

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 чавуноливарного цеху потужністю 25000 тонн
виливків на рік з розвісом лиття до 200 кг.

Виконав:

студент групи МТ-23-2ск
Керівник випускної роботи
Нормоконтролер
Т.в.о. завідувача кафедри

Сергій КОВТУН
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

КОВТУН СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

Тема роботи: Розробка проекту чавуноливарного цеху потужністю 25000 тонн виливків на рік з розвісом лиття до 200 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		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Сергій КОВТУН

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ Леван САІТГАРЕСВ

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота викладена на 97 сторінках і містить 5 рисунків, 29 таблиць, 14 джерел літератури, графічну частину у вигляді креслень та презентації.

В роботі розроблено систему організації технологічного процесу виготовлення виливків із сірих чавунів для машинобудування з річним випуском 25 тис. тонн.

Проведено розрахунок основних відділень ливарного цеху та вибір технологічного обладнання для виробництва виливків. Розроблено нову технологію виготовлення «Проставка».

У першому розділі роботи проведено обґрунтування виробничої програми ливарного цеху та виконано розрахунок основних виробничих параметрів. Визначено режими роботи цеху, розраховано фонди часу роботи обладнання, виконано підбір плавильного, формувального, стрижневого та термообрубного обладнання. Розглянуто питання організації внутрішньоцехового транспорту та допоміжних служб підприємства.

У другому розділі розроблено технологічний процес виготовлення виливка «Проставка». Проведено аналіз конструкції деталі, обґрунтовано вибір способу лиття та типу виробництва, виконано проектування модельно-ливарного оснащення та ливникової системи. Визначено параметри формовочних і стрижневих сумішей, розглянуто процеси виготовлення форм і стрижнів, вибивання, очищення та контролю якості виливків.

Третій розділ присвячений розрахунку виробничих потужностей цеху. У роботі виконано вибір обладнання для забезпечення виробничої програми, розраховано кількість формувальних ліній, продуктивність стрижневого

					КНУ.РБ.136.26.112с-05 Р			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Ковтун С.В.					1	2
Перевір.		Сайтгареев Л.Н.						
Н. Контр.		Сайтгареев Л.Н.						
Затверд.		Бабошко Д.Ю.						
						МТ-23-2-ск		

відділення, потребу у формувальних матеріалах та транспортному обладнанні.

Четвертий розділ присвячений аналізу технологій та обладнання різних виробників для виготовлення форм на автоматичних лініях

Ключові слова: ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ВИЛИВОК, СІРИЙ ЧАВУН, ФОРМУВАЛЬНА СУМІШ, СТРИЖНІ, ЛИВАРНЕ ОБЛАДНАННЯ, ЛИВНИКОВА СИСТЕМА, ВИРОБНИЧА ПОТУЖНІСТЬ, АВТОМАТИЗОВАНІ ФОРМОВОЧНІ ЛІНІЇ

					КНУ.РБ.136.26.112с-05 Р	Анк
Змн.	Анк.	№ док.м.	Підпис	Лат		2

ЗМІСТ

ВСТУП	9
ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ВИРОБНИЧОЇ ПРОГРАМИ	
ЦЕХУ	11
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	19
2.1 Аналіз конструкції деталі	19
2.2 Вибір способу виробництва виливків	22
2.3 Формовочні, стрижневі суміші та покриття	24
2.3.1 Формовочні суміші	25
2.3.2 Стрижнева суміш	27
2.4 Ливарні покриття	29
2.5 Модельно-ливарне оснащення	32
2.6 Визначення кількості стрижнів та їх розміри	35
2.8 Припуски на механічну обробку	41
2.9 Розрахунок ливникової системи	43
2.10 Контроль	46
2.11 Види браку та методи їх виправлення і попередження	48
3. РОЗРАХУНОК ВИРОБНИЧИХ ПОТУЖНОСТЕЙ	52
3.1. Вибір обладнання для виконання програми	52
3.2 Плавильне відділення	53
3.2.1 Вибір плавильного агрегату	54
3.2.2 Розрахунок шихти	59
3.3 Відділення для приготування суміші	64
3.4 Формувальне відділення	69
3.5 Стрижневе відділення	74

					КНУ.РБ.136.26.112с-05 3												
					ЗМІСТ												
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>													
<i>Розроб.</i>		<i>Ковтун С.В.</i>										<i>Літ.</i>		<i>Арк.</i>		<i>Аркушів</i>	
<i>Перевір.</i>		<i>Сайтгареев Л.Н.</i>												1		2	
<i>Н. Контр.</i>		<i>Сайтгареев Л.Н.</i>										МТ-23-2-ск					
<i>Затверд.</i>		<i>Бабошко Д.Ю.</i>															

3.6 Вибивне відділення	82
3.7 Очисне відділення	84
3.8 Зведена відомість обладнання	86
4 ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ФОРМ НА АВТОМАТИЧНИХ ФОРМУВАЛЬНИХ ЛІНІЯХ	87
4.1 Автоматичні формувальні лінії для виготовлення виливків у формах із сирих піщано-глинистих сумішей	88
ВИСНОВКИ	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	96

					КНУ.РБ.136.26.112с-05 З	Арк.
Змн.	Арк.	№ доким.	Підпис.	Лист		2

ВСТУП

Сучасний етап розвитку ливарної галузі характеризується інтенсивним впровадженням наукоємних методів формоутворення, спрямованих на радикальне зниження трудомісткості та підвищення прецизійності виливків. Пріоритетним вектором модернізації є вдосконалення спеціальних способів лиття — у кокіль, під тиском, в оболонкові форми, відцентрового методу, а також технологій за виплавленими (ЛВМ) та газифікованими моделями (ЛГМ). Впровадження цих методів дозволяє отримувати заготовки з геометрією, що максимально наближена до чистових розмірів деталей, мінімізуючи витрати матеріалів та ресурсів на подальшу механічну обробку.

Незважаючи на технологічну складність, метод формування в сирі піщано-глинисті суміші зберігає свою актуальність завдяки високій продуктивності та економічній доцільності в певних виробничих нішах. Його експлуатаційна ефективність найбільш повно реалізується в умовах великосерійного та масового випуску, де критично важливими є швидкість циклу складання форм та можливість роботи в потоково-конвеєрному режимі. З інженерно-економічного погляду ця технологія є найбільш раціональною в контексті логістики, оскільки виключає потребу в енергоємному сушильному обладнанні та значних площах для проміжного складування форм.

Проектування сучасних ливарних цехів — це багатofакторний інженерний процес, що базується на інтеграції типових спеціалізованих модулів. При формуванні об'ємно-планувальних рішень ключовим принципом є функціональне блокування:

					КНУ.РБ.136.26.112с-05 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>
<i>Розроб.</i>		<i>Ковтун С.В.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Сайтгареев Л.Н.</i>					1	2
<i>Н. Контр.</i>		<i>Сайтгареев Л.Н.</i>				МТ-23-2-ск		
<i>Затверд.</i>		<i>Бабошко Д.Ю.</i>						

- виробничі та допоміжні зони: об'єднання основних технологічних ліній із сервісними ділянками;
- складське господарство: інтеграція логістичних вузлів у єдиний виробничий контур;
- адміністративно-побутовий сектор: раціональне розміщення обслуговуючих та управлінських приміщень.

Технічне переоснащення має орієнтуватися на впровадження робототехнічних комплексів та автоматичних ліній, що дозволяють максимально детермінувати виробничі процеси та нівелювати вплив людського фактора. Такий підхід гарантує випуск конкурентоспроможної продукції при суворому дотриманні екологічних стандартів та нормативів з охорони праці. Обов'язковою умовою ефективності проекту є забезпечення високого коефіцієнта завантаження автоматизованого устаткування, що виправдовує капітальні інвестиції у високий рівень механізації виробництва.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05 В	<i>Арк.</i>
						2
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Лат</i>		

1 ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ВИРОБНИЧОЇ ПРОГРАМИ ЦЕХУ

Проектне завдання – продуктивність чавуноливарного цеху 25500 тонн виливків на рік; тип виробництва – масовий.

В умовах масового виробництва зазвичай приймають умовну виробничу програму.

Ливарний цех і його дільниці за своїм типом відносяться до масового виробництва. У цеху планується виготовлення дрібних і середніх деталей на вагони, дорожньо-будівельну техніку, екскаватори.

Технологічний процес виготовлення виливків методом лиття в сирі піщано-глинисті форми вимагає наявності великої кількості якісних формувальних і стрижневих сумішей.

Виробниче завдання стрижневого відділення і розбивка стрижнів на групи за розмірами, складністю виготовлення, складом стрижневої суміші дозволяють визначати потребу у виробничому обладнанні, транспортних засобах і чисельності робітників.

Функціональним ядром ливарного комплексу є формувальне відділення. Саме ця дільниця визначає базові параметри та якість майбутньої заготовки, реалізуючи найвідповідальніший етап технологічного циклу — створення порожнини, що точно відтворює геометрію виробу.

Головним завданням плавильного відділення є синхронізоване та безперебійне забезпечення формувального контуру металевим розплавом необхідного хімічного складу та температури. Вибір номенклатури, розрахунок сумарної потужності та визначення технічних характеристик плавильного устаткування регламентуються виробничим профілем цеху та графіком завантаження суміжних технологічних дільниць.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.01 ОР			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ковтун С.В.			ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ВИРОБНИЧОЇ ПРОГРАМИ ЦЕХУ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Сайтгареев Л.Н.					1	8
Н. Контр.		Сайтгареев Л.Н.				МТ-23-2-ск		
Затверд.		Бабошко Д.Ю.						

Завершальний етап виробничого циклу реалізується на дільниці обробки та очищення виливків. Якість проведення фінішних операцій — віддалення пригару та елементів ливникової системи — безпосередньо впливає на точність базування деталей та загальну трудомісткість їхньої подальшої механічної обробки.

Виробнича програма представлена в таблицях 1.1-1.5.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.01 ОР	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Лат		2

Таблиця 1.1 - Виробнича програма для виливків із СЧ20

№	Найменування відливки	Марка сплаву	Річна кількість виливків, шт.						Чернова маса відливки, кг	Маса відливки з ЛПС, кг	Маса відливки на програму, т	Маса з ЛПС на програму, т	Вихід придатного, %
			на річну програму, шт.	% браку на мех. обробку	на брак по мех. обробці, шт.	брак лиття, %	брак лиття, шт.	Всього на програму, шт.					
1	Кільце	СЧ20	7000	5	350	7	490	7840	31,2	41,6	244,608	326,144	63,22
2	Проставка	СЧ20	7000	5	350	7	490	7840	37	46,1	290,08	361,424	65,1
3	Кільце	СЧ20	7000	5	350	7	490	7840	41,9	51,2	328,496	401,408	81,25
4	Зірочка	СЧ20	7000	5	350	7	490	7840	41,2	55,6	323,008	435,904	60,97
5	Валик	СЧ20	1000	5	500	7	700	11200	73,2	81,9	819,84	917,28	79,61
6	Венець	СЧ20	10000	5	50	7	700	11200	59,1	65,3	661,92	731,36	79,02
7	Корпус	СЧ20	10000	5	500	7	700	11200	79,9	99,3	894,88	1112,16	79,46
8	Циліндр	СЧ20	12000	5	600	7	840	13440	101,2	125,9	1360,128	1692,096	80,38
9	Обойма	СЧ20	12000	5	600	7	840	13440	88,6	111,3	1190,784	1495,872	67,57
10	Замок	СЧ20	12000	5	600	7	840	13440	99,6	112,9	1338,624	1517,376	72,9
11	Фланець	СЧ20	12000	5	600	7	840	13440	110,6	139,1	1486,464	1869,504	61,54
12	Щит	СЧ20	15000	5	750	7	1050	16800	159,6	169,1	2681,28	2840,88	66,41
13	Клапан	СЧ20	15000	5	750	7	1050	16800	167,5	171,5	2814	2881,2	84,66
14	Погон	СЧ20	15000	5	750	7	1050	16800	135,6	155,7	2278,08	2615,76	78,29
Разом :			151000				10570	169120			16712,192	19179,552	

Таблиця 1.2 - Виробнича програма для виливків із СЧ25

	Найменування відливки	Марка сплаву	Річна кількість виливків, шт.						Чернова маса відливки, кг	Маса відливки з ЛПС, кг	Маса відливки на програму, т	Маса з ЛПС на програму, т	Вихід придатного, %
			на річну програму, шт.	% браку на мех. обробку	на брак по мех. обробці, шт.	брак лиття, %	брак лиття, шт.	Всього на програму, шт.					
1	Скоба	СЧ25	7000	5	350	7	490	7840	55,2	66,3	432,768	519,792	68,175
2	Кришка	СЧ25	10000	5	500	7	700	11200	73,3	88,9	820,96	995,68	70,079
3	Блок	СЧ25	10000	5	500	7	700	11200	89,5	102,5	1002,4	1148	69,463
4	Упор	СЧ25	12000	5	60	7	840	13440	119,3	125,9	1603,392	1692,096	78,713
5	Диск	СЧ25	15000	5	750	7	1050	16800	149,3	168,9	2508,24	2837,52	79,1
6	Оголовок	СЧ25	15000	5	750	7	1050	16800	144,2	166,9	2422,56	2803,92	73,457
Разом			69000		3450		4830	77280			8790,32	9997,008	

Таблиця 1.3 - Виробнича програма за масовими групами для СЧ20

Масова група	Річний випуск		Найменування відливки	Чорнова маса відливки, кг	Маса виливків з ЛПС, кг	Річний випуск відливки, шт.	Маса виливків на програму, т	Маса виливків з ЛПС на програму, т	КВГ, %
	%	т							
0-50	7,098	1186,192	Кільце	3	41,6	7840	244,608	326,144	63,22
			Проставка	37	46,1	7840	290,08	361,424	65,1
			Кільце	41,9	51,2	7840	328,496	401,408	81,25
			Зірочка	41	55,6	7840	323,008	435,904	60,97
50-75	14,22	2376,64	Валик	73,2	81,9	11200	819,84	917,28	79,61
			Венець	59,1	65,3	11200	661,92	731,36	79,02
			Корпус	79,9	99,3	11200	894,88	1112,16	79,46
75-100	32,17	5376	Циліндр	101,2	125,9	13440	1360,128	1692,096	80,38
			Обойма	88,6	111,3	13440	1190,784	1495,872	67,57
			Замок	99,6	112,9	13440	1338,624	1517,376	72,9
			Фланець	110,6	139,1	13440	1486,464	1869,504	61,54
100	46,51	7773,36	Щит	159,6	169,1	16800	2681,28	2840,88	66,41
			Клапан	167,5	171,5	16800	2814	2881,2	84,6
			Погон	135,6	155,7	16800	2278,08	2615,76	78,29
	100	16712,19				169120	16712,19	19179,55	

Таблиця 1.4 - Виробнича програма за масовими групами для СЧ25

Масова група	Річний випуск		Найменування відливки	Чорнова маса відлив, кг	Маса виливків з ЛПС, кг	Річний випуск відливки, шт.	Маса виливків на програму, т	Маса виливків з ЛПС на програму, т	КВГ, %
	%	т							
0-50	4,923	432,768	Скоба	55	66,3	7840	432,768	519,792	68,17
50	20,74	1823,36	Кришка	73,3	88,9	11200	820,96	995,68	70,08
			Блок	89,5	102,5	11200	1002,4	1148	69,46
75	18,24	1603,392	Упор	119,3	125,9	13440	1603,392	1692,096	78,71
100	56,09	4930,8	Диск	149,3	168,9	16800	2508,24	2837,52	79,1
			Оголовок	144,2	166,9	16800	2422,56	2803,92	73,46
Разом	100	8790,32	-	-	-	77280	8790,32	9997,008	-

Таблиця 1.5 – Підсумкова виробнича програма

Масова група	Найменування відливки	Сплав відливки	Маса деталі, кг	Маса відливки, кг	Маса відливки з ЛПС, кг	Загальна кількість відливки на програму, шт.	Брак механ. цеху, шт.	Брак лиття, шт.	Загальна кількість відливки з врахуванням браку, шт.	Маса виливків без ЛПС на річну програму, т	Маса рідких будь-якого металу на програму, т	Коефіцієнт виходу придатного
0-50	Кільце	СЧ20	26,3	31,2	41,6	7000	350	490	7840	244,608	326,144	63,22
	Проставка	СЧ20	30	37	46,1	7000	350	490	7840	290,08	361,424	65,1
	Скоба	СЧ25	45,2	55,2	66,3	7000	350	490	7840	432,768	519,792	68,17
	Кільце	СЧ20	41	41,9	51,2	7000	350	490	7840	328,496	401,408	81,25
	Зірочка	СЧ20	33	41	55,6	7000	350	490	7840	323,008	435,904	60,97
50	Валик	СЧ20	65,2	73,2	81,9	10000	500	700	11200	819,84	917,28	79,61
	Венець	СЧ25	51,6	59,1	65,3	10000	500	700	11200	661,92	731,36	79,02
	Кришка	СЧ25	62,3	73,3	88,9	10000	500	700	11200	820,96	995,68	70,08
	Корпус	СЧ20	78,9	79,9	99,3	10000	500	700	11200	894,88	1112,16	79,46
	Блок	СЧ25	71,2	89,5	102,5	10000	500	700	11200	1002,4	1148	69,46
75	Циліндр	СЧ20	78,1	101,2	125,9	12000	600	840	13440	1360,128	1692,096	80,38
	Обойма	СЧ20	75,2	88,6	111,3	12000	600	840	13440	1190,784	1495,872	67,57
	Замок	СЧ20	82	99,6	112,9	12000	600	840	13440	1338,624	1517,376	72,9
	Упор	СЧ25	99,1	119,3	125,9	12000	600	840	13440	1603,392	1692,096	78,71
	Фланець	СЧ20	85,6	110,6	139,1	12000	600	840	13440	1486,464	1869,504	61,54
100	Щит	СЧ20	112,3	159,6	169,1	15000	750	1050	1680	2681,28	2840,88	66,41
	Клапан	СЧ20	145,2	167,5	171,5	15000	750	1050	1680	2814	2881,2	84,66
	Диск	СЧ25	133,6	149,3	168,9	15000	750	1050	1680	2508,24	2837,52	79,1
	Погон	СЧ20	121,9	135,6	155,7	15000	750	1050	1680	2278,08	2615,76	78,29
	Оголовок	СЧ25	122,6	144,2	166,9	15000	750	1050	1680	2422,56	2803,92	73,46
Всього:						220000	1100	1540	24640	25502,512	29176,56	-

Просторово-часова маршрутизація технологічних операцій є визначальним фактором при виборі режиму роботи ливарного цеху, оскільки саме вона формує загальну стратегію організації виробництва. Традиційно в ливарній практиці реалізуються дві базові схеми диспетчеризації: послідовна та паралельна.

