

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

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

на тему: Розробка проекту сталеливарного цеху продуктивністю 34000
тонн виливків на рік з розвісом лиття до 250 кг

Виконав:

студент групи МТ-22-1

Керівник випускної роботи

Нормоконтролер

Т.в.о. завідувача кафедри

Ярослав Денисенко

Дар'я Кассім

Дар'я Кассім

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

ДЕНИСЕНКО ЯРОСЛАВ ДЕНИСОВИЧ

Тема роботи: Розробка проекту сталеливарного цеху продуктивністю 34000 тонн виливків на рік з розвісом лиття до 250 кг

керівник роботи: д.т.н., професор Дар'я Кассім

затверджено наказом по КНУ від « 19 » 02 _____ 2026 р. № 113с

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

_____ Ярослав ДЕНИСЕНКО

Керівник випускної

кваліфікаційної роботи

_____ Дар'я КАССІМ

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота складається з 62 аркушів формату А4 машинописного тексту, 28 малюнків, 10 таблиць, „джерел літератури,

У дипломному проєкті розроблено ливарний цех з виготовлення виливків зі сталі з продуктивністю 34000 тонн.

У проєктній частині запропоновано технологію виготовлення виливки «Корпус» із застосуванням холоднотвердіючих сумішей для виготовлення форми та стрижнів.

Проведено розрахунок основного технологічного обладнання для виробництва виливків, а також надано опис основних етапів виробництва виливків.

Ключові слова: ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО, ХОЛОДНОТВЕРДІЮЧІ СУМІШІ, ALPHA-SET ПРОЦЕС, BETA-SET, СТАЛІ ВІЛИВКИ, ЛИВАРНИЙ ЦЕХ, ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ, ВІЛИВОК «КОРПУС»

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.Р		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Денисенко Я.Д.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кассім Д.О.				1	1
Н. Контр.		Кассім Д.О.			МТ-22-1		
Затверд.		Бабошко Д.Ю.					

ЗМІСТ

ВСТУП

1 . ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ

- 1.1 Аналіз технологічності виливки
- 1.2 Вибір способу виготовлення виливки
- 1.3 Вибір положення виливка у формі
- 1.4 Визначення поверхні роз'єму форми
- 1.5 Визначення припусків на механічну обробку
- 1.6 Визначення формових нахилів
- 1.7 Визначення ливарної усадки
- 1.8 Визначення кількості та конструкції стрижнів
- 1.9 Розробка конструкції та розрахунок притоків і охолоджувачів
- 1.10 Розробка конструкції та розрахунок ливарної системи
- 1.11 Визначення габаритів опок
- 1.12 Вибір модельного комплекту
- 1.13 Вибір складу формувальних сумішей
- 1.14 Вибір складу стрижневих сумішей
- 1.15 Вибір складу антипригарних фарб
- 1.16 Розробка технології складання та заливки форм
- 1.17 Розробка технології обрубки, очищення та фарбування виливків

2 . ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

- 2.1 Проектно-технологічні рішення
 - 2.1.1 Структура ливарного цеху
 - 2.1.2 Режим роботи та фонди часу
- 2.2 Плавильне відділення
 - 2.2.1 Складання балансу металу

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.3			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докуам.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ЗМІСТ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Денисенко Я.Д.</i>					<i>1</i>	<i>2</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кассім Д.О.</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кассім Д.О.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Бабошко Д.Ю.</i>						
						МТ-22-1		

2.2.2 Розрахунок шихти та складання відомості

витрат шихтових матеріалів

2.2.3 Вибір та розрахунок обладнання плавильного відділення

2.2.4 Розрахунок потреби ковшів

2.3 Формовочно-заливочно-вибивне відділення

2.3.1 Технологія виготовлення форм

2.3.2 Вибір обладнання для ділянки формування

2.3.3 Визначення кількості автоматичних ліній

2.4 Відділення стрижнів

2.5 Відділення приготування сумішей

2.6 Відділення регенерації суміші

2.7 Відділення термообробки

3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА, ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ХОЛОДНОТВЕРДІЮЧИХ СУМІШЕЙ ПРОЦЕСУ Alpha-set ТА Beta-set
ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ СТАЛЕВИХ ВИЛИВКІВ «КОРПУС»

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

ВСТУП

Ливарне виробництво є енергоємним і матеріалоємним виробництвом. Для виробництва 1 тонни виливків потрібна переплавка 1,1...1,7 тонн металевих матеріалів, феросплавів і флюсів, переробка і підготовка 3...5 тонн піску, 3...4 кг сполучних матеріалів і фарб. Енерговитрати становлять 30...50% у собівартості лиття, вартість матеріалів — 30...35%. У сучасних умовах окремим галузям притаманні нерівномірні темпи розвитку. Питома частка виробництва та використання литих заготовок галузей у загальному обсязі виробництва машинобудівного комплексу становить:

- автомобільна та тракторна – 60%;
- електротехнічна – 6%;
- важке та енергетичне машинобудування – 8%;
- хімічне та нафтове машинобудування – 12%;
- дорожнє та комунальне машинобудування – 10%;
- верстатобудування та приладобудування – 2%;
- інші галузі – 2%.

Обсяги виробництва литих заготовок залежать від випуску машинобудівної продукції, оскільки частка литих деталей із чорних і кольорових сплавів у машинах (автомобілях, тракторах, комбайнах, літаках, танках тощо) становить 40...50%, а в металообробних верстатах і ковальсько-пресовому обладнанні до 70% за масою і до 20% від вартості машин. В даний час, як правило, ливарні цехи знаходяться в структурі машинобудівних підприємств і виробляють виливки для власних потреб.

Одним з основних напрямків розвитку ливарного виробництва є реконструкція ливарних цехів і заводів на базі нових технологічних процесів та матеріалів, перспективного обладнання. Основна мета реконструкції є

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.В			
Змн.	Арк.	№ докуам.	Підпис	Дата				
Розроб.		Денисенко Я.Д.			ВСТУП	Літ.	Арк.	Акруїів
Перевір.		Кассім Д.О.					1	2
Н. Контр.		Кассім Д.О.			МТ-22-1			
Затверд.		Бабошко Д.Ю.						

розширення обсягів виробництва, підвищення якості продукції, що відповідає сучасним вимогам замовника, поліпшення екологічної ситуації та умов праці. При проведенні реконструкції, потрібно глибоке вивчення ринку збуту продукції, аналіз сучасних технологічних процесів, обладнання та матеріалів, розробка оптимального технологічного планування та розміщення обладнання, розробка робочого проекту. Для технологічного та робочого проектування потрібні кваліфіковані фахівці. На жаль, сьогодні обмежена кількість організацій, здатних повністю взяти на себе технологічне та робоче проектування цеху або дільниці. Тому створюються творчі групи фахівців та організації, що виконують роботи такого роду.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.В	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

1. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА

1.1 Аналіз технологічності виливка

Виготовлення виливки із заданими лінійними розмірами, конфігурацією, фізико-механічними властивостями (міцність, твердість, щільність, структура тощо), шорсткістю поверхні та іншими вимогами може здійснюватися різними методами.

Аналіз креслення деталі «Корпус» показує, що її конструкція є достатньо технологічною для виготовлення методом лиття. Деталь не має різких переходів товщини стінок, мінімальна товщина – 14 мм, габаритні розміри деталі 706x702x386 мм. Отвори діаметром 25 мм і менше литтям не виготовляємо, мінімальні ливарні радіуси 8 мм.

При проектуванні технології виливок необхідно забезпечити отримання щільного металу без усадочних і газових порожнин на поверхні.

Конфігурація внутрішніх порожнин, отворів, оброблюваних поверхонь і розташування баз механічної обробки відповідають вимогам технології ливарного виробництва в одноразові піщані форми. На рисунку 1.1 наведено 3D-модель виливки «Корпус».

Технічні вимоги [1]:

- незазначені ливарні ухили не більше 2 мм [2];
- незазначені ливарні радіуси не більше 8 мм;
- незазначена товщина стінок — 14 мм;
- точність виливки 11-8-9-11т [3];
- незазначені граничні відхилення розмірів механічно оброблюваних поверхонь отворів за Н14, валів h14;

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ			
Змн.	Арк.	№ докуам.	Підпис	Дата				
Розроб.		Денисенко Я.Д.			ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кассім Д.О.					1	30
Н. Контр.		Кассім Д.О.				МТ-22-1		
Затверд.		Бабошко Д.Ю.						

– на необроблюваних поверхнях допускаються раковини глибиною до 2 мм, за найбільшим виміром 5 мм, у кількості до 10 штук на деталь без групового розташування; ливарна усадка - 2%.

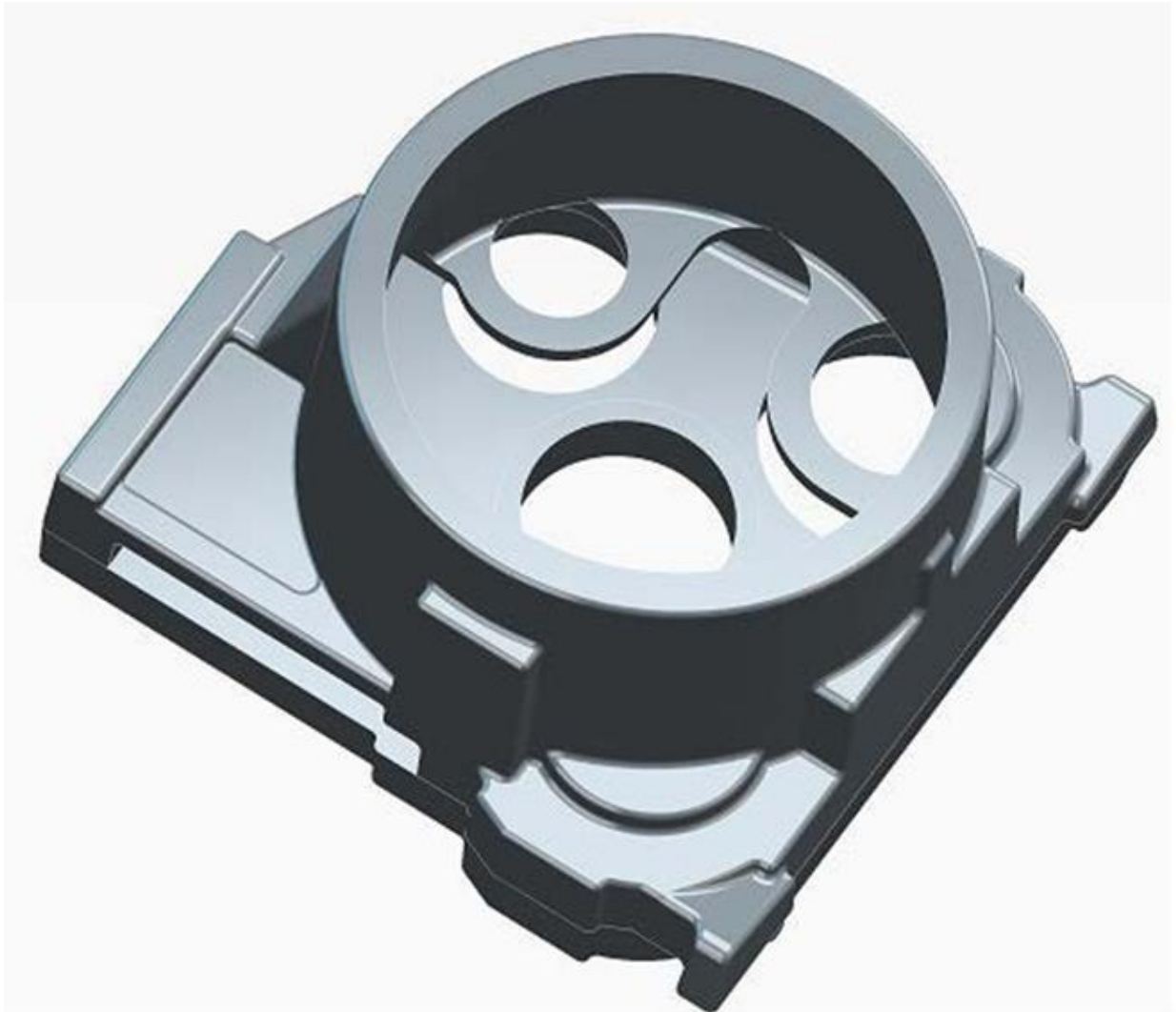


Рисунок 1.1 – 3D-модель виливки «Корпус»

1.2 Вибір способу виготовлення виливка

Вибір найбільш ефективного способу виготовлення визначається на основі комплексного аналізу технічної, організаційної та економічної доцільності.

