

Визначаємо час заливки металу іншим способом:

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.04 РТ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\tau = 2\sqrt[3]{27 \cdot 144} = 29 \text{ с}$$

$$\Sigma F_{\text{п}} = \frac{114000}{0,5 \cdot 29 \cdot 7 \sqrt{14 \cdot 9,8 \cdot 2}} = 6,8 \text{ см}^2$$

Площі поперечних перетинів шлакоуловлювача $F_{\text{ш}}$ і стояка $F_{\text{ст}}$ визначаємо із співвідношення $\Sigma F_{\text{п}} : \Sigma F_{\text{ш}} : \Sigma F_{\text{ст}} = 1 : 1,1 ; 1,5$, зведені в табл. 2.4

Таблиця 4.4 - Площі поперечних перетинів літникової системи

Найменування перетину	Площа, см ²
$\Sigma F_{\text{п}}$	6,8
$\Sigma F_{\text{ш}}$	7,5
$\Sigma F_{\text{ст}}$	10

Дані зведені в табл.2.5.

Таблиця 2.5 – Розміри шлакоуловлювача, живильника і воронки

Найменування	Розмір, мм
Шлакоуловлювач:	
a	31
b	21
h	31
Перетин випора	Ø 15 мм, Н – 100 мм – 2 шт.
Стояк	Ø 35 мм, Н – 110мм – 1 шт
Воронка	Н _в = Д _в = 105 мм; Д _в = 3d _{ст} = 3·35 = 105 мм, Приймаємо воронку № 3
Живильник:	4
a	15
b	12
h	162

Вибір способу заливки форми

Заливку проводимо з поворотного ковша. Ємність ковша вибирається, враховуючи:

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.04 РТ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Металоємність найбільшої форми потоку;
2. У формі розташовується одна відливка;
3. З одного ковша допускається заливка 4 - 6 форм;
4. Максимальний цикл обороту ковша - 20 хвилин.

Виходячи з аналізу цих вимог приймаємо конічний крановий ковш місткістю 1т.

Визначення температури розплаву при заливці форм

Для забезпечення хорошої заповнюваної форми і отримання якісних виливків потрібно витримувати певну температуру розплаву, що заливається, яку встановлюємо залежно від маси виливки, її конструкції і товщини стінки:

- температура при випуску з печі — 1400°C;
- температура при заливці форми — 1380°C.

Тривалість охолодження виливків у формі

Час охолодження у формі, необхідне для повного твердіння розплаву, виключення утворення усадкових дефектів, хорошої структури металу визначаємо по формулі:

$$\tau_B = K \sqrt{G} ,$$

де К – коефіцієнт, який залежить від конфігурації виливки і товщини її стінки (20 мм);

G – маса виливки.

$$\tau_B = 20\sqrt{85} = 185\text{хвилин} = 3\text{години} .$$

Визначення маси вантажу

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.04 РТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Масу вантажу для загрузки форми визначаємо по формулі:

$$B = K (H (F_{\text{вил}} + F_{\text{л.с}}) \cdot P_{\text{м}} + V_{\text{ст}} (P_{\text{м}} - P_{\text{ст}}) - Q),$$

де K – коефіцієнт, що враховує гідроудар при підході металу до верхньої напівформи, $K = 1,5$;

H – гідростатичний натиск, 1,5 дм;

$F_{\text{вил}}$ – площа виливки у плані, дм²;

$F_{\text{л.с}}$ – площа перетину ливникової системи;

$P_{\text{м}}$ – щільність металу, 7,8 кг/дм³;

$P_{\text{ст}}$ – щільність стрижня, 1,65 кг/дм³;

$V_{\text{ст}}$ – об'єм стрижня, дм³;

Q – вага верхньої напівформи, 400 кг.

За розрахунками маса вантажу дорівнює - 300 кг. Враховуючи, що виливка знаходиться уся в нижній напівформі, верхня служить додатковим вантажем, тому розрахункового вантажу вважається достатньо.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10.04 РТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі розроблено проект ливарного цеху з виробництва виливків із сірого чавуну марки СЧ20 для машинобудування з річною продуктивністю 17000 тонн литва. У результаті виконання роботи вирішено комплекс технологічних та організаційних задач, пов'язаних із проектуванням сучасного ливарного виробництва.

У ході роботи виконано обґрунтування місця будівництва цеху, визначено структуру виробництва та взаємозв'язок між основними виробничими підрозділами. Проведено розрахунок режимів роботи та фондів часу обладнання, що дозволило забезпечити ефективну організацію виробничого процесу.

На основі аналізу річної виробничої програми виконано розподіл виливків за ваговими групами та визначено потребу у виробничих потужностях. Це дозволило обґрунтувати вибір технологічного обладнання для плавильного, формувального, стрижневого та термообрубного відділень.