Особливості режимів роботи:

Послідовна схема передбачає реалізацію різнотипних технологічних стадій на одних і тих самих виробничих площах із хронологічним зміщенням (наприклад, виконання формувальних, заливальних та вибивних робіт у різні періоди доби).

Паралельна організація базується на принципі синхронного протікання всіх виробничих стадій на просторово розмежованих та вузькоспеціалізованих ділянках.

З інженерно-економічної точки зору, застосування паралельної моделі є значно ефективнішим. Її впровадження дозволяє радикально скоротити тривалість загального виробничого циклу, оптимізувати коефіцієнт завантаження устаткування та раціоналізувати використання цехових площ. Крім того, безперервність потоку сприяє стабілізації показників якості виливків та відчутному зниженню їхньої собівартості. Структура змінності за такого режиму безпосередньо корелює з масо-габаритними параметрами деталей та обсягами серійного випуску.

Графік роботи та фонд часу:

Для спроектованого підприємства прийнято інтенсивний графік експлуатації: п'ятиденний робочий тиждень із тримінним режимом роботи (тривалість кожної зміни становить 8 годин).

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.01 ОР	Анк.
Змн.	Анк.	№ док.м.	Підпис.	Лист		6

Для проведення точних технологічних та економічних розрахунків використовується показник дійсного (ефективного) фонду робочого часу (Фд). Ця величина визначається алгоритмічно як різниця між номінальним фондом часу та регламентованими технологічними простоями, які є немінучими в умовах реального виробництва (наприклад, час на планово-попереджувальні ремонти обладнання, підготовчо-заклучні операції та регламентовані перерви).

Календарний фонд часу визначається за формулою:

$$\Phi_k = D_k \cdot T_c, \quad (1)$$

D_k – кількість календарних днів у році,

T_c – кількість робочих годин у зміні, год;

$$\Phi_k = 365 \cdot 8 = 2920 \text{ год}$$

Номінальний фонд часу визначається за формулою:

$$\Phi_n = (D_k - D_v - D_{св}) \cdot T_c \cdot K_{зм} \quad (2)$$

D_v – кількість вихідних днів у році;

$D_{св}$ – кількість святкових днів у році;

$K_{зм}$ – режим змінності.

$$\Phi_n = (365 - 98 - 16) \cdot 8 \cdot 3 = 6024 \text{ год}$$

Дійсний фонд часу визначається за формулою:

$$\Phi_d = \Phi_n \cdot k, \quad (3)$$

Де k – коефіцієнт, що враховує невиходи працівника з поважної причини ($k = 0,9$).

$$\Phi_d = 6024 \cdot 0,9 = 5422 \text{ год.}$$

$$\Phi_{еф} = \Phi_d \cdot 0,88 = 5422 \cdot 0,88 = 4772 \text{ год.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.01 ОР	Анк
Змн.	Анк.	№ док.м.	Підпис.	Лам.		7

Розрахунок фонду часу роботи обладнання

Для розрахунку необхідної кількості обладнання необхідно знати дійсний фонд часу роботи обладнання. Дійсний фонд часу визначаємо за формулою :

$$F_{Д} = F_{Н} \cdot (1 - \alpha/100) \quad (4)$$

де α – втрати часу на плановий ремонт, %;

$F_{Н}$ - номінальний фонд часу роботи обладнання, год,

В аналогічному цеху номінальний фонд часу роботи обладнання становить 2008 год на одну зміну, в добі 3 зміни, то $F_{Н} = 6024$ год.

Таблиця 1.6 - Розрахунок дійсного фонду часу роботи обладнання

Відділення	$F_{Н}$	α	Розрахунок $F_{Д}$	Значення, год
Змішувальне	6024	6,5	6024	5632,44
Стрижневе		4,5	$6024 \cdot (1 - 4,5/100)$	5752,92
Формувальне		5,5	$6024 \cdot (1 - 5,5/100)$	5692,68
Плавильне		5	$6024 \cdot (1 - 5/100)$	5722,8
Термообрубне		6	$6024 \cdot (1 - 6/100)$	5783,04

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз конструкції деталі

За класифікацією складності виливок відноситься до 3 групи складності. Частина виливка виконується стрижнями (отвори у виливці, тобто внутрішня порожнина виливка).

Деталь «Проставка» має складну конфігурацію. Для виготовлення деталі литтям в піщано-глинисті форми необхідно запропонувати технологічну конфігурацію (змінити конфігурацію деталі при необхідності, нанести припуски, розрахувати ливниково-живильну систему), а також призначити формувальні ухили і радіуси переходів, щоб не було гострих кутів у виливку. Параметри конструкції виливка, перш за все, товщина і протяжність її найбільш тонкостінних елементів впливають на заповнюваність форми сплавом і появу таких дефектів, як спаї і недоливи.

Товщина стінок виливків не повинна бути менше деяких мінімальних значень, що визначаються рідкоплинністю сплаву і технологією виготовлення виливків. Лита стінка виконує певні важливі функції: надає деталі необхідну конфігурацію, забезпечує необхідну міцність і т.д. Товщина стінки виливків залежить від виконуваної ними функції. Товщина стінок рівномірна, що призведе до рівномірної кристалізації, а не буде концентратором напружень.

Правильне розташування виливків у формі, а також правильно підібрана і розрахована ливникова система і встановлені живильні надливи, повинні звести до мінімуму виникнення усадочних дефектів.

Для даного виливка передбачена механічна обробка, що в свою чергу призведе до збільшення маси виливок і зниження коефіцієнта виходу

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ковтун С.В.</i>			ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Сайтгарєєв Л.Н.</i>					1	32
<i>Н. Контр.</i>		<i>Сайтгарєєв Л.Н.</i>			МТ-23-2-ск			
<i>Затверд.</i>		<i>Бабошко Д.Ю.</i>						

придатного.

Для підвищення геометричної точності виливків необхідно забезпечити їх розмірну точність, якісну поверхню, відсутність просторових відхилень і точність конфігурації. Підвищення геометричної точності виливків є головним завданням інженера-ливарника, виконання якого забезпечує не тільки зменшення ваги виливків, припусків на обробку і зниження собівартості, але і підвищення якості лиття.

Виходячи з умов, в яких працює проектувана деталь, вибираємо матеріал, зазначений на ескізі СЧ20 за ГОСТ 1412-85. Сірий чавун, як конструкційний матеріал, відрізняється тим, що його опір стисканню в 3-4 рази більший за опір розтягуванню. Тому з сірого чавуну доцільно виготовляти вироби, які при експлуатації піддаються стискаючим навантаженням.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад чавуну СЧ20

Вміст елементів, %				
C	Si	Mn	P	S
3,3-3,5	1,4-2,4	0,7-1,0	не більше 0,2	не більше 0,15

Таблиця 2.2 - Властивості чавуну СЧ20

Властивості	СЧ20
Щільність, $\text{кг/м}^3 \cdot 10^3$	7,2
Усадка при литті, %	1,2
Зварюваність	не застосовується
Твердість за Брінеллем, НВ	170
Коефіцієнт лінійного розширення, $1/\text{К} \cdot 10^{-6}$	10
Теплопровідність, $\text{Вт/м} \cdot \text{К}$	41,8- 50,2
Питомий електроопір, $\text{Ом} \cdot \text{м} 10^{-6}$	0,5
Абсолютна магнітна проникність, $\text{ГН/м} \cdot 10^{-5}$	10
Магнітна індукція, Тл	0,4

викривлення виливків, наприклад, за рахунок надання стінкам вигинів, застосування зворотного прогину в моделях та ін.

2.2 Вибір способу виробництва виливків

Для отримання литої форми необхідно вибрати спосіб формування, який залежить від обсягу виробництва даного вилівка «Проставка» слід відливати в двох парних опоках, формування яких здійснюється на формувальній машині, тому що потреба в кількості деталей відноситься до серійного виробництва.

Машинне формування застосовують у серійному та масовому виробництві. Машинне формування в порівнянні з ручним має такі переваги: більша продуктивність, вища точність виливків і, як наслідок, менші припуски на обробку; механізація трудомістких операцій ущільнення формувальної суміші та вилучення моделі звільняє формувальників від важкої праці.

Проектування технологічного процесу для нового цеху вимагає науково обґрунтованого вибору методу отримання заготовок з орієнтацією на передові виробничі практики. Критеріальна база для визначення оптимальної технології лиття формується на основі комплексного аналізу ряду параметрів: серійності (заданої виробничої програми), масо-габаритних характеристик деталей, доступності сировинної бази, жорсткості допусків на розмірну та масову точність, а також граничних показників собівартості.

За сукупністю наведених факторів базовою технологією для спроектованого підприємства прийнято формування в разові піщані форми. Цей метод характеризується найвищим рівнем технологічної гнучкості, що дозволяє виготовляти вилівки практично необмеженого діапазону мас та конфігурацій, незалежно від масштабу виробничої партії.

Апаратурне оформлення та компонування лінії: архітектурно-планувальні рішення щодо розміщення технологічного комплексу базуються на класичній схемі маршрутизації. Завдяки цьому автоматична формувальна лінія (АФЛ) від

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
						4
Змн	Анк	№ док.м	Підпис	Лист		

2.3 Формувальні, стрижневі суміші та покриття

2.3.1 Формувальні суміші

Дільниця сумішопріготування виконує функцію генерування формувальних та стрижневих мас. Базовим компонентом процесу є відпрацьована (регенерована) суміш, яка надходить із бункерного накопичувача після обов'язкової сепарації від металевих включень на полігональному ситі. Дозування свіжих сипучих матеріалів — сухого, очищеного від домішок кварцового піску та бентонітової глини — реалізується за допомогою системи стрічкових конвеєрів. Технологія формоутворення базується на використанні піщано-глинистих систем низької початкової міцності, структурна стабілізація яких відбувається виключно за рахунок механічного ущільнення на етапі моделювання, виключаючи потребу в термічній чи хімічній активації.

Головним технологічним модулем процесу є сумішопідготовчий агрегат, завданням якого є прецизійне дозування води та технологічних добавок із подальшою абсолютною гомогенізацією системи. Цим критеріям відповідає інтегрований в автоматичну формувальну лінію вихровий змішувач типу SGMT виробництва «Savelli» із робочою продуктивністю 120 т/год. Дане обладнання характеризується високою експлуатаційною надійністю та наявністю адаптивної системи управління волого-механічними параметрами.

Кінетика процесу змішування ініціюється відразу після завантаження регенованої маси. Упродовж перших 35–40 секунд під впливом інтенсивних динамічних навантажень від вихрової головки відбувається прискорена гідратація бентоніту, що забезпечує рівномірне обволікання зерен кварцу сполучною плівкою. Система управління здійснює безперервний моніторинг: на 40-й секунді мікропроцесорний блок, спираючись на поточні показники датчиків вологості, автоматично розраховує та ініціює вприскування коригуючої дози води. Контроль параметрів вологості, ущільнюваності та міцності в режимі реального часу гарантує стабільність насипної щільності підготовленої маси.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Дрк
Змн	Дрк	№ док.м.	Підпис	Дат		6

Повний робочий такт агрегату становить 112,5 с, з яких фаза активного перемішування триває не більше 85 с. Висока інтенсивність процесу за короткий проміжок часу обумовлена специфічною кінематикою обладнання. Три лемеші (плужки), що обертаються проти годинникової стрілки (співнаправлено з вектором руху піску), забезпечують безперервне перелопачування маси та її транспортування до верхньої зони вихрової головки для аерації. Зустрічна взаємодія основного потоку суміші від плужків та інтенсивного потоку від ротора вихрової головки створює оптимальні умови для диспергування компонентів та розпушування матеріалу.

На виході з агрегату формувальна суміш відзначається максимальною гомогенністю, пухкістю, високою сипучістю та повною відсутністю агломератів (грудок). Застосування такої високоінтенсивної технології гомогенізації дозволяє повною мірою реалізувати потенціал сучасних багатокомпонентних зв'язуючих систем, що є ключовою передумовою для отримання виливків із високою якістю поверхні. Фізико-механічні властивості та рецептурний склад підготовленої суміші суворо регламентуються нормативними показниками, наведеними у табл. 2.3 та 2.4 відповідно.

Таблиця 2.3 - Норми формувальної суміші

Найменування показника	Норма
Вологість, %	6,0
Газопроникність в одиницях, не менше	12
Міцність на стиск у сирому стані МПа	0,04-0,06

Таблиця 2.4 - Склад формувальної суміші

Найменування складових	% за обсягом	Кількість
Суміш оборотна	90,0	90
Пісок кварцовий сухий	5	5
Бентоніт	5,0	5
Вода	4,0	40

Фундаментальною основою робочої формувальної суміші є відпрацьований (регенерований) матеріал. З огляду на стохастичний характер його вихідних теплофізичних параметрів (нестабільність температури та залишкової вологості після вибивання), перед повторним введенням у технологічний цикл матеріал підлягає обов'язковій комплексній підготовці. Цей етап включає термічну стабілізацію (охолодження), сепарацію (просіювання для видалення незруйнованих стрижнів, металевих скрапів і пилових фракцій), а також первинне кондиціонування з доведенням рівня базової вологості до нормативних значень у межах 1,8–2,4 %.

2.3.2 Стрижнева суміш

Технологічний алгоритм генерації стрижневих мас базується на трьох послідовних стадіях: прецизійному дозуванні інгредієнтів відповідно до затвердженої рецептури, регламентованому завантаженні компонентів у робочу камеру та інтенсивному перемішуванню до досягнення абсолютної гомогенності системи і стабілізації її фізико-механічних параметрів.

У межах спроектованого виробництва базовою технологією отримання стрижневого оснащення обрано використання холоднотвердіючих сумішей (ХТС), полімеризація яких ініціюється продуванням газоподібного каталізатора. Рецептурний склад, кінетичні властивості та алгоритми приготування робочих мас, а також допоміжних матеріалів (протипригарних фарб і розділювальних покриттів), суворо регламентуються внутрішніми нормативними стандартами підприємства.

Впровадження технології ХТС-процесу є стратегічним інженерним рішенням. Відсутність теплового впливу на етапі затвердіння мінімізує температурні деформації оснащення, що гарантує високу розмірну точність стрижнів та, як наслідок, прецизійність геометрії кінцевих виливків. Крім того, така технологія забезпечує виняткову чистоту поверхні литва, що дозволяє

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
Змн	Анк	№ доким	Підпис	Лист		8

суттєво зменшити припуски на подальшу механічну обробку та оптимізувати загальні виробничі витрати.

В якості вихідних компонентів для приготування стрижневих сумішей застосовуються:

Пісок кварцовий основної марки 1К₂ О₂ фракцій 016, 02, 025, 03 за ГОСТ 2138-98; для стрижнів:

- смола «Резамін А»;
- смола «Резамін Б»;
- сполучна речовина «Резамін К».

У цеху для виготовлення стрижнів для відливання «Проставка» використовується cold-box-amine процес з використанням сполучних - фенольної смоли і поліізоціанату і газовим каталізатором триетиламіном. Нижче наведено рекомендований склад стрижневої суміші та її технологічні властивості.

Таблиця 2.5 - Склад стрижневої суміші

Суміш	Склад суміші, масова частка			
	Пісок кварцовий сухий	Смола «Резамін А»	Смола «Резамін Б»	Затверджувач «Резамін К» триетиламін
Стрижнева	100,0	0,6 % від піску	0,6 % від піску	8% від смоли «Резамін А»

Матричною основою стрижневої системи слугує сухий кварцовий пісок, до фізико-термічних параметрів якого висуваються жорсткі вимоги: робоча температура має перебувати в інтервалі 18–30 °С, а залишкова вологість не повинна перевищувати 0,5 %.

Процес гомогенізації маси реалізується за допомогою високошвидкісних змішувачів безперервної дії однорукавного типу (із продуктивністю 3 т/год), які структурно інтегровані в архітектуру стрижневих автоматів компанії «АНВ».

Агрегат оснащений прецизійною системою дозування сипучих і рідких компонентів.

Системи автоматики та промислової безпеки: Подача кварцової основи здійснюється з надмашинного витратного бункера, обладнаного ємнісними датчиками граничних рівнів. З метою запобігання прямій реакції між компонентами смоли (частини А і Б) за відсутності піщаної матриці, система управління передбачає миттєве блокування роботи змішувача при спрацьовуванні датчика нижнього рівня. Конструкція робочої камери є абсолютно герметичною, що унеможливорює виток каталітичних газів або некондиційної суміші. Додатково реалізовано електромеханічне блокування приводів лопатевого вала при відкритті ревізійних люків.

Логістика сполучних матеріалів та каталізатора: Рідкі сполучні компоненти доставляються в робочу зону підлоговим транспортом, після чого насосними станціями перекачуються в термостатичні ємності для температурної стабілізації перед введенням у суміш. Відповідно до норм екологічної безпеки, всі акумулюючі резервуари встановлені на захисних піддонах. Амінний каталізатор, необхідний для реалізації Cold-Vox-Amin процесу, подається до витратного ресивера газогенератора.

Кінетика затвердіння та вимоги до оснащення: Реакція полімеризації ініціюється безпосередньо під час змішування смоли з піщаною основою. Кінетика процесу характеризується повільним початковим етапом із подальшим експоненційним прискоренням реакції аж до її повного завершення. Зважаючи на те, що повністю полімеризований стрижень володіє високою жорсткістю та вкрай низькою еластичністю, конструкція стрижневих ящиків вимагає бездоганної чистоти робочих поверхонь та суворо розрахованих технологічних ухилів для забезпечення бездефектної екстракції виробу.

2.4 Ливарні покриття

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
						10
Змн	Анк	№ докум	Підпис	Лист		

Ливарні покриття являють собою спеціалізовані шари матеріалів, які наносяться на робочі поверхні форм і стрижнів з метою модифікації їхніх поверхневих властивостей, а також для цілеспрямованого формування макро- та мікрорельєфу майбутнього виливка.

У технологічному процесі виготовлення деталі «Проставка» застосовується комплексний підхід до використання покриттів:

Розділювальні (антиадгезійні) склади: наносяться на поверхні модельного оснащення та стрижневих ящиків. Їхньою головною функцією є зниження сил тертя та адгезії між оснащенням і піщано-глинистою масою, що гарантує бездефектну екстракцію (зняття) напівформ і стрижнів. Для даної номенклатури як антиадгезійний агент застосовується розчин універсального сполучного кріпителя (УСК) у гасі.