Показниками, що характеризують прогресивність технологічного процесу, є: коефіцієнт виходу придатної продукції; продуктивність обладнання та праці робітників; вартість і термін служби оснащення;

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

капітальні витрати на впровадження технологічного процесу; собівартість виливків та деталей; термін окупності капітальних вкладень.

Вибір способу виготовлення виливків залежить від ряду факторів (серійності випуску, конструкції виливка, виду металу, вимог до готової деталі тощо). Для виробництва даного виливка застосовується одноразова піщана форма на основі ХТС (процес Alpha-set) та стрижні (процес β -set).

У виробництві виливків використання холоднотвердіючих сумішей дозволяє різко скоротити технологічний цикл за рахунок об'ємного або поверхневого сушіння форм, підвищити продуктивність праці, знизити вартість обладнання шляхом заміни комбінованих способів ущільнення (струшування або вібрації з пресуванням) на віброущільнення. Виготовлення форм з ХТС спрощує застосування сучасних методів управління процесом формування властивостей виливків, які при використанні звичайних формувальних сумішей викликають великі труднощі.

Технологія виготовлення стрижнів із холоднотвердіючих сумішей має низку переваг: дозволяє виготовляти стрижні великої складності, підвищується точність стрижнів і виливків, міцність стрижнів під час зберігання не знижується, вони мають хорошу податливість і вибиваність, процес виготовлення стрижнів та їхнього встановлення у форму може бути повністю автоматизований. При цьому досягається значний економічний ефект даної технології, який виражається в істотній економії витрат у ливарному виробництві за рахунок зниження витрати енергоносіїв, браку форм і стрижнів, підвищення продуктивності обладнання.

1.3 Вибір положення виливка у формі

Конструювання ливарної форми починається з вибору положення виливка у формі під час заливки та з визначення площини роз'єму форми. Воно включає в себе також обґрунтування конструкції та розмірів усіх елементів форми, розгляд питань конструювання ливарного оснащення (моделей, стрижневих

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ящиків, опок тощо), які вирішуються після вибору технології виготовлення форм і стрижнів.

При виборі положення виливка у формі під час заливки необхідно забезпечити дотримання низки умов, що дозволяють отримувати якісну виливку при мінімальних витратах на її виготовлення.

Положення виливка у формі під час заливки та затвердіння визначає весь технологічний процес.

У даному випадку виливок повинен розташовуватися у формі горизонтально. У цьому випадку забезпечується виконання таких умов:

- направлене затвердіння та живлення всіх елементів виливка;
- найпростіше оформлення ливарної системи (система забезпечує підведення сплаву до порожнини форми найкоротшим шляхом);
- відведення газів із стрижнів у верхній частині (через верхні знакові частини);
- отримання форми з мінімальною кількістю стрижнів;
- надійне кріплення стрижнів.

1.4 Визначення поверхні роз'єму форми

Роз'єм форми необхідний для вилучення моделі, складання форми та видалення отриманих виливків. Від обраного роз'єму залежить трудомісткість виготовлення модельного оснащення та ливарної форми, трудомісткість обрубних операцій і точність розмірів виливка.

При виготовленні даного виливка піщана форма має одну поверхню роз'єму. Виливок в даному випадку розташовується в обох півформах. Обраний роз'єм забезпечує наступні технологічні рішення:

- мінімальну кількість роз'ємів, що забезпечують зручність
- формування, виймання моделі з форм, складання форм;
- вільне виймання моделі з форми;

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

- проста конструкція моделі без знімних частин;
- поверхня роз'єму є площиною;
- фіксація стрижнів у нижній півформі.

1.5 Визначення припусків на механічну обробку

З метою досягнення розмірів, визначених кресленням, та необхідної якості поверхні на оброблюваних поверхнях призначають припуски на механічну обробку. Величини припусків визначають залежно від класу точності вилівка, її номінальних і габаритних розмірів, положення під час заливки, способу лиття та виду сплаву.

Надоли для механічної обробки для виливків із чорних і кольорових металів та сплавів призначаються згідно з [3].

Точність вилівка 11-8-9-11т за [3]:

11 – клас розмірної точності;

8 – ступінь викривлення;

9 – ступінь точності поверхні;

11т – клас точності маси.

Отвори, канавки та пази малого розміру, для яких за кресленням деталі передбачена механічна обробка, у виливках не виконуються.

Величини припусків наведені на кресленні деталі з елементами ливарної форми.

1.6 Визначення формувальних ухилів

Для легкого виймання моделі з форми, на її робочій поверхні задаються формувальні ухили.

Величини цих ухилів призначаються за [2].

Формовочні ухили для даного вилівка призначаються в бік збільшення і становлять $0^{\circ}30'$.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.7 Визначення ливарної усадки

Процес формування структури в реальних виливках залежить від багатьох факторів, які визначаються властивостями кожного конкретного сплаву, форми і конструкції вилівка. На затвердіння впливають теплофізичні властивості сплаву і форми, температура заливки сплаву і форми перед заливкою, металоемність форми і середня товщина стінки вилівка та інші фактори.

Під усадочними процесами розуміють сукупність явищ зменшення розмірів і об'єму металу, залитого у форму, під час його затвердіння та охолодження.

Усадочні процеси у виливках викликані зміною об'єму рідкого, затверділого та твердого металу, що зумовлює утворення усадочних порожнин, зміну зовнішніх розмірів, розвиток деформацій і залишкових напружень, появу тріщин.

Ливарна усадка для даного вилівка становить 2%.

1.8 Визначення кількості та конструкції стрижнів

Для оформлення внутрішніх і зовнішніх поверхонь вилівка застосовують піщані стрижні. Конструкція стрижня повинна забезпечувати зручне його виготовлення, транспортування та встановлення у форму. Стрижень повинен займати у формі точно фіксоване положення, не деформуючись під дією власної маси та під дією рідкого металу. Разом з тим має бути забезпечене легке його вилучення з вилівка.

Конструкції стрижнів визначаються кресленням вилівка, конструкція і розміри знаків стрижнів, величини зазорів між знаками форм і стрижнів, конструктивне оформлення і розміри фіксаторів на знаках виконуються відповідно до [2]. Для виготовлення даного вилівка необхідні дванадцять стрижнів.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стрижень №1 займає горизонтальне положення, габаритні розміри стрижня 555x535x310 мм.

Зазор між формою та знаком стрижня дорівнює $S_1 = 1$ мм для нижньої півформи. Висота нижнього знака становить 45 мм, нахил на знаку стрижня 20° . Ескіз стрижня №1 представлений на рисунку 1.2, 3D-модель стрижня №1 представлена на рисунку 1.3. Для виготовлення даного виливка потрібен один стрижень №1.

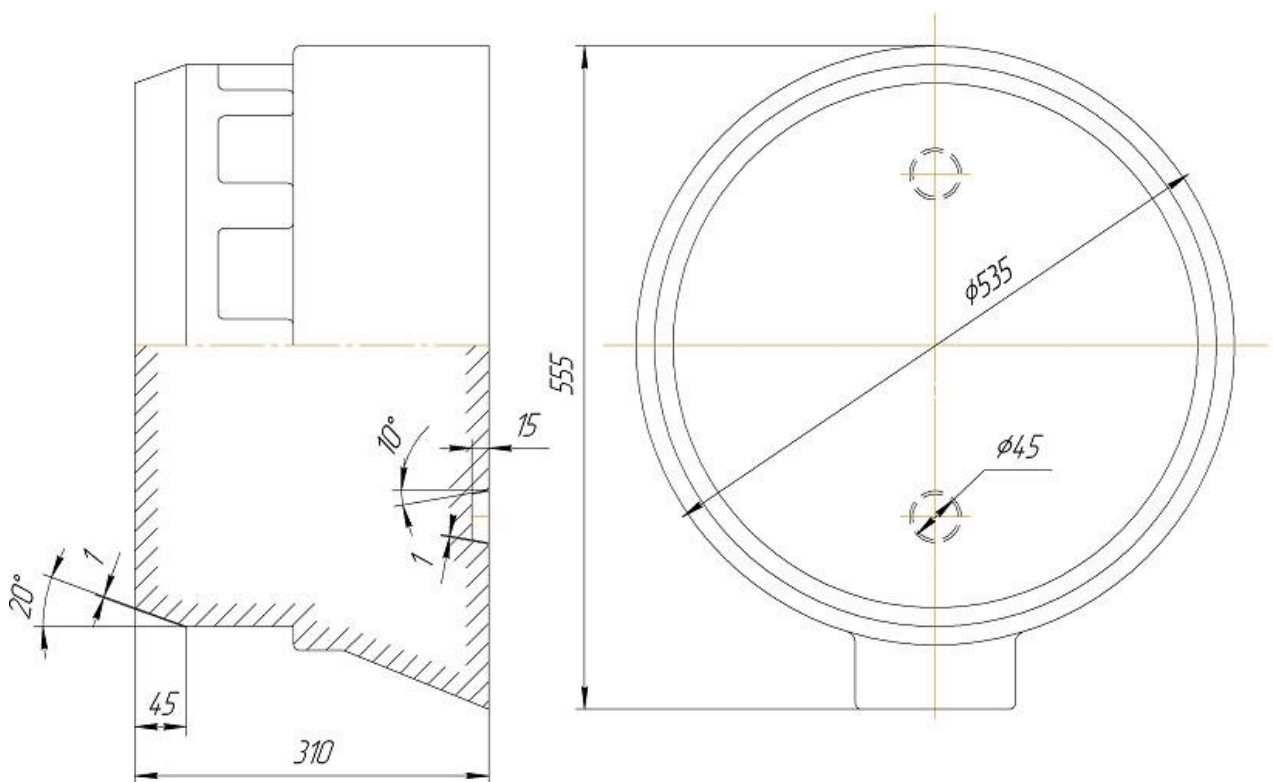


Рисунок 1.2 – Ескіз стрижня №1

Стрижень №2 займає горизонтальне положення, габаритні розміри стрижня 712x670x95 мм.

Зазор між стрижнем №1 і позначкою стрижня №2 дорівнює $S_1 = 1$ мм. Висота нижньої позначки становить 15 мм, нахил на позначці стрижня — 10° . Ескіз стрижня №2 представлений на рисунку 1.4, 3D-модель стрижня №2 представлена на рисунку 1.5. Для виготовлення даного виливка потрібен один стрижень №2.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Стрижень №3 займає вертикальне положення, габаритні розміри стрижня $\varnothing 198 \times 153$ мм. Зазор між стрижнем №3 і нижньою частиною стрижня №2 дорівнює $S_1 = 1$ мм. Висота нижньої частини становить 80 мм, нахил на нижній частині стрижня 5° . Зазор між формою і верхньою частиною стрижня №3 дорівнює $S_1 = 1$ мм. Висота верхнього знака становить 20 мм, нахил на знаку стрижня 10° . Ескіз стрижня №3 представлений на рисунку 1.6, 3D-модель стрижня №3 представлена на рисунку 1.7.

Для виготовлення даного вилівка потрібно два стрижні №3.