У технологічній частині роботи розглянуто процеси виготовлення форм і стрижнів, приготування формувальних сумішей та організацію процесів плавлення і заливання металу. Запропоновані технологічні рішення забезпечують отримання якісних виливків із мінімальною кількістю дефектів та раціональним використанням матеріалів.

У роботі розглянуто питання контролю якості лиття та забезпечення стабільності технологічного процесу. Запропоновані заходи щодо вдосконалення організації виробництва дозволяють підвищити продуктивність праці та покращити техніко-економічні показники роботи цеху.

Особливу увагу приділено автоматизації виробничих процесів, що сприяє підвищенню рівня механізації виробництва, зниженню трудомісткості

					КНУ.РБ.136.26.112с-10 В					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ВИСНОВКИ					
<i>Розроб.</i>		Сизов М.М.						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		Світгарєєв Л.Н.							1	2
<i>Н. Контр.</i>		Світгарєєв Л.Н.						МТ-23-1ск		
<i>Затверд.</i>		Бабошко Д.Ю								

технологічних операцій та покращенню умов праці персоналу.

Запропоновані у роботі технічні та організаційні рішення забезпечують підвищення ефективності функціонування ливарного цеху, покращення якості готової продукції та зниження собівартості виробництва.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10 В	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Федоров Г.Є. Проектування ливарних цехів [Текст] : підруч.: у 2 ч. / Г.Є. Федоров, М.М. Ямшинський, В.Г. Могилатенко т ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – Ч.1. – Бібліогр.:с. – 582.

2. Федоров Г.Є. Проектування ливарних цехів [Текст] : підруч.: у 2 ч. / Г.Є. Федоров, М.М. Ямшинський, В.Г. Могилатенко т ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – Ч.2. – Бібліогр.:с. – 380.

3. Пархоменко А.В. Ремонт та експлуатація обладнання ливарного виробництва [Текст]: навч. посібник / А.В.Пархоменко, В.В.Наумик, В.В.Луньов. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – 260с.

4. Формувальні матеріали [Текст] : підручник для студ. спеціальності 136 «Металургія», освітньої програми «Комп'ютеризовані процеси лиття» / Р. В. Лютий, І. М. Гурія ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 257 с.

5. Технологія ливарної форми (ТЛФ) : навчальний посібник до практичних занять і самостійної роботи для студентів галузі знань 13 "Механічна інженерія", спеціальності 136 "Металургія" спеціалізації "Ливарне виробництво" / А.М. Фесенко ; Міністерство освіти і науки України, Донбаська державна машинобудівна академія, Кафедра технологій і обладнання ливарного виробництва. - Краматорськ : ДДМА, 2017. - 112 с.

6. Іванова, Л. Х., Шапран, Л. О. Ливарне виробництво: технологія фасонного литва: навч. посіб. / Л. Х. Іванова, Л. О. Шапран. – Дніпро: НМетАУ, 2021. – 256 с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10. СВД			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Сизов М.М.			СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		Сайтгареев Л.Н.					1	2
<i>Н. Контр.</i>		Сайтгареев Л.Н.			МТ-23-1ск			
<i>Затверд.</i>		Бабошко Д.Ю.						

7.Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки [Текст] : навч. посіб. / Ж. П. Дусанюк., О. П. Шиліна, С. В. Репінський, С. В. Дусанюк ; Вінниц. нац. техн. ун-т. - Вінниця : ВНТУ, 2009. - 198 с.

8.Конструкція і технологія виготовлення ливарних заготовок [Текст] : навч. посіб. / А. С. Аралкін. - Кривий Ріг : Вид. центр КТУ, 2011. - 164 с

9.Модельна оснастка для виробництва виливків у піщаних формах. Дорошенко С. П., Федоров Г. Є. Навчальний посібник. – К.: Політехніка, 2001. – 108 с., 2003. – 112 с.

10.Корицький Г. Г., Маняк М. О., Пасічник С. Ю. Технологія ливарного виробництва: навчальн. посібн. для ВНЗ. Донецьк: ДонНТУ, 2008. 175 с.

11.Технології виробництва заготовок литтям [Текст] : навч. посіб. для здобувачів вищ. освіти галузі знань 13 "Механічна інженерія" / Василь Васильків, Лариса Данильченко, Дмитро Радик ; Тернопіл. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2023. - 491 с.

12.Виробництво виливків [Текст] : підручник / О. Л. Голубенко [та ін.] ; Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля, Магдебурзький ун-т ім. Отто-фон-Гюріке. - Луганськ : СНУ ім.В.Даля, 2009. - 328 с.:

13.Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва [Текст] : навч. посіб. / А. М. Верховлюк, А. В. Нарівський, В. Г. Могилатенко ; за ред. акад. НАН України В. Л. Найдека ; НАН України, Фіз.-технол. ін-т металів та сплавів. - Київ : Вініченко, 2016. - 223 с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-10 В	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		