Протипригарні покриття (фарби): застосовуються для обробки стрижнів. Їхня дія спрямована на локальне підвищення поверхневої міцності піщаної матриці, мінімізацію ризиків осипання та створення високорефрактерного термохімічного бар'єру на межі "метал-форма". Це є критично важливою умовою для запобігання утворенню пригару та отримання литва з високим класом чистоти поверхні. Оптимальним технологічним рішенням для даного виробництва є використання швидковисихаючої протипригарної фарби на спиртовій основі з дистен-силіманітовим наповнювачем.

Слід зазначити, що універсальний сполучний кріпитель марки «УСК-1», який є базовим компонентом розділювального розчину, широко зарекомендував себе як ефективний полімерний агент для виготовлення стрижневих систем будь-якої геометричної складності як за умов ручного, так і автоматизованого формоутворення.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк.
Змн.	Анк.	№ док.м.	Підпис.	Лист		11

Таблиця 2.6 - Склад розділового покриття

Найменування показника	Норма
Гас освітлювальний, %	85 - 89
В'яжуче ливарне УСК-1, %	15

Забезпечення високої ефективності захисних (протипригарних) та антиадгезійних (розділювальних) покриттів вимагає суворого дотримання наступного виробничого регламенту:

– вхідний контроль сировини: базові компоненти, що застосовуються для синтезу протипригарних суспензій, розділювальних мастил та адгезивів, повинні повністю задовольняти встановлені нормативні вимоги;

– технологічна чистота: процес приготування робочих розчинів має здійснюватися виключно в очищеній тарі. З метою запобігання деградації реологічних властивостей категорично забороняється контамінація (змішування) свіжоприготованої фарби із залишками попередніх партій;

– моніторинг параметрів: густина кожної нової партії суспензії підлягає обов'язковому інструментальному контролю відповідно до затверджених методик [1-2];

– фізико-механічні критерії: готові протипригарні фарби повинні характеризуватися високою покривною здатністю (криваністю) та гарантувати максимальну адгезійну міцність (зчеплення) на межі розділу фаз із робочою поверхнею форми або стрижня.

Рецептурна специфікація протипригарної суспензії з дистен-силіманітовим наповнювачем, яка регламентована стандартом підприємства (СТП) [3], систематизована та наведена у табл. 2,7.

Таблиця 2.7 - Склад протипригарної спиртової фарби на основі ЕС-1,2

Показник	Кількість за об'ємом, %	Кількість, л
Покриття марок ЕС1, ЕС-2	До щільності 1,4-1,8 г/с ³ _м	-
Полівінілбутераль	4	0,4-0,6
Етиловий спирт або розчинник 646	100	10

Склад водного розчину лігносульфатів технічних залежно від щільності повинен відповідати СТП [2].

Технологічний регламент синтезу протипригарної суспензії.

Алгоритм приготування робочої суміші базується на послідовному розчиненні та диспергуванні компонентів. На початковому етапі в етиловий спирт із попередньо верифікованою концентрацією порційно вводять полівінілбутирал (ПВБ). Цей процес супроводжується безперервним механічним перемішуванням для запобігання агломерації частинок.

Для забезпечення повної сольватації та набухання полімерної бази систему витримують (експонують) протягом 4 діб. Згідно з технологічним регламентом, упродовж цього періоду розчин піддають періодичній гомогенізації з інтенсивністю 3–4 цикли перемішування за робочу зміну.

На фінальній стадії до підготовленого розчину полімерної зв'язки додають вогнетривкий дисперсний наповнювач — порошкоподібне протипригарне покриття марок ЕС-1 або ЕС-2. Утворена система інтенсивно перемішується до стану абсолютної гомогенності та стабілізації нормативних показників робочої густини.

2.5 Модельно-ливарне оснащення

Технологічний цикл виготовлення виливків базується на використанні широкого спектра спеціалізованих технічних засобів, які класифікуються як

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Арк
						13
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Лист		

ливарне оснащення. Ключовою підсистемою цього комплексу є модельний комплект — сукупність формуютьвальних інструментів, головна функція яких полягає у створенні прецизійної робочої порожнини (відбитка) у формувальному матеріалі.

Апаратна структура стандартизованого модельного комплексу інтегрує в собі наступні елементи:

1. Базові формуютьвальні: фізичні моделі самої заготовки та елементів ливниково-живильної системи (ЛЖС), що задають зовнішню геометрію;
2. Стрижневе оснащення: стрижневі ящики, призначені для оформлення внутрішніх порожнин та складних зовнішніх контурів деталі;
3. Монтажна база: підмодельні плити, які слугують координатною площиною для просторової фіксації моделей і ЛЖС під час ущільнення суміші;
4. Допоміжне оснащення: технологічні сушильні плити (драєри) для запобігання деформаціям стрижнів;
5. Засоби верифікації: спеціалізовані контрольно-вимірювальні та калібрувальні пристрої (шаблони, кондуктори) для перевірки геометричної точності форм і стрижневих систем та їхнього фінішного доведення.

Стрижневий ящик є пристосуванням для отримання стрижнів з піщаних сумішей. Стрижневі ящики служать не тільки для отримання стрижнів, що забезпечують утворення внутрішніх порожнин у виливку, але і для отримання стрижнів, що задають зовнішні контури виливка (при формуванні в стрижнях).

Жеребейки – металеві підставки, різні за розмірами, що застосовуються для фіксації необхідного положення стрижнів у формі.

Холодильники – металеві пристосування, що встановлюються при формуванні на модель або після формування в порожнину ливарної форми, які служать для прискорення охолодження масивних частин виливка та його більш рівномірної кристалізації.

Для проектування модельних комплектів необхідно знати вихідні технологічні дані: усадку сплаву, формувальні ухили, розміри стрижневих

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Арк
						14
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Лам.		

знаків, зазори між ними і формою, припуски на обробку виливків, допуски на розміри виливків і моделей.

Інжиніринг модельного комплекту як базового елемента ливарного виробництва вимагає дотримання ряду суворих техніко-експлуатаційних критеріїв. До ключових вимог належать:

- абсолютна прецизійність відтворення заданої геометрії майбутнього виливка;
- висока конструкційна жорсткість та експлуатаційна довговічність (ресурс до критичного зносу);
- технологічність виготовлення самого оснащення за мінімальної матеріалоемності (маси);
- ергономічність в умовах експлуатації та просторової маніпуляції;
- економічна рентабельність (мінімізація первинної собівартості та витрат на ремонтно-відновлювальні роботи);
- стабільність фізико-механічних характеристик упродовж усього нормативного терміну використання.

Конструювання оснащення базується на розрахунку двох ключових параметрів: припусків на фінішну механічну обробку металу та технологічних (формувальних) ухилів. При використанні піщано-глинистих систем значення ухилів диференціюється залежно від габаритів (висоти, ширини чи діаметра) формоутворювальної поверхні та глибини її залягання.

Структура технологічного оснащення: повний цикл формоутворення забезпечується комплексом модельно-стрижневого оснащення (МСО). Воно інтегрує в собі фізичні копії деталі, елементи ливниково-живильної системи, моделі додатків і випорів, а також стрижневі ящики для формування внутрішніх порожнин. МСО є невіддільним доповненням до основного технологічного устаткування, необхідним для реалізації конкретної стадії процесу.

Для локалізації та утримання формувальної маси застосовуються спеціалізовані жорсткі рами — опоки. Їхня функція полягає у збереженні цілісності форми під час її ущільнення, транспортування та дії металостатичного

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
Змн.	Анк.	№ докum.	Підпис	Лам		15

тиску розплаву при заливанні. Матеріальне виконання опок варіюється від сірих чавунів та легких сплавів (алюмінієвих, магнієвих) до сталей, які забезпечують найвищі показники міцності та ресурсу.

Проектування опок суворо регламентується державними стандартами та галузевими технічними умовами. Нормативна документація детермінує типорозміри, конструкційні особливості, допуски на габарити і масу, а також вимоги до матеріалів. Критично важливим вузлом, що безпосередньо впливає на точність суміщення напівформ (уникнення перекосів), є система позиціонування, реалізована через прецизійні центруючі штирі та напрямні втулки опок.

У модельний комплект входить:

- монтаж моделей верху, матеріал АК7ч;
- монтаж моделей низу, матеріал АК7ч;
- стрижневий ящик №1,2,3 матеріал АК7ч;
- плита модельна сталь 35Л.

2.6 Визначення кількості стрижнів та їх розміри

Координація стрижневого оснащення в порожнині форми є критичним етапом складання, що виконується у суворо регламентованій послідовності. Статична стійкість та просторова фіксація стрижня забезпечуються опорними елементами — стрижневими знаками. У випадках складного балансування додатково застосовуються внутрішньоформові металеві опори — жеребейки.

Геометричні параметри та конфігурація знакових частин розраховуються ? базуючись на масо-габаритних характеристиках стрижня, методі його формоутворення та просторовій орієнтації під час заливання. Для унеможливлення помилкового (інверсного) встановлення асиметричних стрижнів застосовується принцип диференціації: знаки на протилежних кінцях конструюються з різними розмірами або профілями (принцип «foolproof»).

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
Змн.	Анк.	№ док.им.	Підпис	Лист		17

Газодинаміка та армування: оскільки робоча поверхня стрижня перебуває в інтенсивному термохімічному контакті з розплавом, внутрішня структура оснащення вимагає інтеграції вентиляційних (газовідвідних) каналів. Ці канали транспортують утворені гази до знакових частин, звідки вони відводяться через формувальну масу (яка володіє вищою газопроникністю) в атмосферу. Для забезпечення структурної жорсткості стрижня застосовується внутрішнє армування (каркасування). Типологія та конфігурація металевого каркаса детермінуються геометрією виробу, вектором дії металостатичного тиску, реологічними властивостями застосованої суміші та технологією полімеризації.

Оптимізація номенклатури стрижнів: Стратегія просторового базування виливка має орієнтуватися на мінімізацію стрижневого парку. Після визначення площини роз'єму здійснюється конструювання стрижнів, що формують внутрішні порожнини та технологічні піднутрення зовнішнього контуру. Загальний інженерний підхід передбачає скорочення їхньої кількості шляхом використання піщаних болванів (елементів самої форми) або структурного об'єднання кількох стрижнів у єдиний блок. Проте рішення щодо консолідації приймається з урахуванням ризиків надмірного ускладнення конструкції стрижневих ящиків та ускладнення вентиляційної системи.

При проектуванні стрижневої системи необхідно керуватися такими технологічними критеріями [5]:

Гарантування достатньої структурної міцності стрижня в невідверділому («сирому») стані;

Наявність конструктивних елементів для жорсткого та однозначного базування у формі;

Проектування плоскої опорної площини для стабільного розміщення на технологічних драйерах (сушильних плитах);

Обмеження вертикальних габаритів для мінімізації ризиків гравітаційної деформації (осідання) на етапах логістики та полімеризації;

Оптимізація зовнішніх контурів із метою використання технологічних стрижневих ящиків (мінімізація від'ємних елементів та вкладишів);

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк.
Змн.	Анк.	№ док.м.	Підпис	Лист		1/8

У разі неминучого сегментування складної порожнини поверхня роз'єму має проектуватися на ділянках, що відповідають конструктивним переходам деталі (за кресленням). Кожен сегмент повинен формувати самостійний геометричний елемент, виключаючи утворення ступінчастих або ламаних дефектів на лінії сполучення суміжних стрижнів.

Таблиця 2.8 - Довжина горизонтальних знаків стрижнів за ГОСТ 3212-92

Розмір стрижня $(a+b)/2$ або D, мм	Довжина знака l при довжині стрижня l , мм							
	До	40-63	63	100	160	250	400-630	630-1000
До	20	25	30	35	-	-	-	-
25-40	20	25	30	35	45	50	-	-
40-63	20	25	30	40	50	60	75	95
63-100	20	25	35	45	55	65	85	105

Згідно з розробленою технологічною документацією, для формоутворення деталі «Проставка» спроектовано комплекс із трьох стрижнів. Стрижень № 1 (габарити 420 x 112 мм) призначений для формування центральної внутрішньої магістралі (отвору). Стрижні № 2 (5155 x 86 мм) та № 3 (195 x 120 мм) виконують функцію оформлення зовнішніх технологічних піднутрень та складнопрофільних елементів зовнішньої геометрії виробу.

Алгоритм складання форми:

Інтеграція стрижневого оснащення у формувальний об'єм здійснюється за суворо детермінованою послідовністю, регламентованою складальним кресленням та технологічно-маршрутною картою. Ключовим завданням на цій операції є прецизійне суміщення опорних знаків стрижнів із відповідними базовими відбитками, утвореними моделлю в напівформах. Саме знакова система гарантує просторову жорсткість та стійкість оснащення. Верифікація

точності координування стрижнів в обов'язковому порядку здійснюється за допомогою спеціалізованих контрольних кондукторів (шаблонів).

Заливання та температурна стабілізація:

Після повного складання та фіксації форми транспортуються конвеєрною системою на позицію заливання, де відбувається заповнення робочої порожнини металевим розплавом із використанням механізованого заливального комплексу. Наступним технологічним етапом є направлена кристалізація та охолодження виливків на спеціалізованих дільницях. Згідно з розрахунковим термодинамічним циклом, тривалість витримки форм на цій стадії становить до 115 хвилин. Після завершення регламентованого періоду охолодження форми надходять на лінію вибивання для подальшого вивільнення заготовок.

Виготовлення стрижнів з ХТС

Виробництво стрижнів за технологією холоднотвердіючих сумішей (ХТС) базується на кінетичній здатності спеціальних полімерних зв'язуючих до прискореної просторової полімеризації за умов впливу газоподібних каталізаторів або затверджувачів. Увесь виробничий цикл розбитий на послідовність автоматизованих та напівавтоматизованих операцій.

Цикл формоутворення та полімеризації: Процес ініціюється механічним складанням стрижневого ящика, після чого його робочі порожнини піддаються пневматичному очищенню (обдуванню) стисненим повітрям. Далі в автоматичному режимі наноситься антиадгезійне (розділювальне) покриття для мінімізації сил тертя під час екстракції. Після цього робочий об'єм заповнюється підготовленою стрижневою сумішшю (піскодувним або механічним методом).

Критичною стадією є ініціація полімеризації: суміш у ящику продувається газовим каталізатором, який забезпечує миттєве затвердіння матриці. Для дегазації та видалення залишків токсичного каталізатора сформований стрижень додатково продувається очищеним повітрям безпосередньо в оснащенні.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
Змн.	Анк.	№ док.им.	Підпис	Лат		20

Фінальний етап включає розкриття оснащення, вилучення готового виробу та його попереднє механічне зачищення від облою (задилок).

Фінішна обробка та нанесення покриттів: Фінішне зачищення та калібрування стрижнів здійснюється на спеціалізованих робочих місцях. З огляду на залишкову емісію газів від полімерної зв'язки, зони проміжного зберігання та комплектації оснащуються локальними системами витяжної вентиляції (парасольками).

Стрижні підвищеної відповідальності, що формують внутрішні порожнини з жорсткими вимогами до чистоти поверхні (для запобігання пригару), підлягають обов'язковій обробці протипригарними покриттями. Для цієї операції використовується швидковисихаюча спиртова дистен-силіманітова суспензія, що наноситься методом пневматичного розпилення (пульверизації) або ручного фарбування. Використання спиртової бази як носія дисперсної фази дозволяє уникнути енергоємної стадії термічного сушіння у прохідних печах — покриття стабілізується за рахунок природного або стимульованого випаровування розчинника.

2.7 Визначення розмірів опок

Проектування розмірних характеристик та конструктивних типів опок є критичним етапом, що безпосередньо залежить від кінематичних і силових параметрів наявного формувального устаткування. Головний інженерний критерій вибору — забезпечення максимального корисного завантаження робочих площ агрегатів. Експлуатація дрібногабаритних опок на великотоннажних формувальних машинах є технологічно та економічно необґрунтованою. З іншого боку, використання опок із надлишковими габаритами («у світлі») призводить до критичних перевитрат формувальної суміші та непропорційного збільшення енерго- і трудовитрат на етапі її ущільнення.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
Змін	Анк	№ док.м.	Підпис	Лист		21

Нормативна база та підбір габаритів: Конструювання опокового оснащення суворо регламентується державними стандартами та галузевими технічними умовами (ТУ). Нормативна документація чітко визначає типорозмірні ряди, конструктивні рішення, матеріалове виконання (чавун, сталь, легкі сплави), а також жорсткі допуски на масо-габаритні параметри і припуски під фінішну механічну обробку.

Алгоритм вибору зводиться до розрахунку необхідного робочого простору для розміщення моделі та ЛЖС із подальшим підбором найближчого (що дорівнює або перевищує розрахункові значення) стандартизованого типорозміру опоки у плані («у світлі»). Після затвердження площинних розмірів виконується розрахунок необхідної висоти. Висота верхньої та нижньої напівформ визначається незалежно, виходячи з найвищих точок моделі в кожній частині форми та необхідної товщини піщаної подушки для гарантування міцності форми і запобігання прориву металу; таким чином, висота напівформ може бути асиметричною.

Таблиця 2.9 - Залежність товщини формувальної суміші від маси виливка

Маса виливки, кг	Мінімально допустима товщина шару, мм				
	Від верху моделі до верху опоки	Від низу моделі до низу опоки	Від моделі до стінки опоки	Між моделями	Між моделлю і ливниковим ходом
25-50	70	90	50	60	40

Розрахуємо розмір опок для виливка:

Загальна мінімальна довжина (в опоці 4 виливка):

$$L_{\min} = 50 + 485 + 60 + 40 + 60 + 485 + 50 = 1230 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний розмір опоки 1500 мм

Загальна мінімальна ширина (в опоці 4 виливка):

$$S_{\min} = 50 + 485 + 60 + 485 + 50 = 1130 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний розмір опоки 1200 мм

Загальна мінімальна висота нижньої опоки:

$$H_{\min} = 90 + 132 = 222 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний розмір опоки 300 мм

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
						22
Змн.	Анк.	№ док.им.	Підпис	Лам		

Загальна мінімальна висота верхньої опоки:

$$H_{\min} = 70 + 70 = 170 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний розмір опоки 300 мм

У роботі передбачаються опоки розмірами 1500×1200×300×300 мм.

В опоці розміщено 4 виливка.