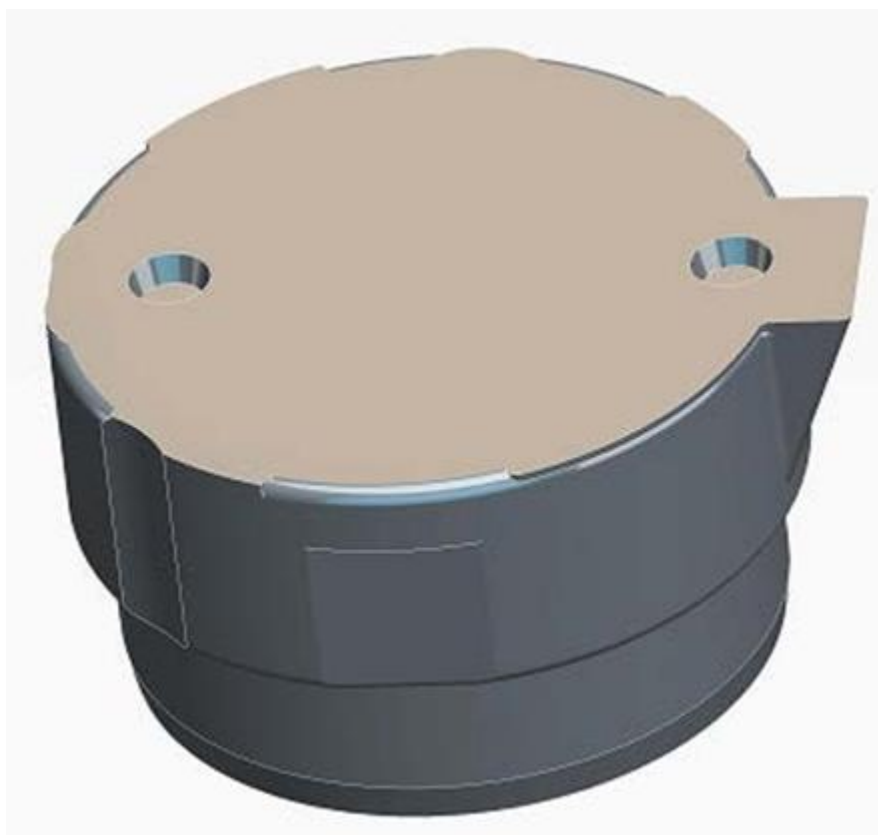


Рисунок 1.3 – 3D-модель стрижня №1

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

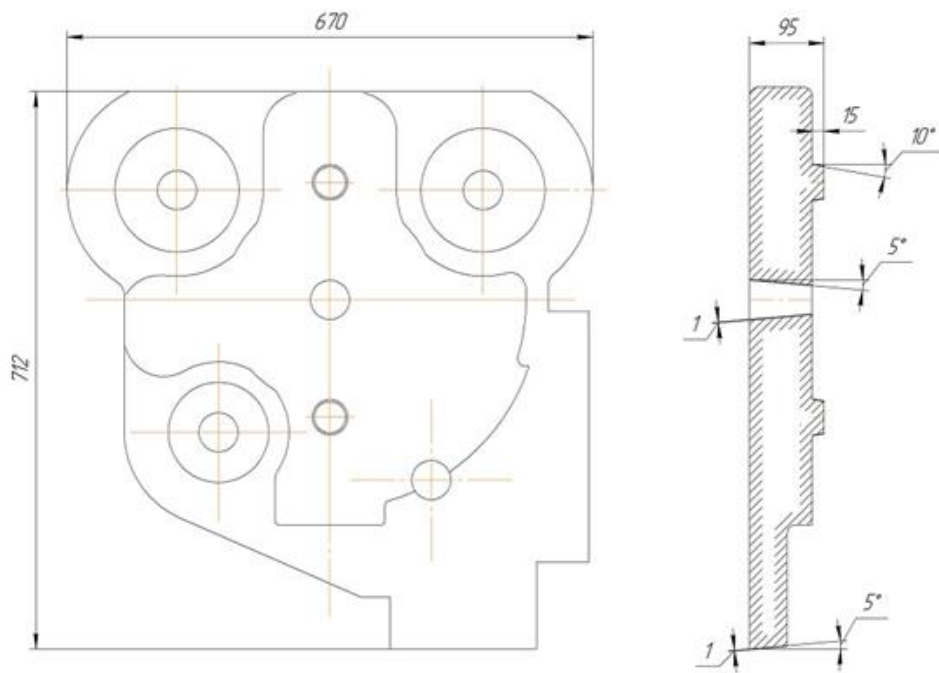


Рисунок 1.4 – Ескіз стрижня №2

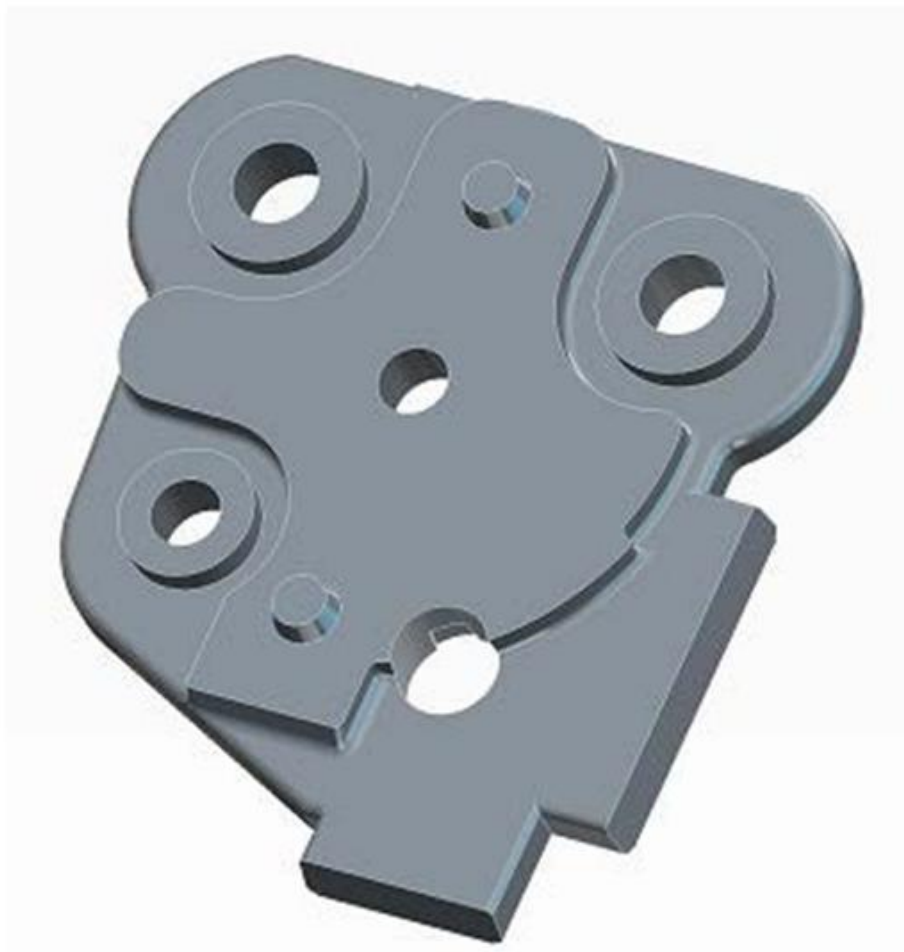


Рисунок 1.5 – 3D-модель стрижня №2

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ

Арк.

9

Стрижень №4 займає вертикальне положення, габаритні розміри стрижня $\varnothing 238 \times 153$ мм. Зазор між стрижнем №4 і знаком стрижня №2 дорівнює $S_1 = 1$ мм. Висота нижнього знака становить 80 мм, нахил на знаку стрижня 5° . Зазор між формою та верхнім знаком стрижня №4 дорівнює $S_1 = 1$ мм. Висота верхнього знака становить 20 мм, нахил на знаку стрижня 10° . Ескіз стрижня №4 представлений на рисунку 1.8, 3D-модель стрижня №4 представлена на рисунку 1.9. Для виготовлення даного виливка потрібно два стрижні №4.

Стрижень №5 розташований вертикально, його габаритні розміри становлять $\varnothing 178 \times 153$ мм. Зазор між стрижнем №5 і знаком стрижня №2 дорівнює $S_1 = 1$ мм. Висота нижнього знака становить 80 мм, нахил на знаку стрижня 5° . Зазор між формою і верхнім знаком стрижня №5 дорівнює $S_1 = 1$ мм. Висота верхнього знака становить 20 мм, нахил на знаку стрижня 10° . Ескіз стрижня №5

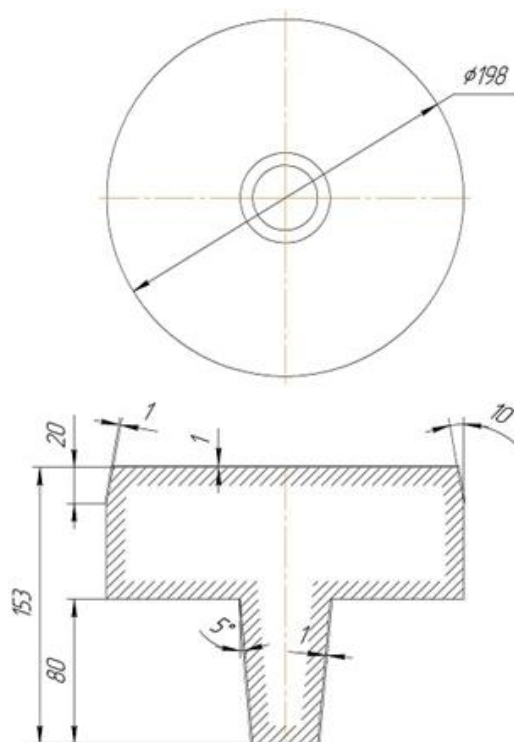


Рисунок 1.6 – Ескіз стрижня №3

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

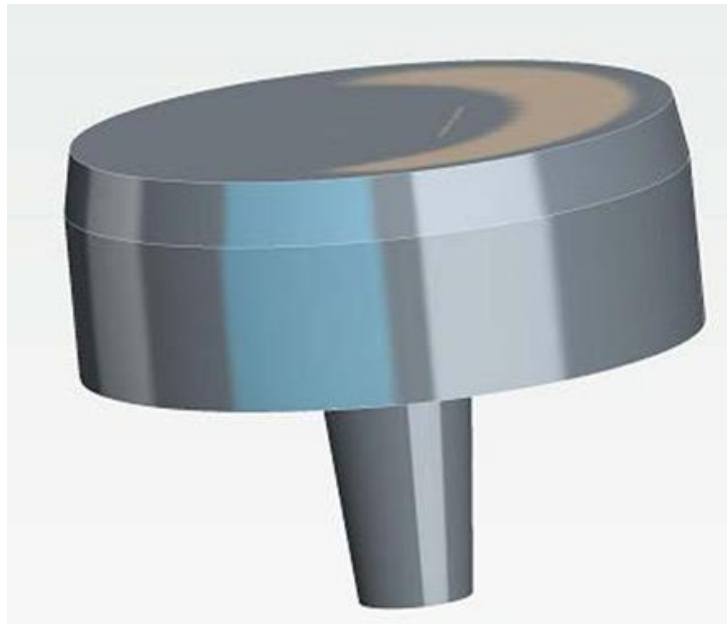


Рисунок 1.7 – 3D-модель стрижня №3

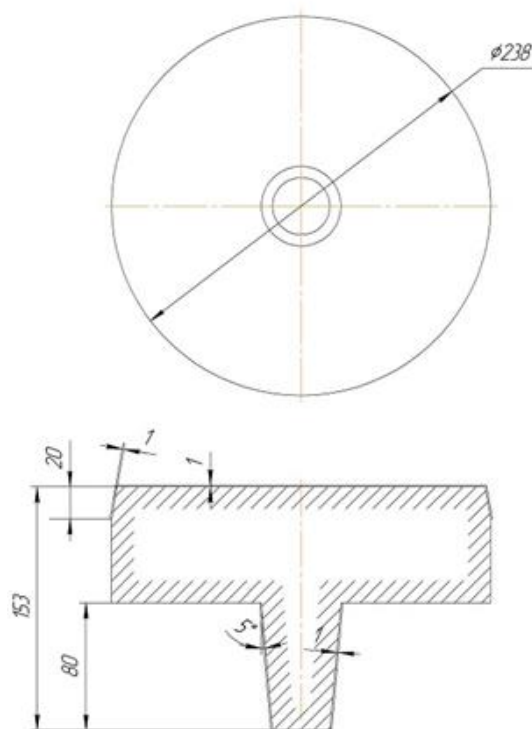


Рисунок 1.8 – Ескіз стрижня №4

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

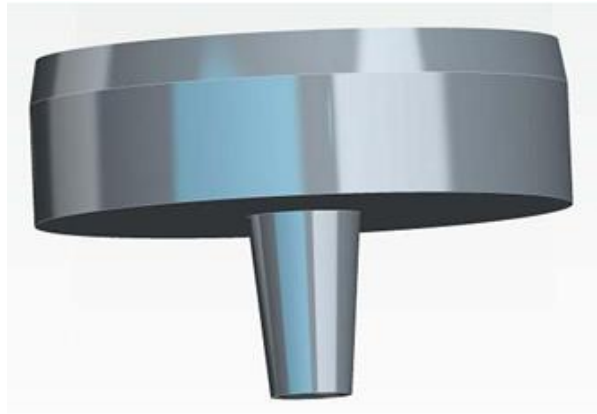


Рисунок 1.9 – 3D-модель стрижня №4

показано на рисунку 1.10, 3D-модель стрижня №5 показано на рисунку 1.11.

Для виготовлення даного виливка потрібен один стрижень №5.

Стрижень №6 займає горизонтальне положення, габаритні розміри стрижня 150x100x15 мм. Ухил на знаку стрижня 3°. Ескіз стрижня №6 представлено на рисунку 1.12, 3D-модель стрижня №6 представлено на рисунку 1.13.

Для виготовлення даного виливка потрібно два стрижні №6.

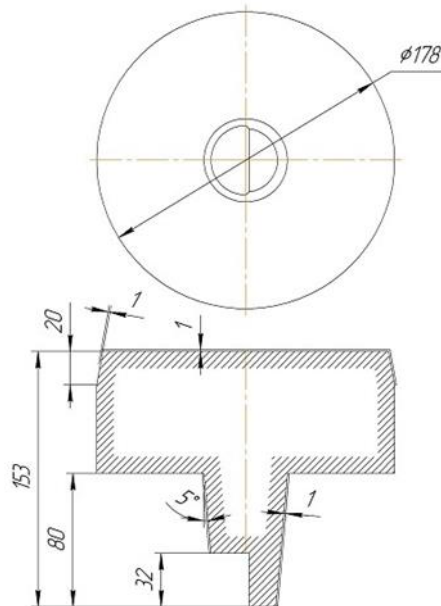


Рисунок 1.10 – Ескіз стрижня №5

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

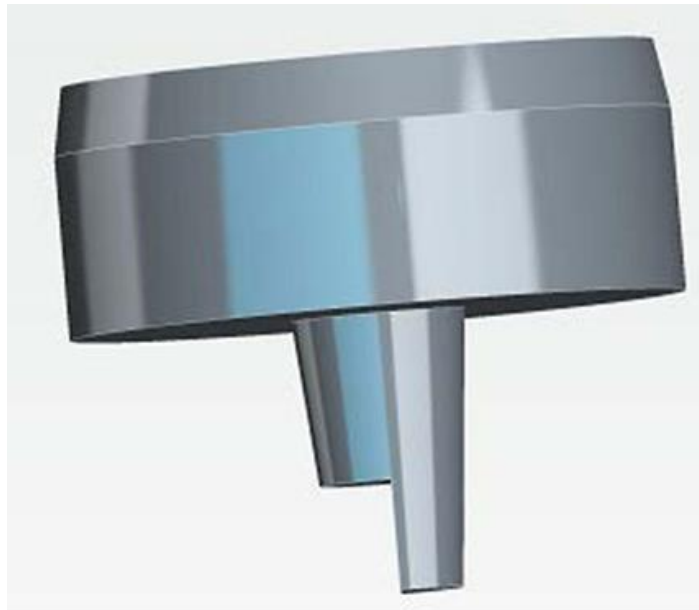


Рисунок 1.11 – 3D-модель стрижня №5

Стрижень №7 займає горизонтальне положення, габаритні розміри стрижня 90x72x15 мм. Нахил на знаку стрижня 3°. Ескіз стрижня №7 представлений на рисунку 1.14, 3D-модель стрижня №7 представлена на рисунку 1.15. Для виготовлення даного виливка потрібно два стрижні №7.

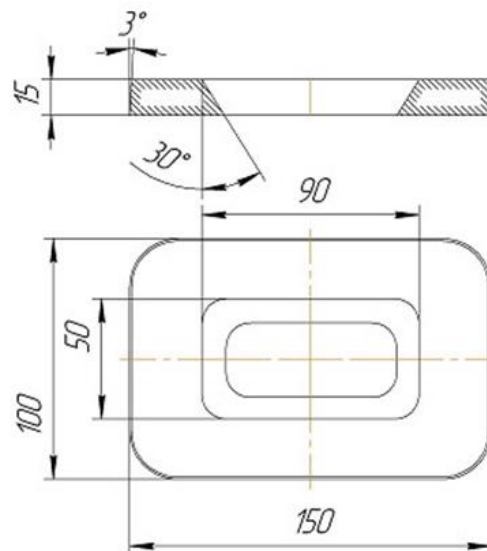


Рисунок 1.12 – Ескіз стрижня №6

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

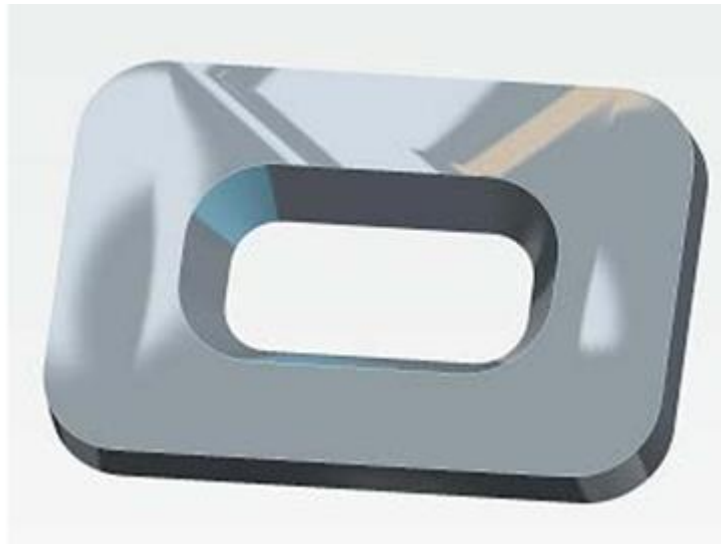


Рисунок 1.13 – 3D-модель стрижня №6

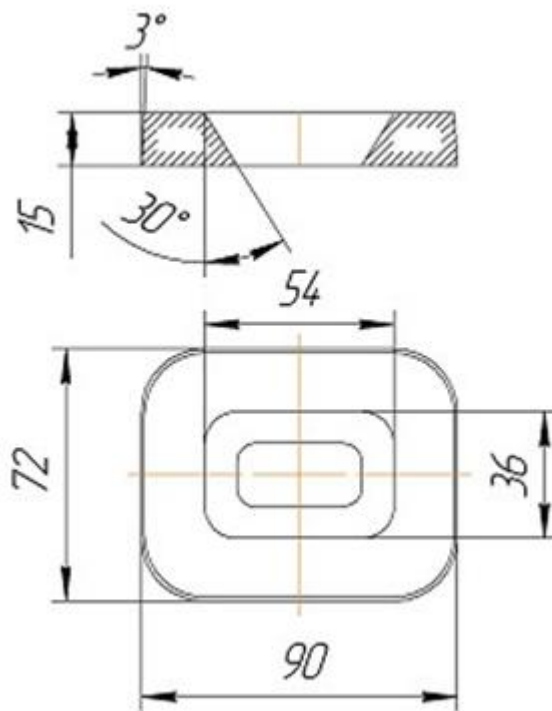


Рисунок 1.14 – Ескіз стрижня №7

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



Рисунок 1.15 – 3D-модель стрижня №7

1.9 Розробка конструкції та розрахунок припливів і холодильників

Наливи застосовуються для отримання виливка з щільною структурою металу, що характеризується відсутністю усадочних порожнин та усадочної пористості. Наливка утворює з виливком загальне лите тіло, у процесі затвердіння якого рідкий метал переходить з наливки у виливок і заповнює утворені в ньому усадочні порожнини. Процес компенсації об'ємної усадки виливка за рахунок рідкого металу, що надходить з наливки, називається живленням виливки. В результаті подачі виливка виходить щільною, а надлив з усадочною раковиною. Для подачі теплового вузла, розташованого внизу, застосовуються внутрішні холодильники. Об'єм внутрішніх холодильників визначимо за формулою[7]:

$$V_x = (V_v \cdot g) / (\rho_m \cdot C_m \cdot (t_c - t_0)) \quad (1.1)$$

де V_x – об'єм холодильника, m^3 ;

V_v – об'єм теплового вузла, m^3 ;

ρ – щільність розплаву, що заливається, kg/m^3 ;

C_m – питома теплота перегріву, kJ/m^3

t_c – температура солідусу, $^{\circ}C$

t_0 – початкова температура холодильника, $^{\circ}C$.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

$$V_x = \frac{0,006 \cdot 9,81}{7200 \cdot 5,01 \cdot 10^{-6} \cdot (1535 - 20)} = 0,0036, \text{ м}^3.$$

Для одного вилівка застосовується 24 холодильника

Визначимо обсяг прибутку за формулою [7]:

$$V_{\text{п}} = \beta E_v V_0 / (1 - \beta E_v), \quad (1.2)$$

де β – відношення обсягу прибутку до обсягу усадочної раковини, $\beta = 10$;

E_v – частина об'ємної усадки сплаву, що бере участь у формуванні усадочної порожнини, при виготовленні вилівоків зі сталі, $E_v = 0,045$;

V_0 – об'єм живильного вузла, м^3 .

Об'єм надлишку №1 визначимо за формулою 4.8:

$$V_{\text{п1}} = 0,045 \times 10 \times 0,002 / (1 - 0,045 \times 10) = 0,00163 \text{ м}^3$$

Обсяг прибутку №2 визначимо за формулою 4.8:

$$V_{\text{п2}} = 0,045 \times 10 \times 0,003 / (1 - 0,045 \times 10) = 0,00245 \text{ м}^3$$

Наближений технологічний вихід придатного (ТВГ) визначається за формулою [7]:

$$\text{ТВГ} = V_0 / [(1 - \varepsilon_v)(V_0 + V_{\text{п}})] \cdot 100 \quad (1.3)$$

де V_0 – об'єм вилівки,

$V_{\text{п}}$ – об'єм прибутку, м^3 .

$$\text{ТВГ} = 0,0212 / [(1 - 0,045)(0,0212 + 0,00676)] \cdot 100 = 79,4\%$$

Отриманий ТВГ порівнюється з нормованим для подібних вилівоків. У більшості випадків при литті сталі в піщані форми ця величина становить 57...80 %. Визначимо розміри екзотермічних прибутків, враховуючи, що $k_{\text{эф}} \sim 1,75$, отже, обсяг прибутків:

$$V_{\text{п1екз}} = 0,00163 / 1,75 = 0,00093 \text{ м}^3$$

Обсяг прибутку №2 визначимо за формулою 4.8:

$$V_{\text{п2екз}} = 0,00245 / 1,75 = 0,0014 \text{ м}^3$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наближений технологічний вихід придатного (ТВГ) визначається за формулою 4.9:

$$\text{ТВГ} = 0,0212 / [(1-0,045)(0,0212 + 0,002986)] \cdot 100 = 91,7\%$$

Застосування екзотермічних прибутків дозволить збільшити ТВГ на 12,3%.

Ескіз прибутку №1 представлений на рисунку 1.16, 3D-модель екзотермічної оболонки представлена на рисунку 1.17. Ескіз прибутку №2 представлений на рисунку 1.18, 3D-модель екзотермічної оболонки представлена на рисунку 1.19.

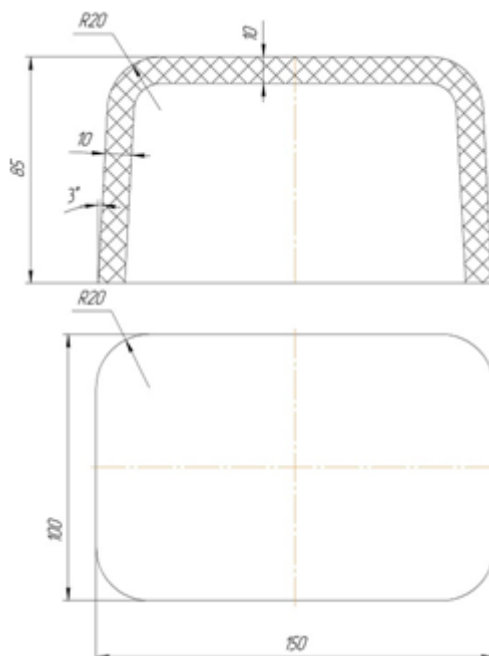


Рисунок 1.16 – Ескіз прибутку №1

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



Рисунок 1.17 – 3D-модель екзотермічної оболонки №1

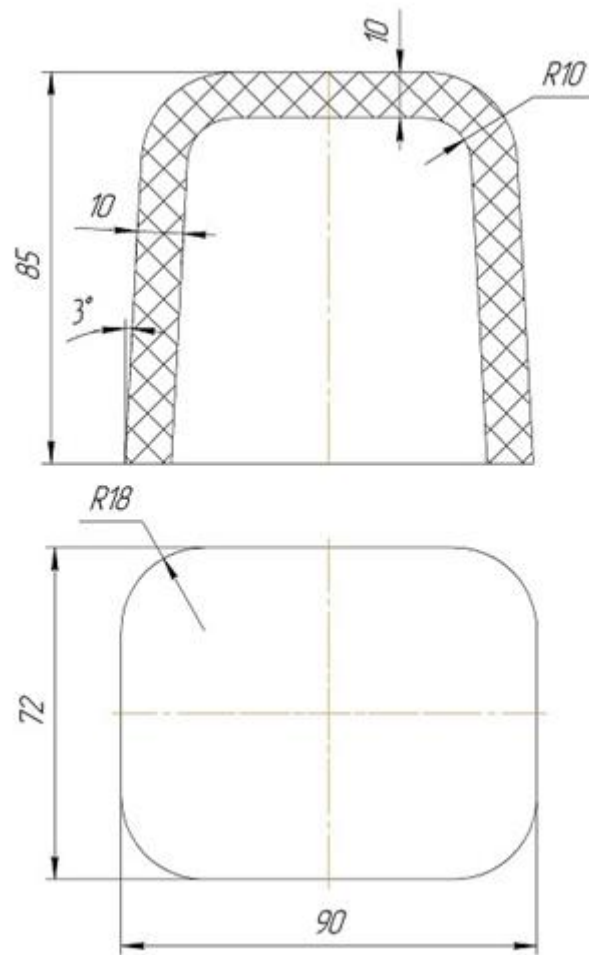


Рисунок 1.18 – Ескіз прибутку №2

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ

Арк.