2.8 Припуски на механічну обробку

Розрахунок припусків на механічну обробку і розрахунок ваги литої заготовки. Припуски на механічну обробку призначаються згідно з ГОСТ Р 53464-2009. При обраному способі формування деталі з метою забезпечення заданих розмірів, форми і шорсткості деталі приймаємо наступні припуски - вибираємо 10 мм.

Точна вага встановлюється на виробництві після комісійного зважування трьох деталей зі складанням акта зважування. Вага деталі становить 30,0 кг, вага виливки становить близько 40,0 кг.

Вагу припусків на механічну обробку визначаємо за формулою:

$$m_{\text{ПР}} = V \cdot \rho, (5)$$

де V – об'єм припуску, дм³ ;

ρ – щільність рідкого металу, кг/м³ .

Заглушаємо 15 отворів Ø 13 мм:

$$m_1 = 15 \cdot 3,14 \cdot 0,00652 \cdot 0,026 \cdot 7200 = 0,4 \text{ кг}$$

Заглушаємо 3 отвори Ø 16 мм:

$$m_2 = 3 \cdot 3,14 \cdot 0,0082 \cdot 0,027 \cdot 7200 = 0,1 \text{ кг}$$

Заглушаємо 6 отворів Ø 6 мм:

$$m_3 = 6 \cdot 3,14 \cdot 0,0032 \cdot 0,022 \cdot 7200 = 0,1 \text{ кг}$$

Заглушаємо отвір Ø 20 мм:

$$m_4 = 3,14 \cdot 0,012 \cdot 0,03 \cdot 7200 = 0,1 \text{ кг}$$

Заглушаємо 4 отвори Ø 6 мм:

$$m_5 = 4 \cdot 3,14 \cdot 0,0032 \cdot 0,021 \cdot 7200 = 0,1 \text{ кг}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
						23
Змн.	Анк	№ докум.	Підпис	Лам		

Заглушаємо отвір Ø 45 мм:

$$m_6 = 3,14 \cdot 0,02252 \cdot 0,027 \cdot 7200 = 0,3 \text{ кг}$$

Припуск 5 мм по Ø 410 мм:

$$m_7 = 3,14 \cdot (0,2052 - 0,09752) \cdot 0,005 \cdot 7200 = 3,7 \text{ кг}$$

Припуск 5 мм по Ø 485 мм:

$$m_8 = 3,14 \cdot (0,24252 - 0,212) \cdot 0,005 \cdot 7200 = 1,7 \text{ кг}$$

Припуск 5 мм по Ø 85 мм:

$$m_9 = 3,14 \cdot 0,04252 \cdot 0,005 \cdot 7200 = 0,2 \text{ кг}$$

$$m_{\text{ПР}} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7 + m_8 + m_9 \quad m_{\text{ПР}} = 0,4 + 0,1 + 0,1 + 0,1 + 0,1 + 0,3 + 3,7 + 1,7 + 0,2 = 6,7 \text{ кг}$$

$$m_{\text{отл}} = m_{\text{дет}} + m_{\text{пр}} = 30,0 + 6,7 = 36,7 \text{ кг} \approx 37 \text{ кг}$$

Коефіцієнт виходу придатного виливка «Проставка»:

$$КВП = Q_{\text{ДЕТ}} \cdot 100 \% (Q_{\text{ОТЛ}} + Q_{\text{ЛПС}} + Q_{\text{ПР}} + Q_{\text{П}}), \quad (6)$$

де $Q_{\text{ОТЛ}}$ – маса деталі, 37 кг;

$Q_{\text{ЛПС}}$ – маса ливника, 6,0 кг;

$Q_{\text{ПР}}$ – маса надливу, 0 кг;

$Q_{\text{П}}$ – маса втрат, приймаємо 2% від маси виливка 0,7 кг.

За масу надливу приймемо масу 4шт випорів Ø20×265 мм:

$$m_{\text{вип}} = 4 \cdot 3,14 \cdot 0,0012 \cdot 0,265 \cdot 7200 = 2,4 \text{ кг}$$

$$КВП = 30,0 \cdot 100\% / (37,0 + 6,0 + 2,4 + 0,7) = 65,1 \%$$

Коефіцієнт використання металу – маса припуску

$$КІМ = \frac{m_{\text{отл}}}{m_{\text{пр}}},$$

$$КІМ = \frac{30,0}{37,0} = 0,81$$

Коефіцієнт використання рідкого металу

$$КІМЖ = \frac{m_0}{m}, \quad (8)$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Лам		24

де m_0 – маса виливка, кг;

$m_{\text{жиреотл}}$ – маса рідкого металу на вилив, кг;

$$\text{КВМР} = \frac{30,0}{43,7} = 0,69$$

2.9 Розрахунок ливникової системи

Для забезпечення нормального заповнення форми металом при заливці необхідно провести розрахунок ливникової системи (живильник, шлакоуловлювач, стояк).

Підведення металу в виливок буде здійснюватися по дотичній прямо в стінку виливка.

Для розрахунку площі поперечних перерізів елементів ЛЖС необхідно розрахувати оптимальний час заповнення форми.

Розрахуємо оптимальний час заповнення форми

$$\tau_{\text{опт}} = S \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot G_{\text{жс}}} \cdot 0,9$$

де S - коефіцієнт, що враховує рідкоплинність сплаву і тип ЛЖС

δ - середня товщина стінки виливка, мм;

$G_{\text{жс}}$ – загальна маса виливків, ливників і надливків, кг.

$$G_{\text{жс}} = N \cdot (G_{\text{відл}} + G_{\text{пр}} + G_{\text{лс}}), \quad (10)$$

$$G_{\text{жс}} = 4 \cdot (37,0 + 2,4 + 6,0) = 181,6 \text{ кг} = 181600 \text{ г}$$

$$\tau_{\text{опт}} = 2 \cdot \sqrt[3]{10 \cdot 181,6} = 24,4 \text{ с}$$

Розраховану тривалість заповнення форми треба уточнити шляхом перевірки на допустиму лінійну швидкість підйому рівня розплаву.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
Змн.	Анк	№ док.им.	Підпис	Лам		25

Така необхідність обумовлена тим, що рідкий метал з відкритої поверхні активно взаємодіє з атмосферою ливарної форми, що призводить до окислення і утворення оксидних плівок, а також інтенсивного охолодження за рахунок теплових втрат випромінюванням; можливе затвердіння в період заповнення форми і виникнення дефектів у вигляді незлитків, спаїв

і плівок. Тому лінійна швидкість підйому рівня розплаву $v_{лр}$ повинна бути не менше допустимої швидкості $v_{кр}$. Значення знаходять за простим співвідношенням:

$$v = \frac{H}{\tau} \quad (11)$$

де H – висота виливка, мм;

τ - час заповнення, с.

$$t_{вил} = 2 \cdot \sqrt[3]{10 \cdot 181,6} = 24,4 \text{ сек}$$

$$v = 147 : 24,4 = 6,025 \text{ мм/с}$$

Площа перетину живильника для одного виливка розраховується за формулою:

$$F_{лит} = \frac{G_{ж}}{\rho_{ж} \cdot \mu \cdot \tau_{лит} \cdot \sqrt{2g \cdot H_p}} \quad (12)$$

де $\rho_{ж}$ - щільність рідкого сплаву, г/см

μ - коефіцієнт витрати ливникової системи;

H_{cp} – діючий напір, см;

g – прискорення вільного падіння, 981 см/с^2 .

При сифонній заливці H_{cp} – діючий напір, розраховується за формулою:

$$H_{cp} = H_{ст} - h_0 / 8 \quad (13)$$

де $H_{ст}$ – висота стояка від рівня воронки до живильника, 30,0 см;

h_0 – загальна висота відливка, 14,7 см.

$$H_{cp} = 30 - \frac{14,7}{8} = 22,65 \text{ см}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
Змн	Анк	№ док.м.	Підпис	Лист		26

$$F_{\text{пит}} = \frac{181600}{7,2 \cdot 0,42 \cdot 24,4 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 22,65}} = 11,6 \text{ см}^2$$

Оскільки на форму 4 вилівка, а на вилівок 1 живильник, то отримуємо 4 живильники з площею $F_{\text{жит}} = 2,9 \text{ см}^2$.

Визначення площ інших елементів ливникової системи здійснюється за емпіричними співвідношеннями, що залежать від сплаву і положення вузького місця системи. Для дрібних виливків вибираємо наступне співвідношення:

$$\Sigma F_{\text{пит}} : \Sigma F_{\text{шл}} : \Sigma F_{\text{ст}} = 1,0 : 1,2 : 1,4$$

Звідси отримуємо $\Sigma F_{\text{шл}} = 13,92 \text{ см}^2$, так як у формі знаходиться 2 шлаковилловлювача, то площа кожного шлаковилловлювача становить:

$$F_{\text{шл}} = 6,96 \text{ см}^2 ; F_{\text{ст}} = 16,24 \text{ см}^2$$

За отриманими площами поперечного перерізу елементів системи та типом формування сконструюємо живильник, шлакоуловлювач, стояк, ливну чашу або воронку.

Розмір ливної воронки визначимо за формулою:

$$D_{\text{в}} = H_{\text{в}} = (2,7 \dots 3,0) \cdot D_{\text{ст}}$$

$$D_{\text{ст н}} = 2 \sqrt{S / \pi} = 2 \cdot \sqrt{16,24 / 3,14} = 4,5 \text{ см} = 45 \text{ мм}$$

$$D_{\text{ст в}} = D_{\text{ст н}} + 0,3 = 4,5 + 0,3 = 4,8 \text{ см} = 48$$

$$\text{мм } D_{\text{в}} = 3 \cdot 4,5 = 13,5 \text{ см} = 135 \text{ мм}$$

На практиці найчастіше застосовують трапецієподібні живильники і шлакоуловлювачі, для відливання «Проставка» приймемо трапецієподібні шлакоуловлювач і живильник.

$$F_{\text{шл}} = 6,96 \text{ см}^2 = \frac{(a + b) \cdot h}{2} = \frac{(a + 0,8a) \cdot 1,3a}{2} = 1,17 a^2,$$

Звідки

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
Змн.	Анк	№ док.м.	Підпис	Лам		2

$$a = \sqrt{\frac{6,1}{1,17}} = 2,4 \text{ см} = 24 \text{ мм}$$

$$b = 0,8a = 1,9 \text{ см} = 19 \text{ мм}$$

$$h = 1,3a = 3,0 \text{ см} = 30 \text{ мм}$$

Аналогічно розрахуємо розміри живильника: $h = 21 \text{ мм}$,

$$b = 13 \text{ мм},$$

$$a = 16 \text{ мм}$$

2.10 Контроль

Комплексна система управління якістю (технічного контролю) в ливарному виробництві спрямована на проактивне виявлення та нівелювання факторів, що призводять до відхилень фізико-механічних та геометричних параметрів виливків від нормативних вимог. Основний функціонал відділу технічного контролю (ВТК) охоплює: верифікацію технологічної дисципліни (відповідності операцій розробленим картам); вхідний аудит сировинної бази; оперативне виявлення первинних причин браку та розробку превентивних заходів для стабілізації якості.

Багаторівневий операційний контроль:

Забезпечення стабільності процесу вимагає безперервного моніторингу на всіх етапах життєвого циклу виробу. Суворому аудиту підлягають:

- Геометрична точність модельно-стрижневого оснащення;
- Реологічні та фізико-механічні параметри формувальних мас і стрижневих систем;
- Ступінь ущільнення напівформ та прецизійність просторового координування стрижнів;
- Металургійна якість розплаву (хімічний склад, температурний режим заливання, газонасиченість).

Методологія дефектоскопії готових виливків:

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
Змн.	Арк.	№ док.им.	Підпис	Дат.		28

Контроль кінцевої продукції класифікується на виявлення поверхневих макродефектів та глибинну діагностику структури. Первинний (візуальний та інструментальний) контроль здійснюється відразу після екстракції та фінішного очищення виливків. Геометрична відповідність кресленням підтверджується розмічальними операціями, а герметичність (щільність макроструктури) верифікується гідростатичними випробуваннями (під тиском до 200 МПа).

Для локалізації прихованих (внутрішніх) дефектів застосовуються високотехнологічні методи неруйнівного контролю (НК), що реалізуються в умовах спеціалізованих лабораторій:

- Радіографічний метод (X-ray та γ -дефектоскопія): базується на різниці в поглинанні іонізуючого випромінювання суцільним металом і порожнинами. Метод дозволяє прецизійно визначати морфологію, об'ємні координати та лінійні розміри усадочних і газових раковин.

- Ультразвукова дефектоскопія (УЗД): використовує принцип акустичної локації — реєстрації відбитих ультразвукових хвиль від поверхонь розділу фаз (тріщин, неметалевих включень, пор). Амплітудно-часові характеристики відлуння-сигналу дозволяють оцінити площу еквівалентного дефекту та глибину його залягання.

- Капілярні та магнітопорошкові методи: для виявлення поверхневих та підповерхневих мікротріщин застосовують люмінесцентну, кольорову дефектоскопію (пенетранти) або метод магнітного розсіяння.

Якість готового виливка залежить від точності виконання технологічних вимог на кожному етапі виготовлення.

На якість виливка впливає якість залитого металу, яка залежить від складу шихти. Шихтові матеріали повинні відповідати сертифікату. Хімічний склад чавуну повинен відповідати нормативній документації, що діє на підприємстві.

Після вилучення виливка з форми, обрубки ливникової системи виливка піддають кінцевому контролю. До нього висувають такі вимоги:

- відливок не повинен мати тріщин;

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Лат		28

– не повинен мати дефектів, що перевищують за площею зазначені в нормативно-технічній і нормативно-технологічній документації, що існує на підприємстві;

– геометричні розміри повинні відповідати кресленню виливки, згідно з допусками на розміри .

Після перевірки деталей на відповідність всіх перерахованих вище параметрів її пред'являють контролерам БТК. На придатних вилівках ставиться клеймо БТК, і відправляють в механічний цех для проведення обробки.

2.11.Види браку та методи їх виправлення і попередження

Якість литої продукції детермінується сукупністю факторів, порушення яких призводить до виникнення специфічних дефектів. Основними видами браку в ливарному виробництві є:

Засмічення (піщані раковини): являють собою морфологічні порожнини (відкриті або закриті) у тілі виливка. Основною причиною їх виникнення є низька ерозійна стійкість та недостатня поверхнева міцність форми або стрижня. Дефект ініціюється слабким ущільненням формувальної маси, деструкцією гострих кутів та виступів через їхнє недостатнє армування, що призводить до потрапляння часток піску в потік розплаву.

Геометричні невідповідності (перекіс): просторове зміщення елементів виливка по площині роз'єму. Етіологія даного дефекту пов'язана з критичним зносом центрувальних елементів опокового оснащення (штирів та втулок), похибками при складанні напівформ, а також невідповідністю розмірів знакових частин у модельному комплекті та стрижневому ящику.

Усадочні порожнини (раковини): каверни з характерною шорсткою поверхнею та дендритною структурою стінок. Виникають внаслідок дефіциту розплаву при компенсації об'ємної усадки в масивних вузлах. Основними факторами ризику є порушення принципу спрямованого затвердіння, нераціональна конструкція прибутків (надливів), перегрів металу вище

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
Змн	Анк	№ док.м	Підпис	Лист		29

нормативної температури заливання та технологічні недоліки геометрії самої деталі.

Газова пористість (газові раковини): порожнини з гладкою, часто блискучою поверхнею. Їхня поява зумовлена незадовільним аеромеханічним режимом форми: низькою газопроникністю суміші, надмірною вологістю компонентів або високою газонасиченістю самого розплаву. Це призводить до блокування газів у металі, що кристалізується.

Термомеханічні руйнування (гарячі та холодні тріщини): розриви суцільності металу, спричинені внутрішніми напруженнями.

Гарячі тріщини виникають у температурному інтервалі крихкості внаслідок низької податливості форм і стрижнів.

Холодні тріщини ініціюються піковими напруженнями при низьких температурах через нерівномірне охолодження.

Загальними причинами є перегрів розплаву, некоректна конфігурація ливниково-живильної системи та конструктивні дефекти вилівка, що обмежують вільну усадку.

Вскип - дефект у вигляді скупчення раковин і наростів, що утворилися внаслідок пароутворення і місці перезволоження ливарної форми або проникнення газів із стрижнів у порожнину ливарної форми. Основною причиною дефекту є високий вміст вологи у формі, через неякісну підготовку формувальних та стрижневих матеріалів і сумішей, застосування гігроскопічних сполучних матеріалів, фарбування форм у стрижнях без подальшого їх підсушування і тривалого зберігання форм перед заливкою. Вскип відбувається при використанні вологих, окислених холодильників. Неправильно розроблена конструкція стрижнів, яка не забезпечує відведення утворених газів, висока газотворність використовуваних сумішей є причинами закипання форм.

Відбіл це дефект у вигляді твердих, що важко піддаються механічній обробці місць в різних частинах вилівка з сірого чавуну, викликаних скупченням структурно вільного цементиту. Основними причинами дефекту є відхилення від

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
						30
Змін	Анк	№ док.м.	Підпис	Лам		

заданого складу чавуну (низький вміст С і Si, присутність Тс, Ві, Sb та ін.) і порушення процесу охолодження виливки (висока швидкість охолодження).

Ліквациї - це дефект у вигляді місцевих скупчень хімічних елементів або сполук у тілі виливків, що виникають у результаті вибіркової кристалізації при затвердінні. Розрізняють дендритну (внутрішньокристалічну)

ліквацию та ліквідацію за щільністю. Для запобігання утворенню дендритної ліквідації необхідно повільне охолодження відливка, щоб отримати однорідні кристали твердого

розчину. Для усунення ліквітації за щільністю, навпака потрібна підвищена швидкість охолодження, що запобігає неоднорідності сплаву.

Усунення локальних недосконалостей, що не впливають на конструкційну міцність виробу, здійснюється шляхом застосування методів косметичної санації, хімічної герметизації або термічного відновлення суцільності металу.

1. Декоративна санація та поверхневе відновлення

Для нівелювання дрібних поверхневих каверн та раковин на невідповідальних ділянках застосовують реставраційні мастики та спеціалізовані замазки. Технологічний алгоритм передбачає:

Підготовку адгезійної поверхні: дефектні зони підлягають ретельному механічному очищенню та хімічному знежиренню для забезпечення високої адгезії.

Аплікацію та стабілізацію: після заповнення дефекту відновлювальною сумішшю ділянку піддають дегідратації (підсушуванню) та фінішній абразивній обробці (шліфуванню пемзою або графітизації) для досягнення однорідного мікрорельєфу з основним металом.