18



Рисунок 1.19 – 3D-модель екзотермічної оболонки № 2

1.10 Розробка конструкції та розрахунок ливникової системи

Ливникова система складається з ливникової воронки, стояка, шлакоуловлювача та живильників. Живильники безпосередньо примикають до порожнини форми, вони виконані так, щоб ливникову систему можна було легше відокремити, не пошкодивши виливок. Для визначення розмірів каналів ливникової системи скористаємося методикою розрахунку при заливці форм з поворотного ковша.

Оптимальну тривалість заливки форм визначимо за формулою [4]:

$$\tau_{\text{опт}} = S \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot G}, \quad (1.4)$$

де $\tau_{\text{опт}}$ – оптимальна тривалість заливки, с;

S – коефіцієнт тривалості заливки, що залежить від температури заливки, виду сплаву, місця підведення, матеріалу форми та ряду інших факторів;

δ – переважна товщина стінки виливка, мм;

G – маса рідкого металу, що припадає на одну виливку з ливниками та надливами, кг.

Розрахунок маси рідкого металу, що припадає на одне виливки з ливниками та припливами [4]:

$$G = G_{\text{отл}} + G_{\text{приб}} + G_{\text{лс}}, \quad (1.5)$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $G_{\text{отл}}$ – маса виливка, кг;

$G_{\text{приб}}$ – маса прибутку, кг;

$G_{\text{лс}}$ – маса ливарної системи (5-10% від маси виливка з прибавками), кг.

$$G=295 +48,7+29,5=373,2.$$

Підставляючи у формулу (1.3) значення коефіцієнта $S=1,4$ (для виливків зі сталі), переважаючи товщину стінки виливка $\delta=14$ мм, $G= 373,2$ кг отримаємо:

$$\tau_{\text{опт}} = 1,4 \cdot \sqrt[3]{10 \cdot 373,2} = 27,8$$

Визначимо середню швидкість підйому рівня розплаву у формі в процесі заливки. Вона розраховується за умови, за якої відсутні недоливи та спаї у виливку [4]:

$$V_{\text{ср}} = \frac{C}{\tau_{\text{опт}}} \geq V_{\text{доп}}, \quad (1.6)$$

де $V_{\text{ср}}$ – середня швидкість підйому рівня розплаву у формі, мм/с;

C – висота виливка за положенням у формі, мм;

$\tau_{\text{опт}}$ – оптимальна тривалість заливки, с;

$V_{\text{доп}}$ – допустима швидкість підйому рівня розплаву у формі, мм/с.

Підставляючи у формулу (1.5) значення висоти виливка $C=488$ мм, $\tau_{\text{опт}} = 27,8$ с, отримаємо:

$$V_{\text{ср}} = \frac{488}{27,8} = 17,5.$$

Отримане значення $V_{\text{ср}}$ відповідає допустимому значенню 20...10 мм/с для виливків зі сталі з товщиною стінки 10...40 мм.

Сумарну площу вузького перерізу ливарної системи, що забезпечує оптимальну тривалість заливки форми, визначимо за формулою [4]:

$$F_{\text{уз}} = M / (\mu_{\text{ф}} \cdot \tau_{\text{опт}} \cdot \rho \cdot \sqrt{(2 \cdot g \cdot H_{\text{ср}})}) \quad (1.7)$$

де $F_{\text{уз}}$ – сумарна площа вузького перерізу ливарної системи для одного виливка, м² ;

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

m – маса рідкого металу, що припадає на один вилив ливниками
прибутками, кг;

$\tau_{\text{опт}}$ – оптимальна тривалість заливки, с;

$\mu_{\text{ф}}$ – загальний гідравлічний коефіцієнт опору форми;

ρ – щільність розплаву, що заливається, кг/м³ ;

$H_{\text{ср}}$ – середній металостатичний напір у формі, м.

Середній металостатичний напір у формі визначається за формулою [4]:

$$H_{\text{ср}} = H - \rho^2 / (2 \cdot C) \quad (1.8)$$

де H – напір металу від рівня металу у воронці до
живильників, мм;

R – висота виливка над живильником, мм;

C – висота виливка за положенням у формі, мм.

$$H_{\text{ср}} = 500 - 143^2 / (2 \cdot 488) = 479,01 \text{ мм.}$$

Підставляючи у формулу (1.6) значення $G=373,2$ кг; $\mu_{\text{ф}}=0,41$; $\tau_{\text{опт}}=27,8$ с;
 $\rho=7200$ кг/м³ ; $g=9,81$ м/с² ; $H_{\text{ср}}=0,479$ м, визначимо сумарну площу вузького
перерізу ливарної системи для одного виливка:

$$F_{\text{уз}} = 373,2 / (0,41 \cdot 7200 \cdot 27,8 \cdot \sqrt{(2 \cdot 9,81 \cdot 0,479)}) = 0,00204 \text{ м}^2 = 20,04 \text{ см}^2.$$

Для звужувальних ливникових систем $F_{\text{уз}}$ є сумарною площею перерізів
живильників:

$$F_{\text{уз}} = \Sigma F_{\text{п}} .$$

Визначимо площі перерізів інших елементів звужувальної ливарної
системи, що забезпечують $\tau_{\text{опт}}$ [4]:

$$\Sigma F_{\text{п}} : \Sigma F_{\text{шл}} : \Sigma F_{\text{ст}} = 1:1,1:1,2, \quad (1.9)$$

де $\Sigma F_{\text{п}}$ – сумарна площа перерізів живильників;

$\Sigma F_{\text{шл}}$ – сумарна площа перерізів шлакоуловлювачів;

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\Sigma F_{ст}$ – площа перерізу стояка.

$$\Sigma F_{шл} = F_{шл} = 1,1 \times F_{п} = 1,1 \times 20,4 = 22,04 \text{ см}^2 ;$$

$$\Sigma F_{ст} = F_{ст} = 1,2 \times F_{п} = 1,2 \times 20,4 = 24,05 \text{ см}^2$$

Метал для лиття будемо подавати через один стояк, два шлакоуловлювачі та шість живильників.

Для кращого прийому рідкого металу, що надходить із ковша, у верхній частині стояка передбачимо виготовлення ливарної воронки ($D_{в} = 100$ мм).

Оскільки перерізи живильників і шлакоуловлювачів мають форму трапеції, то розміри визначаються за формулою [4]:

$$F_{уз} = (1 / 2) \cdot (a + b) \times c \quad (1.10)$$

де a - нижня основа трапеції, мм;

b – верхня основа трапеції, мм;

c – висота трапеції, мм.

Оскільки перетин стояка має форму кола, то розміри визначаються за формулою [4]:

$$F = \pi R^2, \quad (1.11)$$

де R – радіус стояка, мм.

Ескіз перерізів ливарної системи наведено на малюнках 1.20 – 1.22.

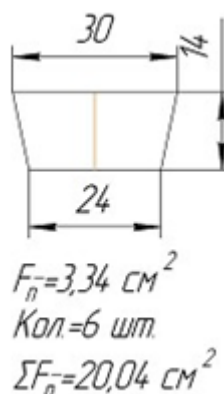


Рисунок 1.20 – Ескіз перерізу живильника

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

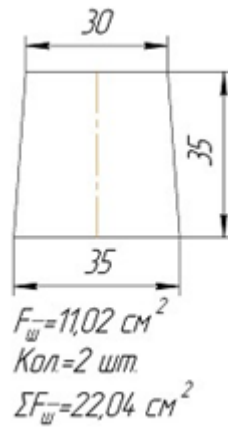


Рисунок 1.21 – Ескіз перерізу шлакоуловлювача

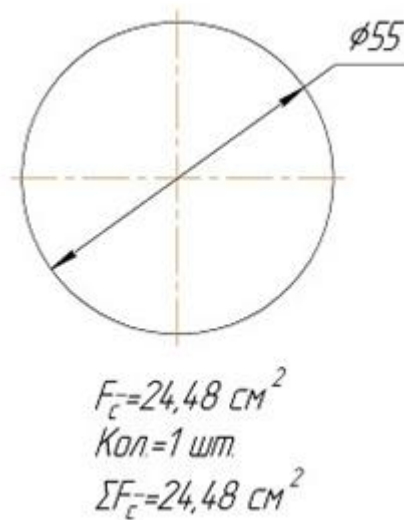


Рисунок 1.22 – Ескіз перерізу стояка

1.11 Визначення габаритів ливарних форм

Габарити опоки визначаються габаритами формуваних виливків, кількістю виливків у формі, розташуванням і розмірами приливів та ливникової системи, розмірами стрижневих знаків.

При виборі розмірів ковшів слід враховувати, що використання надмірно великих ковшів тягне за собою збільшення витрат праці на ущільнення формувальної суміші, недоцільний витрата суміші, а використання дуже маленьких ковшів може викликати брак виливків внаслідок продавлювання металом дна форми, витікання металу по роз'єму тощо.

Рекомендовані товщини шарів формувальної суміші на різних ділянках

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

форми залежать від маси виливка. Після цього визначають мінімально допустимі розміри опок у світлі з урахуванням виготовлення 4 виливка у формі. Після вибору опок у світлі підбирають розмір по висоті. Бажано застосовувати верхню та нижню опоки однаковими за висотою. Висота опок визначається висотою виливка, вибором місця роз'єму, наявністю надлишків і ливарної воронки.

Рекомендовані товщини формувальної суміші на різних ділянках форми наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Рекомендована товщина формувальної суміші на різних ділянках форми

Маса виливка, кг	Мінімально допустима товщина шару, мм			
	від верху моделі до верху опоки	від низу моделі до низу опоки	від моделі до стілки опоки	між моделлю та шлакоуловлювачем
251-500	120	150	80	70

Остаточню отримуємо розміри опок 1200x1200x500/500 мм.

1.12 Вибір модельного комплекту

Ливарне оснащення повинно забезпечувати отримання виливків з необхідною точністю та шорсткістю поверхні. Ливарне оснащення за своєю роллю в процесі виготовлення виливків поділяється на формоутворююче та універсальне. Формоутворююче оснащення являє собою модельний комплект, до якого входять моделі, стрижневі ящики, елементи ливникової системи.

Модель – це пристосування для отримання внутрішніх робочих поверхонь у ливарних піщаних формах. Стрижневий ящик – це пристосування для отримання стрижнів із піщаних сумішей. До універсального оснащення належать опоки, підпочні та підмодельні плити.

Для забезпечення безперебійної роботи цеху необхідно мати запасний модельний комплект на випадок ремонту основного комплекту.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

За міцністю модельні комплекти поділяються на три класи, від міцності залежить кількість знять ливарних форм

Для масового виготовлення даного вилівка застосовується металевий модельний комплект першого класу точності та третього класу міцності, запасний комплект допускається виготовити за другим класом точності та другим класом міцності.

1.13 Вибір складу формувальних сумішей

Для виробництва даного вилівка застосовується одноразова піщана форма і стрижні на основі ХТС (Alpfa-set процес).

У виробництві вилівоків використання холоднотвердіючих сумішей дозволяє різко скоротити технологічний цикл за рахунок об'ємного або поверхневого сушіння форм, підвищити продуктивність праці, знизити вартість обладнання шляхом заміни комбінованих способів ущільнення (струшування або вібрації з пресуванням) на віброущільнення. Виготовлення форм з ХТС спрощує застосування сучасних методів управління процесом формування властивостей вилівоків, які при використанні звичайних формувальних сумішей викликають великі труднощі.