2. Герметизація мікропористості методом просочення

Для забезпечення гідравлічної щільності виливків та усунення наскрізної мікропористості використовують капілярне просочення реакційними складами:

Оксидування (для чавунного литва): виливки витримують в активованому водному розчині хлористого амонію (NH_4Cl) протягом 8–12 годин. Проникаючи

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк
Змн	Анк	№ док.им	Підпис	Лам		32

в міжкристалітний простір, розчин ініціює утворення щільних оксидних сполук, які герметизують пори.

Полімерна інфільтрація (для кольорових сплавів): з метою запобігання дифузійним витокам застосовують просочення бакелітовим лаком, що створює стійкий полімерний бар'єр у структурі металу.

3. Термічні методи відновлення суцільності (зварювання)

Відновлення макроскопічної суцільності на необроблених поверхнях (зварювання тріщин, наскрізних отворів та глибоких раковин) реалізується методами газового або дугового зварювання.

При роботі з чавунним литвом обов'язковим є дотримання регламентованого термічного циклу для запобігання утворенню структур відбілювання та термонапружених тріщин:

Попередній підігрів: рівномірне нагрівання заготовки до температур 350–600 °С.

Металургійний зв'язок: використання електродів або присадних прутків, ідентичних за хімічним складом основному металу вилівка.

Контрольоване охолодження: забезпечення мінімального градієнта температур до повного вирівнювання з температурою навколишнього середовища, що дозволяє релаксувати внутрішні напруження в зоні термічного впливу.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.02 ТЧ	Анк.
ЗМН	Анк	№ док.им.	Підпис	Лист		32

3 РОЗРАХУНОК ВИРОБНИЧИХ ПОТУЖНОСТЕЙ

3.1 Вибір обладнання для виконання виробничої програми

Базисним етапом проектування ливарного цеху є обґрунтування вибору та прецизійний розрахунок парку технологічного устаткування, необхідного для забезпечення регламентованого річного обсягу випуску в 25 тис. тонн чавунного литва. Пріоритетними критеріями при селекції агрегатів є їхня питома продуктивність, здатність забезпечувати стабільно високі показники точності операцій та рівень автоматизації. Особлива увага приділяється технологічній гнучкості обладнання — можливості оперативної переналадки та адаптації до випуску варіативної номенклатури заготовок без суттєвих втрат робочого часу.

На основі прийнятого технологічного регламенту (лиття у разові піщано-глинисті форми) здійснено розрахунок потреби у формувальному обладнанні. Як основне виробниче ядро обрано автоматичну формувальну лінію (АФЛ) італійського виробництва, що відповідає сучасним світовим стандартам ливарного машинобудування.

Функціональні переваги обраного комплексу: Впровадження високоавтоматизованої лінії є стратегічним кроком, спрямованим на радикальне зниження впливу людського фактора на якість кінцевої продукції та мінімізацію частки важкої ручної праці. Архітектура АФЛ базується на принципі повної інтеграції та синхронізації ключових технологічних етапів у єдиному потоці, що охоплює:

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Ковтун С.В.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Сайтгарєєв Л.Н.				1	34
Н. Контр.		Сайтгарєєв Л.Н.			МТ-23-2-ск		
Затверд.		Бабошко Д.Ю.					

- високоточне формоутворення;
- автоматизоване координування та проставлення стрижневих систем;
- контрольоване заливання розплаву;
- фінішне вибивання заготовок.

Такий рівень апаратурної консолідації дозволяє забезпечити детермінованість виробничого циклу, високу інтенсивність випуску продукції та стабільну геометричну прецизійність виливків при одночасному зниженні їхньої собівартості.

3.2 Плавильне відділення

Проектування плавильного відділення починається зі складання розрахункової програми. Вихідними даними для складання програми є маса виливків на річну програму з урахуванням технологічних втрат. Оскільки в цеху планується випускати виливки з сірого чавуну широкої номенклатури, то слід об'єднати виливки у відповідні групи за масою і вести розрахунки по виливоках-представниках з кожної групи, розподіл виливків по групах представлено у виробничій програмі в таблицях 1.1– 1.5.

Кількість скрапу визначається у відсотках з урахуванням того, що в якості плавильного агрегату використовується індукційна піч, заливка ведеться з поворотного ковша, і приймається рівною 5%.

Випаровування і безповоротні втрати при плавці в індукційній печі складають 3% при приготуванні сплаву СЧ20. Для визначення виходу придатного складається баланс металу, який представлений в таблиці 3.1. Стаття надливкової частини балансу металу складається на основі розрахунку оптимального складу шихти.

Таблиця 3.1- Статті балансу металу на річну програму ливарного цеху

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
						2
<i>Змн.</i>	<i>Анк</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Лам</i>		

Статті надходження в шихтове відділення,			Статті витрат металозавалки, т	
Металозавалка	СЧ20		Відправлені виливки	25502,512
Куплені матеріали:	т		Відбраковані виливки	2293,032
Ливарний чавун	13412,039	40,5	Ливники та надливки	3280,4
Повернення	8610,1977	26	Сливи, скрап	1275,1256
Брухт сталевий	9934,8435	30		
ФС45	695,4390	2	Рідкий метал	32351,0
ФМн70	132,4645	0,4	Випаровування та втрати	765,0753
Графітний бій	331,16145	1		
Повернення власного виробництва:				
Литники та надливки	3280,4	9		
Сливи, скрап	1275,1256	3		
Відбраковані виливки	2293,03	6,9		
Металозавалка				33116,145

3.2.1 Вибір плавильного агрегату

Для виплавки чавуну марки СЧ20 використовується дуплекс-процес. Тут в якості плавильного агрегату береться індукційна піч промислової частоти ІЧТ 2,5/1С4 (таблиця 3.2) продуктивністю 1,8 т/год, а для температурно-часової обробки і доведення чавуну за хімічним складом вибирається канална індукційна піч місткістю 8 т.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Арк
						3
Змн.	Арк	№ док.м.	Підпис	Лам		

Таблиця 3.2- Характеристики електропечі ІЧТ-2,5/1С4

Найменування	Параметр
Потужність, встановлена, кВт	1000
Потужність споживана, кВт	990
Ємність номінальна, т	2,5
Частота струму, Гц	50
Кількість фаз мережі живлення	1
Номінальна напруга, В: – мережі живлення – на індукторі	6000 або 10000 1000
Температура перегріву металу, °С: – номінальна – максимальна	1400 1550
Продуктивність по розплавленню і перегріву, т/год	1,8 - 2,0
Питома витрата електроенергії на розплавлення і перегрів, кВт·год/т	510
Маса металоконструкцій електропечі, т	12,1
Маса електропечі (комплексу), т	26
Витрата охолоджувальної води, м/год	9,5

Розрахункова продуктивність вказана з урахуванням наявності «рідкого болота» в печі і враховує середню тривалість завантаження, видалення шлаку, відбір проб та інших технологічних операцій. Передбачений підігрів шихтових матеріалів перед завантаженням їх в плавильний агрегат дозволяє збільшити продуктивність печі на 15%.

Нагрівання і плавлення шихтових матеріалів в індукційних печах здійснюється за рахунок струмів, що індукуються, які переходять в теплову енергію. Електрична енергія від індуктора передається до шихти безконтактно, а тепло виділяється безпосередньо в шихті.

Для виготовлення тигля використовується вогнетривкий кварцовий пісок 95-98% (вогнетривкий матеріал - динас), для спікання маси додається 1,5-2% сполучного - борної кислоти. Дана футеровка забезпечить роботу печі при

										КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
											4
Змн.	Анк	№ док.м.	Підпис	Лам							

температурах до 1710-1730°C, добре протистоїть впливу кислих шлаків, має високу термостійкість (150-250 плавок).

Індукційна канална піч футурується шамотною цеглою.

Перед завантаженням шихтових матеріалів в індукційну піч потрібен попередній підігрів, для чого використовується установка моделі 10278. Дана установка призначена для термопідготовки шихти і допалювання викидів у ливарних цехах перед плавкою в індукційних печах.

Характеристики установки для підігріву шихтових матеріалів представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3- Основні технічні дані установки для підігріву шихтових матеріалів моделі 10278

Параметр	Значення
Питома витрата газу, м ³ /т	12,5
Температура нагріву шихти, (середня) °С	500
Ємність завалювальної бадьї (одноразово нагрівається порція шихти), т	1,5
Продуктивність, т/год	8
Габарити установки, мм	3100×3000× 3650

Термопідготовка включає в себе: сушку шихти для видалення вологи і масел, підігрів до температури 500-550°C, допалювання утворених парів та інших газів з метою виключення забруднення ними навколишнього середовища, а також для використання тепла від їх допалювання на нагрів шихти.

У дуплекс-процесі для підігріву і витримки розплавленого чавуну, а також для отримання однорідності, застосовується індукційна канална піч промислової частоти. Характеристики індукційної каналної печі представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4- Основна характеристика індукційних каналъних печей ІЧКМ-8

Корисна місткість потужність печі, т	Потужність трансформатора на одну індукційну одиницю, кВт	Кількість індукційних одиниць барабанного типу, шт.	Годинна продуктивність при перегріві на 100 °С, т	
			Теоретична	Розрахункова
			Барабанного типу	
8	1000	2	10	8

При використанні підігріву шихтових матеріалів до 500°С забезпечується видалення вологи і збільшення продуктивності на 10-20%.

Температура чавуну при виході з індукційної печі 1348°С, в каналъній печі здійснюється підтримка температури в межах 1320-1360°С..

Приготування розплаву

Тигель печі набивний, спікається. Футеровка є найбільш відповідальною технологічною операцією, тому що від якості тигля залежить нормальна, безаварійна робота печі. Щоб уникнути аварії, пов'язаної з проривом рідкого металу, печі обладнані системою сигналізації проїдання тигля. Дія сигналізатора заснована на зміні витоку струму між індуктором і стінкою тигля. При підвищенні порогового значення сили струму, сигналізатор відключає піч. В даному випадку (при зносі стінок тигля на 60-70%) метал з тигля зливається. Непридатну футеровку вибивають (відбійним пневматичним молотком).

Для збільшення магнітної проникності, електропровідності шихтових матеріалів (що збільшує ККД роботи печі) необхідно мати в печі «болото», яке залишається від попередньої плавки. Наявність болота в печі підвищує продуктивність печі, знижує витрату електроенергії на плавку.

У розплав, що залишився після випуску металу з печі, завантажуються нова порція шихтових матеріалів (попередньо підігрітих). При відключенні печі, в

печі залишається частина металу, яка згодом кристалізується. Наявність «стартового» залишку забезпечить зростання підведеної потужності в процесі плавки, оскільки монолітний залишок має підвищену електропровідність.

Порція шихти, яка завантажується в піч, повинна містити всі матеріали, необхідні для отримання заданого хімічного складу. Разом з порцією шихти завантажується науглерожувач (в кількості 70%), а решта 30% - в рідкий чавун після розплавлення.

У перші 5-6 хвилин періоду плавлення потужність печі збільшується поступово, потім потужність піднімається до максимальної, домагаючись швидкого розплавлення шихти. Після повного розплавлення шихти вводять кремній у вигляді феросиліцію. Така технологія забезпечує прискорене розчинення вуглецю в чавуні, оскільки зі збільшенням вмісту кремнію швидкість цього процесу зменшується. Також після розплавлення всієї шихти потужність печі знижують на 70-80%. Беруть першу пробу металу на хімічний аналіз. При необхідності проводять коригування складу, вводячи феросплави і наугрівачі.

Перед випуском металу піч вимикають. Можна давати витримку 5- 10 хв. В якості роздаточної печі використовується ІЧКМ-8. Тут же проходить науглецювання розплаву методом вдування вуглецевмісного порошку.

Рідкий метал випускається по жолобу в каналну піч, в якій чавун піддається температурно-часовій витримці при температурі 1340-1360°C і видається в ковш при повороті каналної печі.

3.2.1 Розрахунок обладнання плавильного відділення

Розрахунок кількості плавильних агрегатів і коефіцієнтів їх завантаження проводиться з урахуванням типу плавильної печі, вимог до якості сплаву.

Розплав з індукційних каналних печей видається в поворотні ковші, які на автонавантажувачах переміщуються до заливної площадки.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
Змн	Анк	№ док.м.	Підпис	Лам		7

На формувальній лінії «Savelli» працюють ковші місткістю 1500 кг. Кількість печей для приготування рідкого металу визначаємо за формулою

$$N = \frac{M_{ж} \cdot 1,05}{q \cdot F_{д}} \quad (14)$$

де $M_{ж}$ - потреба в рідкому металі на розрахунковий період, т.

1,05 коефіцієнт нерівномірності споживання металу;

q - продуктивність печі, т/год.

$$N_{ж} = \frac{33116,145 \cdot 1,05}{1,8 \cdot 5722,8 \cdot 0,97} = 3,37 \text{ шт.}$$

Коефіцієнт завантаження обладнання визначимо за формулою

$$K_3 = N_{розр} / N_{прийн} = 3,37 / 4 = 0,85$$

Для виконання виробничої програми необхідно встановити 4 печі ІЧТ-2,5/1С4.

3.2.2 Розрахунок шихти

Вороття власного виробництва складається з елементів ливникової системи (литниці, надливки), стружка, брак, скрап. При плавці сірого чавуну в індукційних печах допускається використовувати до 35% за масою чавунного брухту. Сталевий брухт вводиться до 30%. Сталевий і чавунний брухт є найдешевшими матеріалами, їх ступінь використання залежить від кількості власних відходів. Сталева і чавунна стружка. При плавці чавуну в індукційній печі кількість стружки необхідно обмежити 30 - 50% через небезпеку руйнування футеровки.

Кількість сталевого брухту найкраще обмежити (70 - 80 %), оскільки останній призводить до збільшення схильності сплаву до відбілювання, збільшується усадка і витрата модифікаторів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
						8
Змн.	Анк	№ докум.	Підпис	Лист		

Для визначення хімічного складу досліджуваних матеріалів у роботі застосовували рентгенофлуоресцентний аналізатор EXPERT 4L

Таблиця 3.8– Склад шихти

Компоненти шихти	% за масою
Брухт сталевий	64,11
Повернення	30
ФС 75	2,41
ФМн 85	0,585
Графітний бій	2,89

Таблиця 3.9– Хімічний склад сплаву СЧ20 розрахунковий

Масова частка елементів, %				
C		Mn		S
3,36	2,02	0,86	0,036	0,063

Температура чавуну при випуску чавуну з каналної печі повинна становити 1320-1350°C - така температура необхідна для заливки розплавленого чавуну у форму з перегрівом не менше 50°C.

Температуру затвердіння чавуну можна розрахувати, враховуючи, як впливає 1% елементів на зниження температури ліквідусу розплаву. У таблиці 3.10 представлені шифри, що вказують на зниження температури при введенні 1% цих елементів.

Таблиця 3.10- Вплив 1% елемента на зниження температури розплаву на основі заліза

Хімічний елемент	C	Si	Mn	S	P
Зниження температури, К	93	12	3	32	28

З огляду на хімічний склад чавуну СЧ20, визначається температура затвердіння (температура ліквідус):

$$1539 - 3,4 \cdot 93 - 1,9 \cdot 12 - 0,85 \cdot 3 - 32 \cdot 0,1 - 28 \cdot 0,2 - 0,14 \cdot 1 - 0,1 \cdot 4 = 1188^\circ\text{C}$$

Падіння температури відбувається при випуску металу з печі і при транспортуванні розплаву до заливної ділянки ливарного конвеєра.

Передбачається, що витримка чавуну в ковші при транспортуванні його від печі до заливної ділянки становить 8 хв, втрати тепла наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11- Падіння температури розплаву в ковші

Місткість ковша, т	Падіння температури при випуску з печі. °С	Падіння температури при витримці металу в ковші протягом 10 хв, °С.
1,5	70-80	25

Втрати становлять $75 + 25 = 100$ °С.

Передбачається, що чавун заливається у форму з перегрівом 60 °С. Тоді температура, з якою чавунний розплав випускається з індукційної печі, визначається за формулою:

$$t_{\text{вип}} = t_{\text{лік}} + t_{\text{потери}} + t_{\text{підігрів}} \quad (16)$$

де $t_{\text{вип}}$ - температура випуску розплаву з печі, °С;

$t_{\text{лік}}$ - температура ліквідусу розплаву, °С

$t_{\text{втрати}}$ - втрата температури розплавом при транспортуванні, °С;

$t_{\text{підігрів}}$ - температура перегріву металу, °С.

$$t_{\text{вип}} = 1188 + 100 + 60 = 1348 \text{ °С}$$

Така (1348 °С) температура необхідна для заповнення форми чавуном.

Кількість одночасно працюючих ковшів:

$$n = \frac{t \cdot Q}{T \cdot F} \quad (17)$$

де Q – річна кількість рідкого металу, що заливається з типу ковшів, т;

n – час роботи ковша, год.

t – оборот ковша, год;

Tд – дійсний річний фонд часу роботи або ділянки, год.

Тривалість роботи і час обороту одного ковша. годин.

$$n = \frac{12 \cdot 33116,145}{5722,8 \cdot 12} = 5,8 \text{ шт.}$$

Приймаємо 6 одночасно працюючих ковшів. Кількість ковшів, що працюють у зміну.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк.
Змн.	Анк.	№ док.м.	Підпис	Лист		11

$$N = \frac{t_c \cdot n}{i} \quad (18)$$

де n – кількість одночасно працюючих ковшів, шт.;

t_c – тривалість робочої зміни, год ($t_c = 8$ год);

i – тривалість роботи ковша, год

$$N = 8 \cdot 6 / 12 = 4$$

Приймаємо 4 працюючих ковші в зміну.

Розрахуємо парк ковшів:

$$N_1 = K \cdot K_1 \cdot N, \quad (19)$$

де K – коефіцієнт, що враховує кількість ковшів у ремонті ($K = 1,2$);

K_1 – коефіцієнт запасу ($K_1 = 1,2$)

$$N_1 = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 4 = 9,6$$

Приймаємо 10 ковшів.

Отже, плавильне відділення розташовується в одноповерховому прольоті. У ньому розташоване допоміжне обладнання: пічні трансформаторні підстанції, конденсаторні батареї індукційних печей, установка підігріву шихти; основне плавильне обладнання: індукційні тигельні та каналні печі, а також установки для сушіння ковшів.

Всього в плавильному відділенні встановлюється одна канална піч: в піч ІЧКМ-8 надходить метал з чотирьох печей ІЧТ-2,5 по жолобу.