Зв'язуюча система Alpfa-set складається з двох компонентів: водорозчинного лужного фенолформальдегідного олігомеру та затверджувача — композиції на основі складного ефіру. Застосовують затверджувачі декількох типів, кожен з яких дає різне співвідношення параметрів «живучість/час до вилучення».

Вибір затверджувача залежить від характеристик піску та типу основного зв'язуючого. Зазвичай виживаність становить 20...30% від часу вилучення.

Склад формувальної суміші, % [5]:

- кварцовий пісок 2К₂ О₂ 02 ГОСТ 2138-91 4;
- горіла суміш 96;

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- смола (понад 100%)	0,9-1,7;
- затверджувач АСЕ-1075 (понад 100%)	0,2-0,4.
Властивості формувальної суміші:	
- міцність на стиск (через 1 годину), МПа	1,0;
- міцність на стиск (через 3 години), МПа	1,6;
- міцність на стискання (через 24 години), МПа	3,0;
- сипучість, %	0,13;
- вологість, %	3;
- газоутворення, см ³ /г	до 14;
- мінімальний час затвердіння в оснащенні, хв	20-30;
- живучість, хв	25.

1.14 Вибір складу стрижневих сумішей

Основні переваги стрижневої суміші, виготовленої за технологією β-SET:

- слабкий запах під час приготування суміші;
- низька токсичність на всіх стадіях технологічного процесу;
- достатня міцність стрижнів і форм;
- можливість застосування пісків різної хімічної природи;
- дуже низька прилипальність до оснащення;
- можливість очищення оснащення та змішувача водою. Склад стрижневої суміші, %:

- кварцовий пісок 2К ₂ О ₂ 02 ГОСТ 2138-91	100;
- смола (понад 100%)	1,1-1,6;
- відхилення (понад 100%)	0,22-0,4.

Властивості стрижневої суміші:

- міцність на розрив (через 1 годину), МПа	1,6;
- міцність на розрив (через 3 години), МПа	2,4;
- міцність на розрив (через 24 години), МПа	3,8;

- сипучість, %	0,13;
- вологість, %	3;
- живучість, хв	25;
- газоутворюваність, см ³ /г	до 14.

1.15 Вибір складу протипригарних фарб

Для боротьби з пригоранням при литті в піщані форми наносять на поверхню форми протипригарне покриття. Протипригарні фарби являють собою суспензії, що складаються з порошкоподібного вогнетривкого наповнювача, сполучного та стабілізатора, розподілених у дисперсному середовищі – воді або органічній рідині. Фарба повинна мати високу вогнетривкість, хімічну нейтральність щодо розплаву та його оксидів, високу міцність зчеплення з поверхнею форми. Необхідно, щоб шар фарби після висихання був негігроскопічним, негазотворним, зберігав міцність до утворення у виливку досить жорсткої твердої кірки.

Стрижні та форми, виготовлені за технологією Alfa-set, можна фарбувати водними та спиртовими протипригарними фарбами.

Для виробництва даного виливка застосовується самовисихаюче протипригарне покриття, що має наступний склад:

- цирконовий концентрат, %	58;
- полівінілбутираль, %	1,5;
- етиловий спирт, %	40,5.

1.16 Розробка технології складання та заливки форм

Форми виготовляють за технологією безопочного формування з холоднотвердіючих сумішей. У цьому випадку процес ущільнення та затвердіння напівформ відбувається в жорстко закріпленій підмодельній

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

плиті дерев'яної рами, напівформа відокремлюється від підмодельної плити в поворотно-витяжному пристрої. Далі затверділа напівформа рухається по конвеєру без дерев'яної опоки.

Безопочне формувальне обладнання фірми ІМФ сконструйовано для форм розміром до 1800×3400×680/680 мм. Залежно від розмірів форми, а також від типів використовуваного технологічного обладнання, продуктивність машин становить від 8 до 40 безопочних форм на годину.

Ділянка, на якій відбувається зміна моделей і підготовка дерев'яних ящиків до формування, підключена до автоматичного складу моделей, керованого за допомогою ПК. Операція зі зміни моделі відбувається протягом одного тактового циклу.

Продуктивність шнекових змішувачів, що застосовуються для заповнення форми, становить, як правило, від 6 до 60 тонн/год. Вони оснащені двома рукавами, які приводяться в рух за допомогою сервомоторів.

Після заповнення форми сумішшю відбувається ущільнення суміші завдяки спрацьовуванню вібраційного столу, розташованого під роликівим транспортером. Видалення надлишків суміші відбувається автоматично за допомогою спеціального пристрою.

Зона затвердіння формувальної суміші складається з декількох ділянок роликівого транспортера, що приводяться в дію окремо і варіюються залежно від продуктивності та застосовуваних процесів.

Завдяки наявності прискорювачів та сповільнювачів, встановлених на кожній ділянці роликівого транспортера, транспортування відбувається м'яко і без тряски. Перевертач повертається на 180° і за допомогою вібрації напівформа опиняється на стрічці транспортера. Ця операція здійснюється автоматично. Після цього форма направляється на ділянку фарбування антипригарною фарбою, а модельний пристрій — повертається на ділянку заповнення або в зону зміни моделі. Процес фарбування здійснюється шляхом застосування маніпуляторів.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сушіння форм здійснюється, як правило, у тунелі з теплим повітрям.

Ділянка встановлення стрижнів у форму сконструйована таким чином, що до форми забезпечується відкритий доступ.

Форми з уже встановленими стрижнями закриваються за допомогою повністю автоматизованих пристроїв. Обладнання самостійно виконує всі необхідні операції без втручання оператора незалежно від типу форми.

Встановлені на розливній платформі закриті форми транспортуються за допомогою спеціальних транспортних пристроїв у зону заливки їх металом.

Після затвердіння виливок витримують у формі для охолодження до температури вибивання. Чим вища температура вибивання, тим коротший технологічний цикл виготовлення виливка і вища продуктивність формувально-заливальної ділянки. Однак висока температура вибивання є небажаною через небезпеку руйнування виливка, утворення дефектів або погіршення його якості. Поблизу температури кристалізації сплави мають низькі міцнісні та пластичні властивості, тому небезпека руйнування виливки особливо велика.

На повітрі виливки охолоджуються швидше, ніж у формі. При цьому нерівномірність охолодження масивних і тонких перерізів посилюється, і рівень внутрішніх напружень у виливці зростає. Раннє вибивання може призвести до утворення тріщин, викривлення та збереження у виливці високих залишкових напружень.

Тривала витримка у формі з метою охолодження до низької температури є недоцільною з економічної точки зору, оскільки подовжує технологічний цикл виготовлення виливка. Тому вибивання намагаються здійснювати при максимально допустимій високій температурі. Вона залежить від природи сплаву, а також від конструкції виливка. Сталеві виливки рекомендують охолоджувати у формі до 500-700 °С.

Після охолодження форми з виливками потрапляють на вібраційну установку, оснащену вибивною решіткою або прохідним охолоджувальним барабаном. Пісок направляється на ділянку регенерації, а потім

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовується повторно.

1.17 Розробка технології обрубки, очищення та фарбування виливків

Виливки, що не мають явних дефектів, піддаються подальшому очищенню від формувальної суміші, пригару.

Для видалення ливників і надлишків застосовують гідравлічний прес. Для видалення залишків живильників, надлишків, заливків, задирок, перекосів і нерівностей застосовують шліфувальні абразивні круги.

Очищення поверхні металу здійснюється в дробометній камері.

Далі для поліпшення структури, зміни твердості, міцності та пластичності вилівка піддається термічній обробці. Для зняття внутрішніх напружень і подрібнення структури сталевих виливків застосовується нормалізація при температурі 890–920 °С протягом 12 годин. Після термічної обробки виливки знову очищують у дробоструйній камері.

Грунтовку (фарбування) виливків застосовують для їх захисту від корозії при тривалому зберіганні або транспортуванні. Фарбуванню піддають зовнішні та внутрішні поверхні виливків, що не підлягають механічній обробці.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ТВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

2. ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ

2.1 Виробнича програма

Розрахунок точної виробничої програми (таблиця 2.1) цеху є основою для технологічної частини проекту. Точна програма передбачає розробку технологічних даних для кожного вилівка і застосовується при проектуванні цехів серійного та масового виробництва. У проектуваному цеху матеріалом для виливків служить сталь марки 25Л.

Таблиця 2.1 – Точна виробнича програма

Найменування вилівка	Марка сплаву	Маса вилівка, кг	Річна програма, шт	Маса виливків на річну програму, т
1.Днище	сталь 25Л	139	10616	1475,6
2.Стінка	сталь 25Л	209,5	10618	2224,5
3. Корпус	сталь 25Л	295	10616	3131,7
4.Кожух	сталь 25Л	128	10618	1359,1
5.Венце	сталь 25Л	117	10616	1242,1
6.Поперечина	сталь 25Л	151	10616	1603,0
7.Колесо	сталь 25Л	160	10616	1698,6
8.Колесо	сталь 25Л	190	10616	2017,0
9.Бампер	сталь 25Л	125	10616	1327,0
10.Проставка	сталь 25Л	126	10618	1337,9
11.Кришка	сталь 25Л	145	10616	1539,3
12.Барабан	сталь 25Л	250	10616	2654,0
13.Корпус	сталь 25Л	195	10616	2070,1
14.Венце	сталь 25Л	95	10616	1008,5
15.Реборда	сталь 25Л	220	10617	2335,7
16.Муфта	сталь 25Л	94,5	10616	1003,2
17.Картер	сталь 25Л	242	10616	2569,1

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ПТР		
Змн.	Арк.	№ докуам.	Підпис	Дата			
Розроб.		Денисенко Я.Д.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Кассім Д.О.				1	18
Н. Контр.		Кассім Д.О.			МТ-22-1		
Затверд.		Бабошко Д.Ю.					

Продовження таблиці 2.1

18.Кронштейн	сталь 25Л	98,3	10617	1043,7
19.Кронштейн	сталь 25Л	130	10616	1380,1
20.Маточина	сталь 25Л	92,3	10616	979,9
Разом			212328	34000,0

2.1.1 Структура ливарного цеху

Склад виробничих і допоміжних ділянок та обладнання, що входять до комплексу ливарного виробництва, повинен забезпечити виконання всього технологічного процесу виробництва виливків, передбачених програмою, починаючи зі складів формувальних і шихтових матеріалів і закінчуючи ґрунтуванням виливків.

Цех сталевих лиття з вуглецевої сталі продуктивністю 34000 тонн лиття на рік проектується з урахуванням передових технологій, потужності, номенклатури, режиму роботи та типу виробництва.

Проектований ливарний цех складається з виробничих і допоміжних відділень, складських і службово-побутових приміщень.

До виробничих приміщень належать:

- плавильне відділення;
- ділянка підготовки шихти;
- відділення стрижнів;
- формувальньо-заливально-вибивне відділення;
- обрубне відділення.

До допоміжних ділянок належать:

- ділянка ремонту ковшів і печей;
- відділення приготування суміші
- ділянка переробки суміші;
- ремонтно-енергетичне та ремонтно-механічне відділення;
- лабораторії.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ПТР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

Складські приміщення включають склади для зберігання шихтових і формувальних матеріалів, склади модельного та стрижневого оснащення, пристосувань та інструментів, вогнетривів, готової продукції.

2.1.2 Режим роботи та фонди часу

Для того щоб розрахувати необхідну кількість технологічного обладнання, потрібно знати фактичний фонд часу роботи обладнання. Він визначається для кожної групи обладнання (формувальне, стрижневе, плавильне) виходячи з досвіду його експлуатації. Режим роботи ливарних цехів визначається організацією виробництва та кількістю робочого часу працівників і обладнання.

Проектований цех належить до категорії ливарних цехів великосерійного виробництва, в якому виконання більшості трудомістких операцій механізовано та автоматизовано.

На підставі роботи передових ливарних цехів застосовується найбільш раціональний режим роботи цеху – двозмінний паралельний, при п'ятиденному робочому тижні та восьмигодинному робочому дні. При цьому режимі роботи всі основні технологічні процеси виготовлення виливків здійснюються у дві зміни. Третя зміна відводиться для профілактики та ремонту обладнання. При цьому деякі служби працюватимуть в одну зміну — кранове господарство, футерувальна дільниця, ремонтно-механічна майстерня (РММ), а дільниця термообробки — у три зміни.

Існує три основні фонди робочого часу:

- календарний (F_K), що враховує повний річний календарний час;
- номінальний (F_H), що враховує повний річний робочий час без втрат;
- дійсний (F_D), що враховує повний річний робочий час з неминучими втратами.