3.3 Відділення для приготування суміші

Система змішування «Savelli» являє собою комплекс підготовки і транспортування формувальної суміші, що об'єднує: бункери і завантажувальні воронки, пневматичні конвеєри для свіжого піску і добавок, полігональні сита, ковшові елеватори, стрічкові конвеєри, охолоджувачі, змішувачі, аератори та ін. Незважаючи на те, що технологія ущільнення Formimpres принципово менш вимоглива до якості ПГС (у

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
						12
Змн.	Анк	№ докум.	Підпис	Лист		

порівнянні з технологіями, що використовують для ущільнення суміші енергією стисненого повітря), установки змішування фірми «Savelli» призначені для приготування сумішей найвищої якості. Основні переваги даних установок:

стрічкові конвеєри спеціально спроектовані для застосування в важких робочих умовах ливарного виробництва; їх конструкція забезпечує максимальну функціональність, тривалий термін служби і високу зносостійкість;

в системах транспортування формувальної суміші використовуються елеватори з нейлоновими ковшами, змонтованими на гумовій стрічці, що дозволяє знизити власну масу конструкції, а також забезпечує миттєве очищення ковшів і відсутність налипання;

спеціальна конструкція полігонального сита дозволяє повністю розбивати грудки суміші, відокремлюючи частини стрижнів і забезпечує легке технічне обслуговування установки;

днище і бічні стінки змішувача і охолоджувача суміші облицьовані зносостійкою керамікою;

фактичне значення вологості оборотної суміші контролюється за допомогою електронних датчиків, розташованих на лопатках всередині охолоджувача. Виходячи з температури навколишнього середовища (зовнішні датчики) і температури та вологості суміші (внутрішні датчики), автоматично розраховується час перебування суміші всередині охолоджувача з тим, щоб досягти належного охолодження і точного і постійного значення вологості суміші на виході (з точністю $\pm 0,2\%$);

концепція змішувача «Savelli S.p.A.» ґрунтується на багаторічному досвіді та постійних розробках. Враховуються такі аспекти технології підготовки суміші: гомогенізація, ефективне додавання води, бентоніту та інших добавок. Змішувачі «Savelli S.p.A.» гарантують точні, постійні результати змішування і мають високу продуктивність. Однорідне та інтенсивне змішування без руйнування зерна піску досягається за рахунок застосування двох верхніх турбін (вихрових головок) у поєднанні з нижнім

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
Змн.	Арк.	№ док.им.	Підпис	Лам		13

вузлом обертання, оснащеним змішувальними плужками (активатором). Турбіни змішувача оснащені легко замінними змішувальними лопатками. Висока точність дозування оборотної суміші здійснюється за допомогою зважувального бункера-дозатора, свіжого піску і добавок –

- за рахунок використання пневматичного інжектора;
- всі окремі одиниці обладнання установки сумішеприготування спроектовані одним технічним відділом з урахуванням їх максимальної взаємодії;
- лінія змішувального обладнання повністю автоматизована (електронне управління на базі ПЛК «Siemens S7»);
- для контролю властивостей суміші, що готується, і забезпечення постійної її якості використовується система Sandcontrol, призначена для аналізу (в змішувачі або на лінії на стрічкових конвеєрах, що подають суміш в формувальний автомат) основних параметрів формувальної суміші: ущільнюваність, міцність на стискання, вологість, температура. Система складається з пристроїв для взяття проб суміші, їх підготовки та випробування. Система працює в автоматичному режимі. При знаходженні системою параметра з характеристиками, відмінними від ідеальних, автоматично проводиться активне коригування параметрів приготування суміші з тим розрахунком, щоб в бункер формувальної машини була подана суміш відмінної якості.

Технічна характеристика змішувача наведен у таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 - Технічна характеристика змішувальної установки SGMT

Характеристика	Величина
Продуктивність , т/год	120
Продуктивність охолодження суміші, т/год	120
Продуктивність транспортування, т/год	120

Продуктивність змішування, т/год	120
бункери для відпрацьованої суміші, м ³	270
Об'єм бункера для свіжого піску, м ³	10
Об'єм бункера для бентоніту, м ³	6
Витрата води для охолоджувача відпрацьованої суміші, м ³ /год	5
Витрата води для змішувача, м ³ /год	2
Витрата стисненого повітря, м ³ /год	5

Єдині суміші застосовують при машинному та автоматичному формуванні в цехах серійного та масового виробництва. При переробці для повторного застосування в них вводять достатню кількість свіжих матеріалів для надання високих технологічних властивостей.

Контроль відповідності хімічного складу здійснюється спеціальними датчиками, якими оснащений вихровий змішувач

Розрахунок продуктивності змішувачів

Розрахуємо кількість змішувачів за формулою:

$$P_1 = \frac{N \cdot k}{\Phi_d \cdot q}, \quad (20)$$

де N - витрата суміші на рік,

k- – коефіцієнт нерівномірності продуктивності, k = 1,05;

q - продуктивність т/год.

$$P = \frac{569362 \cdot 1,05}{5632,44 \cdot 120} = 0,88 \text{ шт}$$

$$L3 = 0,88/1 = 0,88 = 88\%$$

Для забезпечення цеху формувальною сумішшю необхідний один вихровий змішувач

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
Змн.	Анк	№ док.им.	Підпис	Лам		15

Таблиця 3.12– Розрахункова відомість формувальної та стрижневої суміші

Найменування відливки	Кількість стрижнів на відливку, шт	Маса стрижнів на відливку, кг	Кількість стрижнів на програму, шт	Маса суміші на програму, т	Об'єм суміші на програму, м ³	Кількість виливків в формі, шт	Кількість форм на програму, шт	Маса формувальної суміші на опоку, кг	Маса формувальної суміші на програму, т
Кільце	6	22	49392	172,48	275,968	3	5227	1256	9847,04
Проставка	3	18,2	24696	142,688	228,301	4	3920	1452	11383,7
Скоба	6	12,9	49392	101,136	161,818	3	5227	1369	10733
Кільце	2	11,6	16464	90,944	145,51	4	3920	1654	12967,4
Зірочка	5	22,9	41160	179,536	287,258	3	5227	1753	13743,5
Валик	4	41,3	47040	462,56	740,096	3	7467	1875	2100
Венець	6	15,9	70560	178,08	284,928	4	5600	2145	24024
Кришка	1	11,2	11760	125,44	200,704	3	7467	1863	20865,6
Корпус	7	41,6	82320	465,92	745,472	3	7467	1987	22254,4
Блок	4	36,9	47040	413,28	661,248	2	11200	2145	24024
Циліндр	8	48,9	112896	657,216	1051,55	2	13440	2369	31839,4
Обойма	3	51,6	42336	693,504	1109,61	3	8960	2256	30320,6
Замок	5	13,6	70560	182,784	292,454	2	13440	2245	30172,8
Упор	6	61,2	84672	822,528	1316,04	2	13440	2413	32430,7
Фланець	3	14,9	42336	200,256	320,41	2	13440	2365	31785,6
Щит	5	88,9	88200	1493,52	2389,63	3	11200	2481	41680,8
Клапан	9	71,2	158760	1196,16	1913,86	2	16800	2561	43024,8
Диск	6	21,1	105840	354,48	567,168	2	16800	2856	47980,8
Погон	8	39,4	141120	661,92	1059,07	2	16800	2963	49778,4
Оголовок	4	51,3	70560	861,84	1378,94	1	33600	3542	59505,6
РАЗОМ:			1357104	9456,27	1357104		220640		569362

3.4 Формувальне відділення

Особливість технології Formimpress полягає в тому, що ущільнення формувальної суміші здійснюється пресуванням у дві стадії, і з обох сторін форми. Операції ущільнення форми передують етапи заповнення опоки сумішшю: відбувається дозування необхідної кількості формувальної суміші у зважувальному бункері-дозаторі формувального автомата, далі, при відкритті засувки, формувальна суміш потрапляє в опоку.

Багатоплунжерна пресова головка підводиться зверху опоки, при цьому відбувається вирівнювання суміші. Спершу, слідує попереднє нижнє ущільнення, причому на відміну від класичних систем ущільнення пресуванням, наповнювальна рамка в даному випадку знаходиться між підмодельною плитою і опокою.

Підмодельна плита рухома відносно наповнювальної рамки і при її підйомі вгору ущільнення форми починається з боку моделі. На даному етапі ущільнення, формувальна суміш досить рухома і при ущільненні форми знизу вгору в першу чергу відбувається чудовий розподіл формувальної суміші по всьому контуру моделі: суміш заповнює найдрібніші порожнечі і поглиблення навколо моделі, забезпечуючи чудову якість відбитка.

Другий етап ущільнення здійснюється за допомогою багатоплунжерної пресової головки (верхнє пресування), при цьому досягаються зусилля пресування до 15 кг/см^2 . Стіл формувального автомата з утримувачем модельної плити і опокою опускається вниз, відділення форми і моделі при цьому здійснюється за рахунок підйому рамки. Відформована опока транспортується на наступну позицію лінії, в формувальний автомат подається наступна порожня опока.

Використання системи Formimpress має наступні переваги: ідеальна міцність форми при більш високих значеннях твердості суміші досягається

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
						17
Змн	Анк	№ док.им	Підпис	Лам		

поблизу моделі, в той час, як щільність суміші до верхньої частини форми знижується, забезпечуючи формі відмінну газопроникність (рис. 1);

- досягається відмінне відтворення елементів моделі (якість відбитка);
- висока якість відбитка забезпечує високу якість поверхні виливків, тим самим мінімізуючи операції з обрубкування-очищення лиття;
- процеси виготовлення форми характеризуються низьким рівнем шуму;
- досягається економія 20-30% енергії (в залежності від порівнюваного альтернативного процесу ущільнення);
- виштовхування форм здійснюється на раму, а не на ролики конвеєра;
- багатоплунжерна пресова головка має 2 контури тиску (внутрішній і зовнішній), по яких тиск розподіляється в залежності від особливостей виливки.

Окремо необхідно відзначити ще одну, вкрай важливу перевагу технології формування Formimpress, а саме - немає необхідності використовувати стиснене повітря для ущільнення форми.

Крім зниження споживання енергії, значно спрощується конструкція модельного оснащення в порівнянні з оснащенням основних конкурентів, так як немає необхідності в застосуванні вент і повітряних каналів. Зменшується абразивний знос модельного оснащення.

Не потрібні компресорні станції і системи осушення повітря (традиційно болюче питання вітчизняних виробництв), потрібно менше обслуговування і запчастин. При виробництві невеликих серій форм, технологія Formimpress забезпечує можливість застосування пластмасових і дерев'яних моделей, що значно знижує собівартість продукції.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
Змн	Анк	№ док.м	Підпис	Лам		18

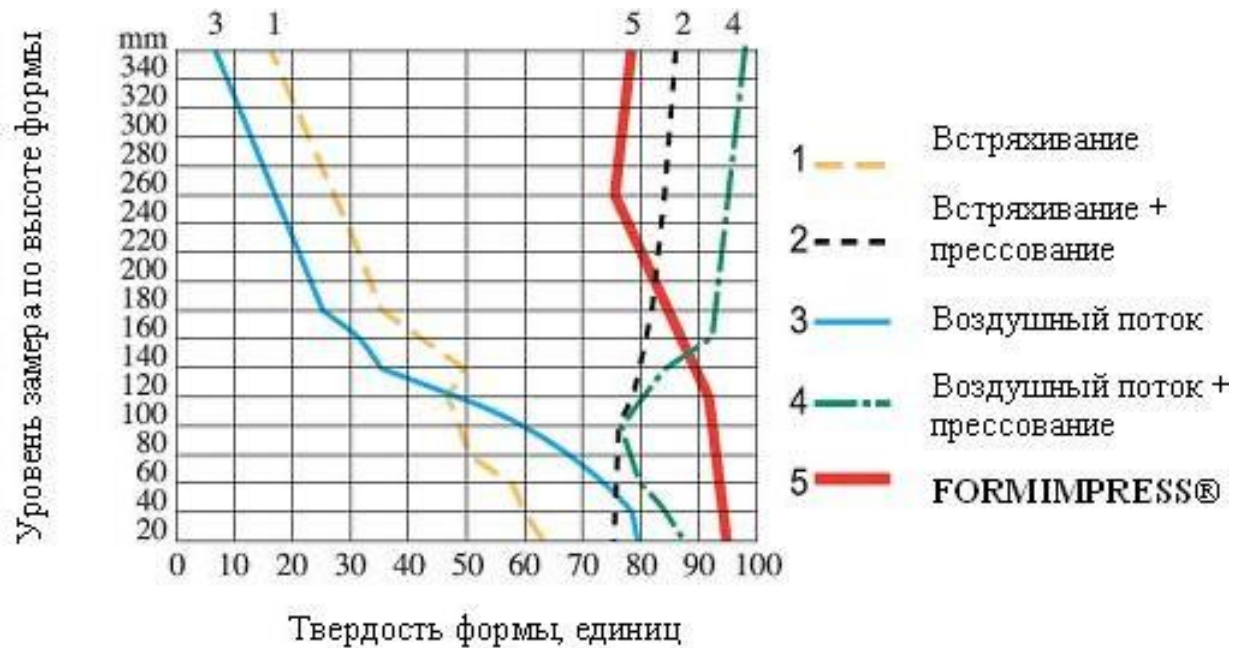


Рисунок 3.1- Розподіл твердості форми по висоті при різних способах ущільнення форми

Характеристики формувальної лінії

Технічні дані АФЛ «Savelli»:		
Внутрішні розміри	1400×1200×300/400 мм	
Продуктивність формування	50-60 повних форм/год	
Час циклу	45 сек	
Потреба у формувальній суміші	120	т/год
Кількість місць для розміщення стрижнів	Всього	
Кількість розливних місць	60	
Час охолодження	115	хв
Загальний рівень шуму лінії	82 дБ	
Формувальна машина	Окрема станція типу F1 зтурнікетом, підготовленим для ущільнення Formimpress	
Кількість формувальних машин	Одна	
Система формування	Ущільнення під високим тиском за допомогою Formimpress	

Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Лам.
------	------	----------	--------	------

Гідропривід	Централізований	
Тиск у гідравлічному контурі	100	бар
Температура масла	50°C ± 5°C	
Система електроуправління	Централізована	
Витрата охолоджувальної води, середня	10 м³/год при t на вході 30°C	
Передбачувана встановлена потужність	350	кВт
Витрата стисненого повітря, 6 бар	180	Нм³/год
Робоча напруга	3×400 V, 50 Hz,	
Керуюча напруга	230	V, 50 Гц,

Допустимі коливання в електроживленні Напруга +10% і -2,5% Hz ± 2%

Процес виготовлення форм на автоматизованій лінії базується на принципах прецизійного позиціонування та безперервності логістичних операцій. Весь цикл розбитий на кілька критичних стадій:

1. Підготовка та позиціонування опокового оснащення Перед початком операції формоутворення здійснюється обов'язкове превентивне очищення горизонтальних площин опок, а також робочих елементів системи координування (штифтів та втулок). Спеціалізований контрольний пристрій виконує верифікацію чистоти поверхонь для виключення наявності металевих включень або бризок розплаву, що могли залишитися від попередніх циклів. Опока транспортується в робочу зону формувального агрегату, де модельний комплекс (що включає носій, підмодельну плиту та безпосередньо модель) разом із опокою піднімається до рівня наповнювальної рами.

2. Базування та заливання форм. Остаточна просторова орієнтація та фіксація елементів форми реалізуються через систему центруючих штифтів та втулок. Після завершення формування напівформи спрямовуються на лінію заливання, де відбувається заповнення робочих порожнин металом за допомогою механізованої заливальної установки. Транспортна система забезпечує

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
Змн	Анк	№ док.м.	Підпис	Лам		20

автоматичне розподілення залитих форм за дільницями охолодження, де вони вибірково позиціонуються для проходження термічного циклу.

3. Термічна стабілізація та декомплектація Згідно з розрахунковим графіком, тривалість фази охолодження на спеціалізованих дільницях становить максимум 115 хвилин, що забезпечує необхідну кристалізацію та релаксацію напружень у металі. Охолоджені форми конвеєрною системою доставляються до вузла вибивання. На цій стадії автоматизований механізм виконує розкріплення опокового комплексу, після чого здійснюється розділення верхньої та нижньої напівформ. Вивільнене опокове оснащення евакуюється на роликівий транспортер (рольганг) для повернення на початковий етап технологічного циклу.

Розрахунок кількості обладнання проводиться залежно від обсягу продукції, що випускається, продуктивності обладнання, а також від тривалості роботи обладнання в розрахунковому періоді.

Кількість ліній обчислюється відповідно до загальної кількості форм на річну програму по всій номенклатурі, що випускається цехом .

Оскільки лінія працює з опоками розміром 1400×1200×300/400, то підходить весь асортимент модельного оснащення, що виготовляється цехом . Знайдемо необхідну кількість формувальних ліній:

$$\frac{N}{(F - t) \cdot q}$$

де N – кількість форм, шт. на рік;

t.- час, необхідний для зміни моделей і налагодження, год/рік; Fд – дійсний фонд часу, год/рік;

q – продуктивність машини, ф./год.

Кількість форм на виконання виробничої програми розраховано в таблиці 3.12, дані беремо звідти.

$$n_{\text{лн}} = \frac{220640}{(5692,7 - 102,7) \cdot 50} = 0,78 \text{ шт.}$$

Розрахуємо коефіцієнт завантаження обладнання

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
Змн.	Анк	№ док.им.	Підпис	Лам		21

$$K_3 = \frac{0,78}{1} \cdot 100\% = 78\%$$

Приймаю одну автоматичну лінію для виконання виробничої програми з випуску лиття 25500 тонн.

3.5 Стрижневе відділення

Піскострільні автомати «АНВ» є високотехнологічними агрегатами, розробленими для прецизійного виготовлення стрижнів у неопалювальному оснащенні. Апаратурна база дозволяє реалізовувати процеси реакційної стабілізації сумішей газоподібними затверджувачами, зокрема за технологіями Cold-Box-Amine, Betaset та CO₂-процесом.

Сучасна концепція автоматів базується на колонній архітектурі, що забезпечує високу жорсткість конструкції та відповідає ергономічним вимогам автоматизованого ливарного виробництва. Універсальність машин «АНВ» дозволяє інтегрувати їх у стрижневі дільниці для випуску широкої номенклатури виробів — від дрібногабаритних елементів до масивних стрижневих блоків.

Алгоритм функціонування та робочий цикл

Кінематична схема роботи автомата базується на циклічному повторенні наступних операцій:

Позиціонування та замикання: робочий стіл здійснює вертикальне переміщення, забезпечуючи щільне силове притискання модельного оснащення до піскострільної головки.