Для визначення фактичного фонду часу роботи обладнання з номінального фонду часу умовно виключається час його перебування на планових ремонтах,

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ПТР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

встановлений нормами системи планово-попереджувальних ремонтів.

Календарний фонд часу становить 8760 годин.

Для визначення фактичного фонду робочого часу робітників з номінального фонду часу віднімається час перебування робітника у відпустці.

У разі п'ятиденного робочого тижня, восьмигодинної зміни номінальний фонд часу становить для робітників $\Phi_H = 2070$ годин і для обладнання $\Phi_H = 4140$ годин.

Фактичний фонд часу становить [6]:

$$\Phi_D = \frac{\Phi_H \cdot (100 - \alpha)}{100}, \quad (2.1)$$

де Φ_H – номінальний фонд часу,

год; α – втрати часу, %.

Розрахунок фактичного фонду часу для обладнання наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Фактичний річний фонд часу роботи обладнання

Обладнання	Кількість змін на добу	Номінальний фонд часу, год	Втрати часу, %	Фактичний фонд часу, год
Обладнання плавильного відділення	2	4140	3	4016
Обладнання для підготовки суміші	2	4140	5	3933
Обладнання формувального цеху	2	4140	10	3726
Обладнання стрижневого відділення	2	4140	7	3850
Обладнання термообрубного відділення	2	4140	4	3974
Термічні печі	3	6210	3	6024

2.2 Плавильне відділення

Основою для розрахунку плавильного відділення є відомість витрати металу на залиті форми яка складається на основі точної виробничої програми

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ПТР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

цеху.

2.2.1 Складання балансу металу

У проєктованому цеху матеріалом для виливків служить сталь марки 25Л [7]. Хімічний склад сталі наведено в таблиці 2.3. Таблиця

2.4 – Хімічний склад сталі 25Л

Позначення за ГОСТ 1412-85	Масова частка елементів, %						Домішки більше, %		
	З		Si		Mn		Fe	S	P
Сталь 25Л	min	max	min	max	min	max			
	0,220	0,300	0,200	0,520	0,450	0,900			

На підставі відомості витрати металу на залиті форми складаємо баланс металу (таблиця 2.4).

Металозавалка розраховується за формулою [6]:

$$M = \frac{\Gamma + Л + Б}{100 - П} \cdot 100, \quad (2.2)$$

де М – річна завантаження металу за маркою, що виплавляється, т.; Г – маса придатних виливків, т.;

Б – маса бракованих та дослідних виливків, технологічних зразків, т.; Л – маса ливників та надлишків, т.;

П – безповоротні втрати металу, %.

Після розрахунку металозавалки визначаються інші значення статей.

Металозавалка сталь 25Л:

$$M = \frac{34000 + 17000 + 541,5}{100 - 0,5 - 1 - 3} \cdot 100 = 53970,2 \text{ т.}$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ПТР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Таблиця 2.4 – Баланс металу

Найменування сталей	Сталь 25Л	
	%	т
1. Придатні виливки	63,00	34000,0
2. Брак виливків	1,00	541,5
3. Ливники та приливи	31,50	17000,0
4. Технологічні пробри	0,50	269,9
5. Зливи та сплески	1,00	539,7
7. Разом рідкого металу	97,00	52351,1
8. Окис та безповоротні витрати	3,00	1619,1
9. Металозавалка	100,00	53970,2

2.2.2 Відомість витрати шихтових матеріалів

Доцільно проводити розрахунок на 100 кг шихти, тоді маса компонентів у кілограмах та їхні процентні співвідношення чисельно збігатимуться, що спрощує розрахунок.

Складання та розрахунок шихти здійснюється, виходячи з необхідного хімічного складу сплаву, що виплавляється, та наявних шихтових матеріалів.

Середній вміст марганцю 0,625 %; кремнію – 0,36 %. Необхідна маса вуглецю розраховується за формулою [8]:

$$m_C = C_C + 0,2...0,3\% \quad (2.3)$$

$$M_C = 0,26 + 0,3 = 0,56 \text{ кг (або 0,56 \%)}.$$

Маса феромарганцю та феросиліцію розраховується за формулою [8]:

$$m_j = [M C_j (1 + Y_i)] / I_{ij} \quad (2.4)$$

де C_i — середній вміст $i^{\text{го}}$ елемента (у даному випадку Mn і Si) у сталі, %;

Y_i — вміст $i^{\text{го}}$ елемента в частках одиниці;

I_{ij} — вміст $i^{\text{го}}$ елемента в $j^{\text{ом}}$ компоненті;

$$m_{\text{фMn}} = [100 \cdot 0.625(1 + 0.2)] / 68 = 1.103 \text{ кг}$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ПТР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

У балансі виплавленої сталі повернення (X_2) становить 34 %.

Маси брухту (X_1) і чавуну (X_3) розраховуються за рівняннями, складеними на основі балансу металу та вуглецю [8]:

$$X_2 + X_3 = 100 - \sum_{j=1}^k m_j \quad (2.5)$$

$$C_2 \cdot X_2 + C_3 \cdot X_3 = 100m_c - \sum_{j=1}^k C_{Cj} \cdot m_j$$

де X_1 та X_3 – масова частка, % відповідно брухту та чавуну; C_{Cj} – масова частка вуглецю в j -ом компоненті, %.

$$\left\{ \begin{array}{l} X_2 + X_3 = 100 - 1,103 - 0,528 - 34 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,11X_2 + 4,14X_3 = 100 \cdot 0,56 - 1,103 \cdot 0,01 - 0,528 \cdot 7,0 - 34 \cdot 0,26 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_2 + X_3 = 64,369 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,11X_2 + 4,14X_3 = 43,453 \end{array} \right.$$

З рівняння виражаємо X_1

$$X_2 = 64,369 - X_3$$

$$0,11(64,369 - X_3) + 4,14X_3 = 43,453$$

$$X_3 = \frac{57,288}{4,03} = 14,215$$

Підставляємо отримане значення X_3 у рівняння

$$X_2 = 64,369 - X_3 = 64,369 - 14,215 = 50,152$$

Складена на основі наведених вище розрахунків відомість витрат шихтових матеріалів наведено в таблиці 2.5

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ПТР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Таблиця 2.5 – Компоненти шихты для стали 35Л, виплавленої в дуговій печі

Компонент	Позначення X _i	Масова частка елементів %				
		C	Mn	Si	S	P
Повернення	X ₁	0,26	0,625	0,38	0,05	0,05
Сталевий брухт 2А ГОСТ 2787-86	X ₂	0,11	0,62	0,32	0,03	0,025
Чавун перероблений ПЛІ ГОСТ 805-80	X ₃	4,14	0,85	0,85	0,016	0,018
Ферромарганець ФМн75 ГОСТ 4755-91	X ₄	7	68	6,0	0,02	0,03
Ферросиліцій ФС75 ГОСТ 1415-78	X ₅	0,01	0,4	75	0,020	0,04

Таблиця 2.6 – Відомість витрат шихтових матеріалів

Назва матеріалу	Витрата матеріалів	
	%	т
Повернення	34 002	18351,067
Сталевий брухт 2А	50,152	27067,145
Чавун граничний ПІ	14,215	7671,867
Ферросиліцій ФС75	0,528	284,963
Ферромарганець ФМн75	1,103	595,292
Разом	100 000	53970,333

2.2.3 Вибір та розрахунок обладнання плавильного відділення

Вибір плавильного обладнання обумовлюється металургійними можливостями забезпечення заданої якості сплаву, що виплавляється, наявністю необхідних шихтових матеріалів та енергетичних ресурсів, умовами праці обслуговуючого персоналу, захистом навколишнього середовища від газових виділень та відходів плавки, а також ефективністю виробництва.

Для отримання рідкої сталі застосовується електродугова піч.

Місткість печі обмежується часом заливки отриманого сплаву, визначимо місткість печей за формулою [6]:

$$G = \frac{V_{\Gamma} K_{\Gamma} \tau}{\Phi_{\Gamma}}, \quad (2.6)$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ПТР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

де G – розрахункова місткість печі, т;

V_{Γ} – річна кількість споживаного рідкого металу (з урахуванням браку);

K_H – коефіцієнт нерівномірності споживання та виробництва; τ – тривалість розливу однієї плавки, год

Φ_D — річний фактичний фонд часу обладнання, що розраховується.

$$G = \frac{52351,1 \cdot 1,1 \cdot 0,5}{4016} = 7,16 \text{ т.}$$

Зі стандартного ряду печей типу ДППТ обираємо піч ДППТ-10.

Технічна характеристика ДППТ-10:

- потужність джерела живлення, кВА; 2500;
- напруга мережі живлення, кВ 10;
- продуктивність, т/год; 5;
- номінальна ємність, т; 10;
- температура перегріву металу, °С; 1700.

Дугові печі постійного (ДППТ) і змінного (ДСП) струму мають аналогічні виконання основних конструктивних елементів, однакові схеми завантаження шихти та розливу металу, використовують одні й ті ж вогнетривкі матеріали, дозволяють застосовувати одні й ті ж технологічні процеси плавлення та доведення металу.

Розрахункова кількість плавильних агрегатів P_1 визначається за формулою [6]:

$$P_1 = \frac{V_{\Gamma} \cdot K_H}{\Phi_D \cdot N'_{\text{розр}}}, \quad (2.7)$$

де V_{Γ} – річна кількість споживаного рідкого металу (з урахуванням браку); Φ_D – річний дійсний фонд часу розраховуваного обладнання;

$N'_{\text{розр}}$ – продуктивність обладнання (розрахункова), прийнята виходячи з прогресивного досвіду його експлуатації;

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ПТР	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

K_H – коефіцієнт нерівномірності споживання та виробництва. В умовах масового та великосерійного виробництва $K_H = 1,0 - 1,3$.

$$P'_1 = \frac{52351,1 \cdot 1,2}{4016 \cdot 5} = 3,13.$$

Кількість одиниць обладнання (P'_2), що у цеху, приймається до установці визначається за формулою [6]:

$$P'_1 = P' / K_3$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження ($K_3 = 0,7 - 0,85$).

$$P'_2 = \frac{3,13}{0,8} = 3,75.$$

Приймаємо $P'_2 = 4$; Фактичне значення коефіцієнта завантаження перевіряється за формулою [6]:

2.2.4 Розрахунок потреби ковшів

Періоди роботи та ремонту ковшів:

- безперервна робота 3...4 год;
- охолодження до ремонту 0,5...0,7 год;
- поточний ремонт 0,5...1,0 год;
- установка під жолоб, випуск металу 0,5 год;
- капітальний ремонт і підігрів 2...3 год;
- сушка та розігрів після капітального ремонту 2...3 год

Вибираємо розливний ковш місткістю 5 тонн (середня металоємність форми — 500 кг). У проектованому цеху ковші підігріваються перед кожною плавкою до температури 600...700 °С. Ремонт ковшів здійснюється на дільниці ремонту ковшів. Сушіння ковшів здійснюється після кожного ремонту перед плавкою на спеціальному стенді при температурі 800...900 °С.

Розрахунок ковшів проводиться за формулою [6]:

$$n = \frac{B_r \cdot t}{\Phi_d \cdot Q} \quad (2.9)$$

де B_r – річна кількість споживаного рідкого металу, т;

t – середній цикл обороту ковша, год;

Q – місткість ковша, т;

n – кількість ковшів, що працюють одночасно, шт.

$$n = \frac{52351,1 \cdot 0,5}{4016 \cdot 5} = 1,3_{\text{шт.}}$$

Кількість ковшів, що знаходяться в ремонті [6]:

$$n_{\text{кр}} = \frac{n \cdot \tau_p \cdot n_p \cdot K_H}{\Phi_d}, \quad (2.10)$$

де $n_{\text{кр}}$ – кількість ковшів, що знаходяться в ремонті, шт;

n – кількість ковшів, що знаходяться в роботі, шт;

τ_p – загальна тривалість ремонтного циклу, $\tau_p = 16$ год;

n_p – кількість ремонтів на рік, $n_p = 120$ шт.

$$n_{\text{кр}} = \frac{1,3 \cdot 16 \cdot 120 \cdot 1,1}{1967} = 1,4_{\text{шт.}}$$

Таким чином, кількість ковшів, необхідна для забезпечення безперебійної роботи цеху, становить 2 одиниці.

З огляду на те, що кількість резервних ковшів не повинна бути меншою за два, приймаємо кількість ковшів у проєктованому цеху 4 шт.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ПТР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

2.3 Відділ формування, заливання та вибивання

Операції з виготовлення форм та їх вибивання є найбільш трудомісткими.