Імпульсне наповнення: проводиться «постріл» стрижневою сумішшю, що гарантує високу щільність та рівномірність заповнення робочої порожнини ящика.

Підготовка до хімічної стабілізації: стіл відводиться у вихідне положення, після чого в робочу зону подається каретка з продувною плитою.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
Змн	Анк	№ док.м	Підпис	Лам		22

Газова полімеризація: здійснюється герметичне притискання ящика до продувної плити з наступною інжекцією газоподібного каталізатора (затверджувача).

Дегазація та розкриття: після завершення фази експозиції проводиться продування стрижня стисненим повітрям для видалення залишків реактивів. Потім спрацьовують бічні пневмоциліндри, кабіна розкривається, і готове оснащення евакуюється на приймальний стіл.

Конструкційні особливості моделі «АНВ-10»

Апаратне виконання моделі «АНВ-10» включає наступні функціональні блоки:

Компонент	Функціональне призначення
Несуча колона	Забезпечує стабільність геометрії та гасіння вібрацій.
Піскострільна головка	Відповідає за накопичення та імпульсну подачу суміші.
Протяжний стіл	Вертикальне переміщення та силове замикання оснащення.
Продувна плита (АІ)	Інжекція газу-затверджувача та пневматична дегазація.
Захисна кабіна	Локалізація зони обробки та забезпечення екологічної безпеки.
Пневматична система	Дистанційне керування всіма рухомими вузлами агрегату.

Технологічна універсальність

Конструкція автомата «АНВ-10» адаптована для роботи з модельним оснащенням, що має вертикальну, горизонтальну або комбіновану площину

роз'єму. Матеріал виготовлення ящиків не є критичним фактором: агрегат сумісний із оснащенням із металів (сталь, алюміній), деревини, полімерів або композитних складів.

Компактна компоновка автомата в єдиному модулі з газогенератором дозволяє мінімізувати терміни монтажних робіт та забезпечує швидку інтеграцію в наявні виробничі лінії. Пневматична система управління гарантує високу повторюваність циклів та точність дозування зусиль притискання, що є запорукою відсутності дефектів при формуванні стрижнів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
Змн.	Анк	№ док.м.	Підпис	Лам		24

Таблиця 3.13- Порівняльні характеристики стрижневих автоматів «АНВ»

Основні характеристики НВ	«АНВ-10»	«АНВ-20»	«АНВ-30»
Об'єм впорскуваної порції, літри	10	20	30
Притискне зусилля машинного столу, daN	4200	6500	1100
Утримуюче зусилля машинного столу, daN	8400	13000	2200
Хід циліндра машинного столу, мм	30	40	400
LW вибухова головка – машинний стіл, мм	540	740	840
Натяжне зусилля боковин, daN	2600	4200	650
Утримуюче зусилля боковин, daN	5200	8400	1300
Хід циліндрів боковини, мм	200	400	400
LW при відкритих боковинах, мм	740	990	990
Натяжна плита висота × глибина, мм	200×400	400×600	400×600
Утримуюче зусилля натяжних плит кг	550	1300	1650
Максимальний вакуум, бар	- 0,8	- 0,8	- 0,8
Хід циліндра верхньої частини, мм	320	320	320
Хід циліндра викидача, мм	90	110	110
Плита викидача Ш×Г, мм	180×280	240×380	300×400
Вага машини, кг	3000	4500	5000
Вага захисної кабіни, кг	800	900	1000
Розміри стрижневого ящика			
Макс. ширина стрижневого ящика верт./гор., мм	400	450/990	500/990
Мін. ширина стрижневого ящика, мм	150	200	200
Макс. висота стрижневого ящика, мм	450	670	770
Мін. висота стрижневого ящика, мм	240	340	440
Макс. глибина стрижневого ящика, мм	700	800	1000
Макс. діапазон вистрілювання Ш×Г, мм	360×360	550×550	550×550
Макс. діапазон газування Ш×Г, мм	440×440	600×600	600×600
Макс. вага стрижневого ящика, кг	300	800	100
Макс. вага верхньої частини стрижневого ящика, кг	250	300	400
Макс. тиск вистрілювання, бар	5,5	5,5	5,5
Час циклу машини (змінні)			
Стрижневий ящик з горизонтальним поділом, сек	12	17	18
Стрижневий ящик з вертикальним поділом, сек.	13	18	19
Стрижневий ящик з гориз./верт. поділом, сек.	15	20	21
Гідравліка / енергія / витрата			
Макс. тиск гідравліки, бар	250	25	250
Макс. робочий тиск гідравліки, бар	210	210	210
Кількість масла для гідравліки, л	200	200	200
Загальна потужність при 400 В, 50 Гц	5	8	8
Витрата повітря при 6 барах прим. МЗ/ год	5	7	7

Несуча станина автомата являє собою масивну зварну металоконструкцію з посиленою основою. Ключовою особливістю архітектури є використання порожнистої колони як інтегрованого ресивера (повітряного резервуара), що забезпечує стабільність тиску під час піскострільного циклу. У верхній частині колони консольно закріплений функціональний вузол, що поєднує піскострільну головку та накопичувальний резервуар для суміші.

Кінематика робочого столу та фіксація оснащення:

Привід вертикального переміщення робочого столу реалізований на базі пневмоциліндра високого тиску. Пневматична система забезпечує два етапи силового замикання:

1. Стадія формоутворення: герметичне притискання модельного оснащення до дюзи піскострільної головки.
2. Стадія хімічної стабілізації: фіксація продувної плити між ящиком та головкою для інжекції каталізатора.

Для стаціонарного базування ящика на столі передбачені притискні плити, що активуються допоміжними бічними пневмоциліндрами.

Динаміка «пострілу» та аераційна система

Центральним елементом керування формоутворенням є швидкодійний стрільний клапан, що забезпечує миттєве сполучення повітряного ресивера з піскострільним резервуаром (об'ємом 10 л).

- Механізм ущільнення: стиснене повітря, тиск якого прецизійно регулюється редукційним клапаном, миттєво вивільняється в резервуар. Проходячи крізь щілинну гільзу, повітряний потік аерує суміш і транспортує її крізь впускні отвори головки, забезпечуючи рівномірне ущільнення в порожнині ящика.

- Декомпресія: по завершенні фази «пострілу» відкривається вентиляційний клапан. Надлишковий тиск скидається в робочий простір машини через систему глушників, що мінімізує акустичне навантаження на персонал.

Системи промислової безпеки

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
Змін	Анк	№ док.м	Підпис	Лам		26

Автомат оснащений захисним кожухом (кабіною) з інтегрованими системами блокування. Конструкція передбачає можливість демонтажу правої дверцятки для технічного обслуговування.

Логіка безпеки: фронтальні двері kabіни оснащені сенсорами положення. У разі порушення герметичності зони (відкриття дверей під час циклу) аварійний клапан миттєво перекриває подачу стисненого повітря, повністю деактивуючи приводи машини.

Термодинаміка та газодинаміка затвердіння (Cold-Box-Amine)

Для ініціації полімеризації стрижнів автомат інтегрований у єдиний модуль із газогенераторною установкою. Її призначення — генерація та дозована подача пароподібної суміші каталізаторів (аміну або метилового формиату).

Процес газогенерації:

- Апаратне забезпечення: у корпусі розміщено резервуари для реагентів, прецизійні дозувальні насоси та випарний нагрівач. Вентильний блок та пульт управління винесені для зручності експлуатації.

- Термодинамічний режим: рідкий каталізатор піддається миттєвому випаровуванню в нагрітому повітряному потоці. Великий об'єм камери нагрівача запобігає адіабатичному зростанню тиску до значень, що спричиняють конденсацію пари.

- Фізико-хімічні умови: згідно з принципами Cold-Box процесу, швидкість та якість затвердіння прямо пропорційні ступеню газоподібності реагенту. Конденсація аміну на поверхні стрижня призводить до локальної недозатверділості та перевитрати матеріалів.

Управління продувкою:

Опір стрижневої маси долається за рахунок динамічного регулювання тиску продувки на пульті управління. Оптимальна концентрація газової суміші та підігрів повітря гарантують стабільну міцність стрижня в усьому об'ємі модельного ящика.

Розрахункові показники продуктивності

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
						27
Змн.	Анк	№ док.им.	Підпис	Лам		

На основі експлуатаційних даних та часових циклів (згідно з табл. 3.12), сумарний обсяг випуску стрижнів для парку автоматів серії «АНВ» розподіляється наступним чином:

Модель автомата	Обсяг виготовлених стрижнів, шт.
АНВ 10	694 154
АНВ 20	439 435
АНВ 30	223 515

Стрижнева машина «АНВ 10» продуктивністю 150 стрижнів на годину для дрібних стрижнів.

$$n_m = \frac{694154}{(5752,92 - 52,92) \cdot 150} = 0,81_{шт}$$

$$K_3 = \frac{0,81}{1} \cdot 100\% = 81\%$$

Стрижнева машина «АНВ 20» продуктивністю 100 стрижнів на годину для середніх стрижнів.

$$n_m = \frac{439435}{(5732,8 - 72,8) \cdot 100} = 0,77$$

$$K_3 = \frac{0,77}{1} \cdot 100\% = 77\%$$

Стрижнева машина «АНВ 30» продуктивністю 50 стрижнів на годину для великих стрижнів.

$$n_m = \frac{223515}{(5732,8 - 72,8) \cdot 50} = 0,78$$

$$K_3 = \frac{0,78}{1} \cdot 100\% = 78\%$$

Для виконання виробничої програми необхідно 3 шт. стрижневих автоматів «АНВ 10» - 1 шт., «АНВ 20» - 1 шт., «АНВ 30» - 1 шт.

3.6 Вибивне відділення

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк.
Змн.	Анк.	№ док.м.	Підпис.	Лист		28

Після завершення фази кристалізації вилівка піддаються регламентованій термічній витримці безпосередньо у формі до досягнення нормативної температури вибивання. Цей етап є критичним вузлом оптимізації виробничого процесу: підвищення температурного порогу вибивання дозволяє інтенсифікувати технологічний цикл та суттєво підвищити питому продуктивність формувально-заливальної дільниці. Проте форсування цього процесу обмежене фізико-механічними чинниками та вимогами до якості литва.

Вплив термічних умов на цілісність конструкції: У температурному інтервалі, наближеному до солідусу, ливарні сплави перебувають у стані зниженої міцності та обмеженої пластичності. Це зумовлює високу вразливість заготовки до механічних пошкоджень та руйнування під впливом динамічних навантажень, що виникають під час роботи вибивних агрегатів.

Динаміка внутрішніх напружень: Передчасне вилучення вилівка з форми радикально змінює характер теплообміну. Охолодження на відкритому повітрі протікає зі значно вищою швидкістю порівняно з охолодженням у піщаній матриці, що має низьку теплопровідність. Така інтенсифікація теплопередачі призводить до:

- Збільшення температурного градієнта: виникає гостра нерівномірність охолодження між масивними вузлами та тонкими перетинами вилівка.
- Генерації внутрішніх напружень: нерівномірна термічна усадка призводить до накопичення пікових напружень у структурі металу.
- Морфологічних дефектів: раннє вилучення з форми є домінуючою причиною виникнення гарячих і холодних тріщин, геометричного викривлення (жолоблення), а також збереження високого рівня залишкових напружень у готовому виробі, що негативно впливає на його подальшу експлуатаційну надійність.

Висновки щодо оптимізації циклу: визначення оптимального моменту вибивання є задачею інженерного балансу. Технологічний прагматизм вимагає реалізації процесу при максимально допустимій температурі з метою мінімізації

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
Змн	Анк	№ докум	Підпис	Лам		29

тривалості виробничого циклу. Водночас, граничне значення цієї температури суворо лімітується теплофізичними властивостями сплаву та складністю геометрії вилівка, що вимагає прецизійного розрахунку часу витримки для кожного типорозміру виробів.

Відпрацьована суміш подається в піддонах на візках з ходовими і напрямними роликами на ділянку приготування суміші для подальшого використання.

Передбачений повний комплекс в змішувальному відділенні для регенерації суміші, який включає в себе 2 магнітних сепаратори для видалення металевих включень із суміші, полігональне сито для просіювання і відділення великих і середніх грудок з суміші, охолоджувач піску для зниження температури відпрацьованої суміші, система бункерів з стрічковими транспортерами для усереднення складу відпрацьованої формувальної суміші. Після комплексу регенерації суміш освіжається додаванням свіжого піску і надходить у вихровий змішувач для приготування стрижневих і формувальних сумішей.

Готові вилівки піддаються остаточному контролю ВТК. Незначні дефекти на невідповідальних поверхнях вилівок можуть бути виправлені.

Основним способом виправлення дефектів вилівок є: електрозварювання, газове зварювання, а також просочення анаеробними герметиками для виправлення мікронещільностей лиття. Придатні вилівки відвантажуються споживачам. Вилівки, що не підлягають виправленню, повертаються в цех на переплав.

Низькотемпературний відпал застосовують для зняття внутрішніх напружень, підвищення в'язкості, стабілізації розмірів деталі і зменшення деформації.

Низькотемпературний відпал проводиться за наступним режимом: повільне нагрівання чавунних вилівок (70-100°С/год) до 500-600°С; витримка

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
						30
Змн	Анк	№ док.м	Підпис	Лам		

при цій температурі 2-8 год (залежно від розміру виливків), і повільне охолодження, разом з піччю зі швидкістю 20-50°C/год до 250°C.

В результаті такого відпалу внутрішні залишкові напруження знімаються майже повністю, ніяких структурних перетворень не відбувається.

Для термообробки вибираємо піч з висувним подом.

Для розрахунку необхідної кількості печей для термообробки використовуємо формулу:

$$n = \frac{N \cdot k_n}{\Phi \cdot \tau \cdot q} = 0,88 \quad (21)$$

де N – річний випуск лиття, т;

τ – продуктивність печі, т/год;

k_n – коефіцієнт нерівномірності, приймаємо 1,1-1,3.

Для дільниці термічної обробки:

$$n = 0,88$$

Таблиця 3.14- Технічні характеристики термопечі з висувним подом

Модель	Температура пічки, °C	Потужність, кВт	Габарити робочої камери, мм			Зовнішні розміри, мм		
			Довжина	Ширина	Висота	Довжина	Ширина	Висота
ПВП	900	190	150	150	150	600	2600	4900

Після завершення процесів кристалізації та вилучення з форм заготовки спрямовуються до очисного відділення ливарного цеху. На цій дільниці здійснюється комплекс операцій з обробки, зачищення та фінішної обробки. Технологічний маршрут цих операцій будується за суворою логічною послідовністю, що детермінується конструктивною складністю вилівка, маркою сплаву та вимогами до якості поверхні.

Процес інтегрованого очищення та підготовки виливків охоплює наступні ключові стадії:

Екстракція стрижневих систем: Видалення відпрацьованої стрижневої суміші з внутрішніх порожнин виливка. Операція реалізується механізованим шляхом (вібраційними або гідравлічними установками) для повного звільнення складних каналів.

Демонтаж елементів ЛЖС: Відокремлення від тіла виливка компонентів ливниково-живильної системи, зокрема живильників, випорів та надливів (прибутку). Метод видалення (вогнева різка, пресове обламування або механічне пиляння) вибирається залежно від пластичності та твердості сплаву.

Абразивне очищення поверхонь: Видалення залишків формувальної маси та пригару. Найчастіше реалізується методами дробометної або дробоструминної обробки, що забезпечує необхідний клас шорсткості та чистоти металевої поверхні.

Механічне зачищення та калібрування: Остаточне видалення технологічного облою (задинок) та залишків приливів у місцях підведення металу. Операція спрямована на приведення геометричних параметрів виливка до відповідності вимогам креслення перед передачею на ділянку технічного контролю.

3.7.Очисне відділення

Барабани очисні дробометні конвеєрні періодичної дії 42236 призначені для очищення від пригару і окалини поверхонь виливків і поковок, не схильних до бою і деформації при галтуванні в умовах серійного виробництва.

У напівавтоматичному режимі виконуються такі основні операції: включення робочого руху пода на очищення, завантаження виробів скиповим завантажувачем, закривання дверей барабана, включення, розгін дробометного апарату, включення подачі дробу, витримка встановленого часу очищення, припинення подачі дробу, відключення, гальмування до повної зупинки дробометного апарату, відкривання дверей, зупинка і реверс руху подачі, вивантаження очищених виробів. Припинення вивантаження і початок нового циклу здійснюється оператором.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк
Змн.	Анк.	№ док.м.	Підпис	Лам		33

Робоча зона камери, місця, що піддаються прямому потоку дробини, і диски облицьовані зносостійкими плитами. Пластини конвеєра виготовляють із зносостійкої марганцевої сталі. Внутрішня поверхня дверей захищена гумовими листами.

У системі дроберозподілу використовуються електромагнітні затвори, які практично не зношуються і відрізняються високою надійністю. У скиповий завантажувач встановлюється уніфікована тара за ГОСТ 14861-74.

Повітряно-механічний двоступеневий сепаратор забезпечує надійне очищення дробини з засміченістю до 15% за загальною масою і до 30% за загальним об'ємом дробини. У барабані 42236 одночасно з очищенням передбачено вибивання стрижнів із загальною масою до 1/3 від усієї маси лиття.

Розрахуємо необхідну кількість дробеметних барабанів для виконання виробничої програми:

$$N = \frac{25500}{5783,1 \cdot 1,5} = 2,93$$

Розрахуємо коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_3 = \frac{2,93}{4} \cdot 100\% = 73\%$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Анк.
Змн.	Анк.	№ док.м.	Підпис.	Лист		33

Зведена відомість обладнання

Найменування відділення	Найменування обладнання	Марка обладнання	Вироб. програма	Виробництво діяльність обладнання	Потреба в машинах, шт.		Кз, %
					Розр	Прин	
Плавильне	Плавильна піч	ІЧТ-2,5/1С4	33116,15 т	1,8 т/год	3,37	4	85
	Роздавальна піч	ІЧКМ-8	33116,15 т	8,0 т/год	0,72	1	72
Змішувач виключне	Змішувач	SGMT	78956,9 т	120 т/год	0,88	1	88
Стрижневе	Стрижневий автомат	АНВ 10	694154 стор	150 стор/год	0,81	1	81
		АНВ 20	439435	100 стор/год	0,77	1	77
		АНВ 30	223515 стор	50 стор/год	0,78	1	78
Формовочне	Формовочна лінія	Savelli	220640 ф	50 ф/год	0,78	1	78
Термообрубне	Вибивання	Savelli	220640 ф	50 ф/год	0,76	1	76
	Дробеметна камера	42236	25502 т	1,5 т/год	2,93	4	73
	Термічна піч	ПВП 5,5/9М	25502 т	5,5 т/год	0,88	1	88

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.03 РВ	Арк
						34
Змн.	Арк	№ док.	Підпис	Лам		

4 ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ФОРМ НА АВТОМАТИЧНИХ ФОРМУВАЛЬНИХ ЛІНІЯХ

Поява автоматичних формувальних ліній (АФЛ) у ливарному виробництві зумовлена зростанням попиту на виливки, що відрізняються *високою стабільністю якості в межах випущених партій*. Це можна забезпечити за умови повної автоматизації умов та виробничо-технологічних параметрів процесу виробництва виливків. Усі формувальні лінії сконструйовані за принципом класичного поточного конвеєра, який дозволяє розділити виконання технологічних операцій за місцем і часом. Сучасні формувальні лінії працюють в автоматичному режимі та наділені можливістю гнучкого автоматичного переналагодження на випуск мінливої номенклатури. Кількість операцій, що виконуються на АФЛ вручну, зведена до мінімуму. Керування роботою лінії здійснюється за допомогою запуску програм на центральному керуючому процесорі.

Термін «формувальна лінія» не зовсім коректний, оскільки на формувальних лініях виконуються не тільки операції з виготовлення (формування) напівформ, але й операції складання, встановлення стрижнів, заливки та вибивання. Сучасні формувальні системи є еталоном автоматизації і поряд з виготовленням виливків вирішують завдання приготування суміші, обрубки та очищення виливків.

Основною ознакою, що відрізняє АФЛ, є *характеристика базової технології формування*, залежно від якої формувальні лінії поділяють на *класичні* для формування в піщано-глинистих сумішах (ПГС) та формування в *хімічно твердіючих сумішах* (ХТС), а також АФЛ для *спеціальних видів лиття* (вакуумного формування, виготовлення виливків у керамічні, оболонкові

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.04 ТВ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ковтун С.В.			ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ФОРМ НА АВТОМАТИЧНИХ ФОРМУВАЛЬНИХ ЛІНІЯХ	Літ.	Арк.	Акруїів
Перевір.		Сайтгареев Л.Н.					1	8
Н. Контр.		Сайтгареев Л.Н.				МТ-23-2-ск		
Затверд.		Бабошко Д.Ю.						

форми тощо).

4.1. Автоматичні формувальні лінії для виготовлення виливків формах із хімічно твердіючих сумішей

Автоматичні формувальні лінії для виготовлення виливків у формах з ХТС у більшості випадків призначені для безпідставного формування, оскільки міцність таких сумішей достатня для отримання виливків навіть середньої та великої маси. У цьому випадку технологічний принцип способу дозволяє максимально наблизити розмір форми до конфігурації та розмірів виливка, що, у свою чергу, забезпечує мінімальну витрату відносно дорогих формувальних та стрижневих сумішей. Крім того, застосування на даних АФЛ невентильованого модельно-жакетного оснащення з полімерних матеріалів і деревини, а також відсутність необхідності уніфікації оснащення створюють унікальну можливість застосування ліній в умовах гнучкого багатомономенклатурного виробництва.

Всі АФЛ для виготовлення виливків у формах з ХТС поділяють на два типи, що відрізняються конструктивним принципом організації формувальної ділянки:

- лінії з формувальною ділянкою на базі двох паралельних палетних або візкових гілок з передавальною візком;
- лінії з формувальною ділянкою на базі карусельної установки. У всіх випадках базовий принцип формування передбачає застосування використання супутнього обладнання, коли модельно-жакетний комплект супроводжує форму до її повного затвердіння, а на ділянці формування лінії одночасно працює кілька модельно-жакетних комплектів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.04 ТВ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Лист		

Прикладом *АФЛ з формувальною ділянкою на базі паралельних транспортних гілок* є лінії «Fast Loop» італійської компанії IMF (рис. 4.1).

Формовочні лінії випускаються в широкому асортименті, починаючи від систем, що керуються вручну або напівавтоматично, до повністю автоматизованих ліній. Ступінь автоматизації як лінії в цілому, так і окремих її компонентів може змінюватися залежно від вимог виробництва. Усе обладнання має надійну систему керування, яка здійснює автоматичний контроль за всіма виробничими процесами за допомогою персонального комп'ютера (ПК). Додаткова установка діагностичного обладнання дозволяє здійснювати постійний контроль за функціонуванням окремих вузлів системи.

Структурно лінія поділяється на кілька блоків обладнання за функціональним призначенням.

Формувальний блок АФЛ включає в себе три основні ділянки: ділянку підготовки форм, ділянку формування та ділянку протягування форм. Ці ділянки пов'язані транспортною системою, кожен відрізок якої працює автономно, переміщуючи форми на вільну ділянку для наступної операції. Система має можливість одночасно проводити операції з 6–8 формами різних конфігурацій.

Блок підготовки та комплектації форм оснащений додатковим обладнанням для фарбування, сушіння, комплектації та складання форм.

Блок обладнання для заливки, охолодження та вибивання форм представлений трьома конвеєрами для заливки та охолодження з передавальними візками, а також установкою для вибивання. До складу АФЛ також входить комплекс обладнання для регенерації відпрацьованої суміші.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.04 ТВ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ док.им.	Підпис.	Лист		

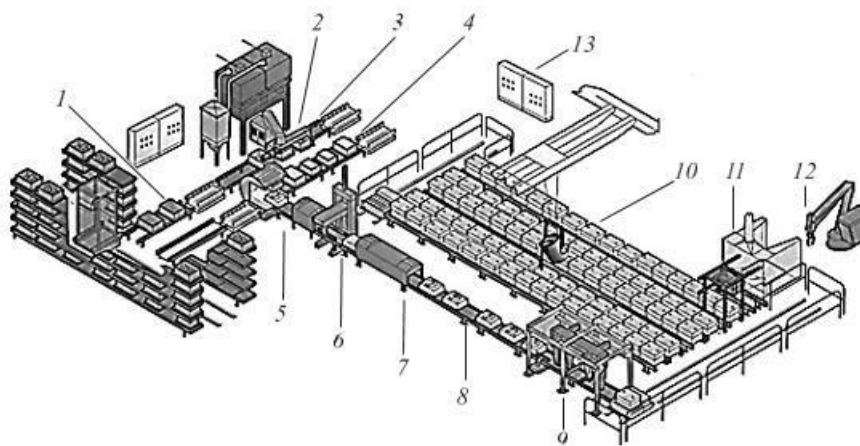


Рисунок. 4.1 - Компонування ливарної дільниці з використанням обладнання «Fast Loop»:

1 – склад моделей; 2 – наповнення жакету моделі ХТС, ущільнення; 3 – очищення від надлишків ХТС; 4 – витримка для затвердіння ХТС; 5 – видалення моделі; 6 – фарбування форми; 7 – підсушування пофарбованих форм у прохідних камерах інфрачервоного нагріву; 8 – встановлення стрижнів; 9 – накриття півформою верху; 10 – ділянка заливки форм металом; 11 – вибивання форм; 12 – маніпулятор для видалення виливків з вибивання; 13 – щити електроуправління.

Безопорне формувальне обладнання АФЛ «Fast Loop» (рис. 4.9) сконструйовано для форм розмірами від 800×800×100/100 мм до 1800×3400×680/680 мм. Залежно від розмірів форми, а також від типів використовуваного технологічного обладнання продуктивність формувальних комплексів становить від 8 до 30 безопорних форм на годину. Виготовлення форм здійснюється у технологічній послідовності, представлений далі.

1. *Зміна моделі.* Ділянка, на якій відбуваються зміна моделей і підготовка модельножакетного оснащення до формування, як правило, підключена до автоматичного складу моделей 1. Операція зі зміни моделі відбувається протягом одного тактового циклу, керованого за допомогою ПК.

2. *Заповнення форми.* Продуктивність шнекових змішувачів, що застосовуються для заповнення форми, становить, як правило, від 6 до 60 т/год.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.04 ТВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис.	Лист		4

Вони оснащені одним або двома рукавами, які приводяться в рух за допомогою сервомоторів, заповнення форми здійснюється на ділянці

3. *Ущільнення суміші та видалення надлишків.* Після заповнення форми піщаносмоляною формувальною сумішшю відбувається ущільнення суміші на працюючому вібраційному столі, що поєднує функцію роликового транспортера. Надлишки суміші видаляються автоматично за допомогою спеціального пристрою – ножа – на ділянці

4. *Затвердіння суміші.* Зона затвердіння формувальної суміші 4 складається з декількох ділянок роликового транспортера, що приводяться в дію окремо за допомогою індивідуальних приводів і варіюються залежно від продуктивності та застосовуваних процесів. Завдяки наявності прискорювачів і уповільнювачів, встановлених на кожній ділянці роликового транспортера, транспортування відбувається плавно і м'яко.

5. *Відокремлення форми від моделі.* Барабанний перевертач утримує заповнену сумішшю модельно-жакетну оснастку між фіксуючим жакетним столом і притискним стрічковим транспортером на ділянці 5. Після повороту на 180° під дією вібрації проводиться протягування напівформи, і половина затверділої ливарної форми опиняється на стрічковому транспортері, за допомогою якого вона направляється на ділянку фарбування протипригарною фарбою. Модельно-жакетна оснастка після повторного повороту на 180° повертається на ділянку заповнення або в зону зміни моделей.

6. *Фарбування напівформ.* Напівформи фарбуються за допомогою маніпуляторів. Вони встановлюють форму в оптимальне положення для конкретного процесу її фарбування (або обливанням, або фарбопультотом) з урахуванням ергономіки.

7. *Підсушування пофарбованих частин форми.* Поверхнєве сушіння форм здійснюється, як правило, у прохідних камерах інфрачервоного нагрівання 7. За необхідності можливе встановлення сушильного пристрою для попереднього підігріву поверхні форм перед фарбуванням, що забезпечує прискорене затвердіння форми.

		8.			КНУ.РБ.136.26.112с-05.04 ТВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.им.	Підпис.	Лист		5

9. *Збірка форм* здійснюється в напівавтоматичному та автоматичному режимах. У першому випадку використовуються маніпулятори, закріплені на сервісному крані, у другому – нерухомі маніпуляційні станції. Якщо час циклу дозволяє, то форми з уже вкладеними стрижнями збираються за допомогою повністю автоматизованих пристроїв. Обладнання самостійно виконує всі необхідні операції без втручання оператора незалежно від типу форми.

10. *Заливка форм.* Встановлені на розливній платформі форми транспортуються за допомогою спеціальних транспортних пристроїв у зону заливки їх металом 10. Заливка може здійснюватися заливними ковшами всіх типів, а також автоматичними заливними пристроями.

11. *Вибивання охолоджених форм.* Після охолодження форми з виливками потрапляють на вібраційну установку, оснащену вибивною решіткою або прохідним охолоджувальним барабаном. Після відділення від виливки пісок направляється на ділянку регенерації, а потім використовується повторно.

Автоматичні формувальні лінії з формувальним відділенням на базі карусельної установки (рис. 4.2, 4.3) комплектуються відповідними вузлами та механізмами.

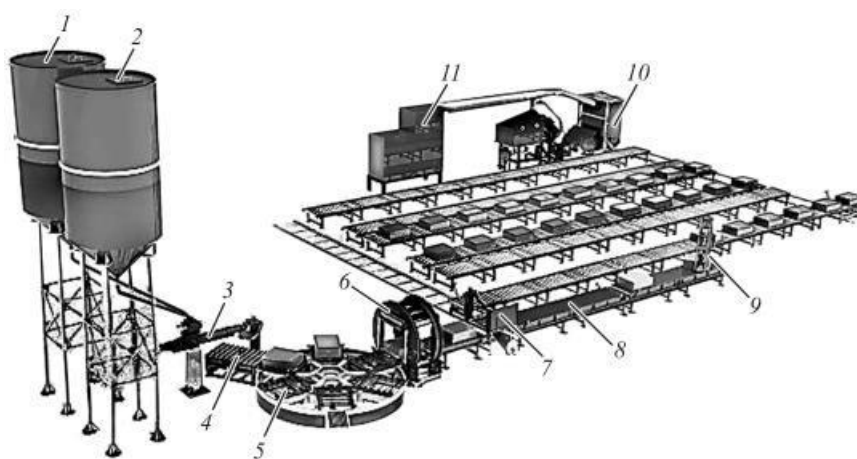


Рисунок 4.2 Автоматична лінія з виготовлення форм з ХТС компанії «ОМЕГА»:

1 – бункер регенованого піску; 2 – бункер свіжого піску; 3 – лопатевий змішувач; 4 – вібростіл; 5 – карусельна установка; 6 – перевертач з функцією протягування; 7 – збирач форм; 8 – транспортуюча гілка; 9 – маніпулятор-перестановник; 10 – установка вибивання та механізованої регенерації піску; 11 – установка знепилення та охолодження регенованого піску.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.04 ТВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.им.	Підпис.	Лист		6

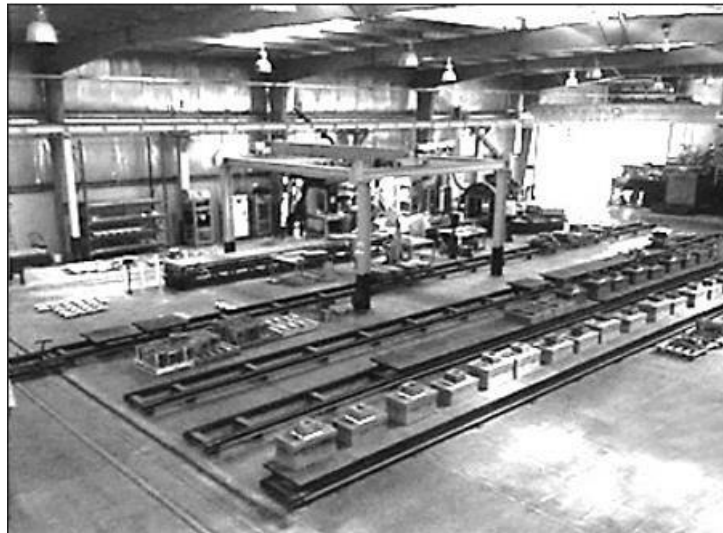


Рисунок 4.3 - Загальний вигляд автоматичної формувальної лінії для виготовлення форм із ХТС компанії «OMEGA»

У їхній структурі також виділяють п'ять функціональних блоків обладнання: *формувального, підготовчо-складального, заливально-охолоджувального, вибивного та обладнання для регенерації*. Робота обладнання здійснюється за тим самим принципом, що й на АФЛ «Fast Loop». Основною конструктивною відмінністю подібних ліній є організація автоматичного формування на установці карусельного типу. У ній модельно- жакетне оснащення за допомогою системи штовхачів по черзі подається на заповнення, віброущільнення, а після зміцнення – на протягування та підготовку для повторного використання.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05.04 ТВ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Лист		

ВИСНОВКИ

Проектований цех відноситься до чавуно-ливарних цехів серійного типу виробництва і входить до складу підприємства загального машинобудування. Потужність цеху 25 тис. тонн придатних виливків на рік. Відповідно до виробничої програми було обрано і розраховано обладнання, за допомогою якого можна досягти заданої продуктивності цеху. Виробнича програма цеху є основним документом при проектуванні цехів.

Представлена бакалаврська робота базується на принципах комплексної автоматизації та впровадження прогресивних технологічних рішень. Інтеграція сучасного обладнання дозволяє трансформувати традиційне ливарне виробництво у високотехнологічну систему, забезпечуючи синергетичний ефект у кількох напрямках: підвищення геометричної прецизійності виливків, радикальне скорочення частки ручної праці та оптимізація енергоспоживання.

Техніко-економічна та соціальна ефективність проекту:

Оптимізація ресурсів: Використання автоматизованих ліній у поєднанні з технологією лиття в сирі піщані форми мінімізує питомі витрати металу та електроенергії. Важливим елементом економічної стійкості є зациклення виробничого процесу через широке використання повернення власного виробництва (рециклінг брухту та ливникових систем).

Ергономіка та гуманізація праці: Автоматизація критичних вузлів (формування, проставлення стрижнів, заливання) не лише підвищує продуктивність, а й докорінно покращує санітарно-гігієнічні умови. Зниження трудомісткості операцій дозволяє оптимізувати фонд заробітної плати та нівелювати вплив людського фактора на якість продукції.

Екологічний аспект: Впровадження стрижневих автоматів, що працюють за сучасними ХТС-процесами, у поєднанні з герметичними системами

					КНУ.РБ.136.26.112с-05 В			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ковтун С.В.			ВИСНОВКИ	Літ.	Арк.	Акруїів
Перевір.		Сайтгарєєв Л.Н.					1	2
Н. Контр.		Сайтгарєєв Л.Н.				МТ-23-2-ск		
Затверд.		Бабошко Д.Ю.						

змішування дозволяє мінімізувати емісію шкідливих речовин та знизити антропогенне навантаження на навколишнє середовище.

Стратегічний вектор розвитку: Незважаючи на високу проектну ефективність, сучасне ливарне підприємство вимагає безперервного вдосконалення. Складні умови праці, характерні для ливарних цехів, диктують необхідність подальшої роботизації — особливо на операціях фінішної обробки, зачищення та внутрішньоцехової логістики. Модернізація парку обладнання та впровадження інтелектуальних систем управління є безальтернативним шляхом до досягнення глобальної конкурентоспроможності.

Проектування цеху з використанням автоматичних формувальних ліній та стрижневих автоматів нового покоління є технічно обґрунтованим, економічно рентабельним та відповідає актуальним вимогам промислової безпеки та екологічного менеджменту.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05 В	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дат		

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.
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.
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.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05 СВД			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Ковтун С.В.				СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Сайтгареев Л.Н.					1	2	
Н. Контр.	Сайтгареев Л.Н.				МТ-23-2-ск			
Затверд.	Бабошко Д.Ю.							

- 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. . Виробництво чавуну для виливків [Текст] : навч. посіб. / О. М. Смірнов, В. Л. Жук, А. І. Туяхов. - Донецьк : Норд-Прес, 2010. - 255 с.
- 14.Сплави на основі заліза :підручник для студентів вищих навчальних закладів : у 2 томах /В.І. Мазур, І.З. Куцова, О.А. Носко, М.А. Ковзель; за загальною редакцією В.І. Мазура; , Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". - Київ: Політехніка, 2015. – 272 с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-05 СВД	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ док.им.	Підпис	Дат		