Наразі вибір технології та обладнання для отримання форм є досить широким, проте у масовому виробництві єдиним способом отримання дрібних та середніх виливків, що відповідає сучасним вимогам виробництва, є безопочне формування, реалізоване на формувальному обладнанні фірми IMF [9].

Формовочне відділення поділено на ділянки: формування, заливання форм, охолодження форм та вибивання.

2.3.1 Технологія виготовлення форм

Система – ALPHA-SET – сполучна смола холодного затвердіння, яка дозволила:

- покращити екологічну ситуацію ливарного цеху (внутрішню/зовнішню);
- домогтися чудових характеристик лиття, порівняно з використанням силікатних сполучних;
- використовувати переваги існуючих органічних сполучних.

Міцність ливарної форми та однорідність ущільнення забезпечують можливість більш точного виливок виробів відповідно до розрахункових розмірів.

Однак ця жорсткість вимагає, щоб при виготовленні зразків моделей спеціально задавалися формувальні ухили, оскільки ці ухили повинні враховувати відносно негнучкий стан форми при протягуванні моделі. Розштовхування моделі не є раціональним, і з цієї причини рекомендується якомога ширше використовувати вібраційні пристрої з метою полегшення відділення моделі.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ПТР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

2.3.2 Вибір обладнання для дільниці формування

Для визначення річної кількості форм, а також обсягу формувальної суміші на річну програму складемо відомість виготовлення та складання форм, представлену в таблиці 2.7.

Для виготовлення форм обираємо автоматичну безопорну формувальну лінію Fast-loop фірми IMF.

Автоматична лінія фірми IMF має такі характеристики:

- циклова продуктивність, форм/год 8 – 40;
- вантажопідйомність столу, кг 6000;
- номінальна потужність, кВт 400.

До складу лінії входять вібростоли, кантувачі, механізми зрізання надлишків суміші, маніпулятори для кантування форм, тунелі для сушіння форм, поворотно-витяжні машини, переставники опок, вибивні пристрої.

Автоматична формувальна лінія Fast-loop фірми IMF призначена для виготовлення виливків зі сталі в одноразових формах із холоднотвердіючих сумішей.

2.3.3 Визначення кількості автоматичних ліній

Розрахункова кількість автоматичних ліній для формувально-заливальних вибивальних відділень при потоковому виробництві P_1 визначається за формулою [6]:

$$P_1 = \frac{n}{K_{\sigma} N_{\text{п.расч}} \Phi_{\text{п.розр. д}}}, \quad (2.11)$$

де n – річна кількість форм, що виготовляються на лінії, шт.;

$K_{\sigma} = 0,94-0,96$ – коефіцієнт, що враховує втрати через брак форм і виливків;

$N_{\text{п.расч}}$ – прийнята тактова (розрахункова) продуктивність автоматичного обладнання, шт./год;

Φ_d – дійсний річний фонд часу, год.

Розрахункову продуктивність визначимо за формулою :

$$P_1 = 86260 / (0,95 \times 30 \times 3726) = 0,81$$

Кількість одиниць обладнання, що приймається до встановлення в цеху, визначається за формулою :

$$P'_2 = 0,82 / 0,9 = 0,91$$

Приймаємо одну формувальну лінію Fast-loop фірми IMF.

2.4 Відділення стрижнів

Основою для розрахунку стержневого відділення є відомість виготовлення стрижнів.

Для виготовлення стрижнів використовується процес β -SET. Процес базується на використанні в якості сполучних матеріалів синтетичних смол, здатних твердіти при кімнатній температурі за рахунок продування метилформатом.

Дана суміш забезпечує хорошу якість литих поверхонь, відсутність азоту та сірки у сполучному, незначне розширення суміші, легше вибивання та можливість досягнення екологічно сприятливих умов праці.

Для виготовлення стрижнів передбачено окрему ділянку, що включає автоматичну стрижневу машину PRACTICOR-80 фірми IMF із застосуванням β -SET процесу.

Технічні характеристики стрижневої машини PRACTICOR-80:

- об'єм піскоструминної головки, л 80;
- тривалість циклу, з 65;
- продуктивність зйомок/год 40.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ПТР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Розрахункова кількість стрижневих ліній визначається за формулою:

$$P'_1 = \frac{217183,98 \cdot 1,1}{40 \cdot 3850} = 1,55.$$

Кількість одиниць обладнання, що приймається до встановлення в цеху, визначається за формулою:

$$P' = \frac{1,55}{0,9} = 1,71$$

Приймаємо дві стрижневі машини PRACTICOR-80 фірми IMF.

2.5 Відділення приготування сумішей

Основою для розрахунку змішувального відділення є звіт про потреби в сумішах, представлений у таблиці 2.8.

При визначенні кількості суміші необхідно врахувати їхні втрати під час транспортування та формування, що становлять 4...5%.

Таблиця 2.8 – Відомість потреби в сумішах

Назва суміші	Потреба			Оборотна суміш		
	за розрахунком, т/рік	на просипання (5%), т/рік	загалом	%	т/рік	
Формувальна суміш	179635,46	8981,77	188617,23	94,00	177300,20	
Стержнева суміш	4718,36	235,92	4954,27			
Назва суміші	Оновлення					
	Пісок		ТРА-480		АСЕ-1075	
	%	т/рік	%	т/рік	%	т/рік
Формувальна суміш	6,00	11317,0	1,60	3017,8	0,40	754,47
		3		8		
Стержнева суміш	100,00	4954,27	1,60	79,27	0,40	19,82

Для самотвердіючих формувальних сумішей використовуються швидкісні змішувачі безперервної дії. Змішувач має раму, яка підтримує дві половини кожуха, що утворює трубу для перемішування. Консольні шнекові

									Арк.
									15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.РБ.136.26.113с-06.ПТР				

змішувачі для формувальних сумішей процесів NO-BAKE забезпечують високу надійність і тривалий термін служби, високу ефективність перемішування, точний контроль дозування сполучного. Консоль являє собою пристрій, обладнаний швидкісним стрічковим транспортером. Це дозволяє швидко подавати суміш до місця формування.

Для приготування формувальної суміші застосовуються змішувачі T60/S фірми IMF з продуктивністю 50 т/год.

Розрахункову кількість змішувачів моделі T60/S розрахуємо за формулою

$$P'_1 = (188617,23 \cdot 1,1) / (60 \cdot 3933) = 0,88$$

Кількість одиниць обладнання, що приймається до встановлення в цеху, визначається за формулою (2.7):

$$P'_2 = 0,88 / 0,9 = 0,97$$

Отже, до встановлення в цеху приймаємо один змішувач моделі T60/S.

2.6 Відділ регенерації суміші

Після вибивання форм суміш надходить на ділянку механічної регенерації. Суха механічна регенерація полягає в перемелюванні відпрацьованої суміші, під час якого плівки сполучного відокремлюються від зерен піску і перетворюються на пил, що видаляється з суміші інтенсивним відсмоктуванням повітря.

Відтирання зерен відбувається в камері пневматичного очищення. Відокремлена плівка сполучного відсмоктується через фільтр. Суміш просівається через вібраційне сито. Фіксоване контрольне сито запобігає потраплянню сторонніх частинок в охолоджувач у разі пошкодження полотна вібраційного сита. Бункер для збору суміші, оснащений датчиками максимального та мінімального рівня, дозволяє підтримувати постійний рівень суміші в розташованому нижче охолоджувачі. Суміш охолоджується до оптимальної температури після проходження через охолоджувач, оснащений охолоджувальною вежею, повітряно-водним теплообмінником або групою холодильних установок, залежно від умов зовнішнього середовища.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ПТР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Термопара, розташована над розвантажувальною решіткою охолоджувача, контролює температуру видачі суміші. Система розвантаження, що реалізує скидання суміші по всьому перетину, дозволяє проконтролювати однорідність суміші та відсутність заторів.

Для регенерації суміші обирається установка механічної регенерації IMF з продуктивністю 30 т/год для ХТС з органічними сполучними речовинами.

На установці здійснюються операції: очищення зерен піску; видалення пилу; кінцеве просіювання; охолодження.

Для розрахунку установки регенерації беремо об'єм формувальної суміші на річну програму за вирахуванням 5% (висипання та безповоротні втрати).

Визначається розрахункова кількість установок регенерації (2.6):

$$P'_{1} = \frac{179635,461,1}{30 \cdot 3933} = 1,72.$$

За формулою (2.7) розраховується кількість одиниць машин, що приймається до встановлення в цеху P'_2 :

$$P'_{2} = \frac{1,72}{0,9} = 1,89.$$

До установки в цеху приймаємо дві установки механічної регенерації фірми IMF .

2.7 Термообрубне відділення

У термообрубному відділенні виконуються такі операції: очищення виливків від залишків суміші та стрижнів, відділення ливників, термообробка (якщо передбачена технологічним процесом), заварювання дефектів, зачищення виливків.

Виливки, що надходять з формувального відділення, потрапляють на ділянку відділення ливників і припливів, потім у дробеструйну камеру, після очищення виливки поміщають у термпіч, потім знову в очисну дробеструйну камеру.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.ПТР	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики дробометної установки НРС []:

- висота, мм 4500;
- ширина, мм 7000;
- довжина, мм 9500;
- продуктивність, т/год 6.

Розрахункову кількість обладнання визначимо за формулою (2.6).

$$P'_{1} = \frac{51541,56 \cdot 1,1}{6 \cdot 3974} = 1,59.$$

Кількість одиниць обладнання (P'_{2}), що приймається в цеху, визначається за формулою (2.7):

$$P'_{2} = \frac{1,59}{0,9} = 1,75.$$

Приймаємо в цеху дві дробометні установки моделі PG фірми Cogem.

Для термообробки застосовуються електричні камерні печі з висувним подом.

Технічні характеристики печі ПВП 20.40.20/10М фірми «НАКАЛ»:

- розміри печі, мм 11000x5600x3500;
- розміри робочої камери, мм 4000x2000x2000;
- температура max, °C 1250;
- продуктивність, т/год 4
- потужність, кВт 410

Розрахункову кількість обладнання визначимо за формулою (2.5).

$$P'_{1} = \frac{34541 \cdot 1,1}{4 \cdot 6024} = 1,58.$$

Кількість одиниць обладнання (P'_{2}), що приймається в цеху, визначається за формулі (2.6):

$$P'_{2} = \frac{1,58}{0,9} = 1,73.$$

Беремо дві печі ПВП 20.40.20/10М фірми «НАКАЛ».

3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА, ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ХОЛОДНОТВЕРДІЮЧИХ СУМІШЕЙ ПРОЦЕСУ Alpha-set ТА Beta-set ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ СТАЛЕВИХ ВИЛИВКІВ «КОРПУС»

У сучасному ливарному виробництві одним із найперспективніших напрямків підвищення якості сталевих виливків та ефективності виробництва є впровадження технологій холоднотвердіючих сумішей (ХТС). Для проєктованого цеху продуктивністю 34 000 тонн сталевих виливків на рік зі сталі марки 25Л обрано технологію Alpha-set для виготовлення форм та Beta-set для виготовлення стрижнів. Ці процеси дозволяють отримувати високу геометричну точність, відмінну якість поверхні та суттєво знижувати кількість дефектів, що є особливо важливим для виливка «Корпус» масою 295 кг та габаритами 706 × 702 × 386 мм.

Ці технології дозволяють отримати високу точність виливків, зменшити припуски на механічну обробку, знизити брак і покращити екологічну ситуацію в цеху.

Мета дослідження — комплексне експериментальне вивчення фізико-механічних, технологічних та експлуатаційних властивостей сумішей процесів Alpha-set та Beta-set, оцінка їх впливу на якість виливка «Корпус» та розробка рекомендацій щодо впровадження цих технологій у виробництво цеху.

Процес Alpha-set являє собою самотвердіючу систему на основі лужної фенолформальдегідної смоли резольного типу, що твердіє під дією складних ефірів при кімнатній температурі. Механізм твердіння полягає в поліконденсації фенольних олігомерів з утворенням тривимірної просторової сітки. Такі системи характеризуються високою міцністю, доброю вибиваємістю та можливістю ефективною механічної регенерації.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.СЧ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докуам.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Денисенко Я.Д.			Спеціальна частина: Властивості сумішей Alpha-set та Beta-set для виливків «Корпус»	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		Кассім Д.О.					1	12
<i>Н. Контр.</i>		Кассім Д.О.				MT-22-1		
<i>Затверд.</i>		Бабошко Д.Ю.						

Процес Beta-set відноситься до газових технологій і базується на продуванні суміші метилформіатом. Відсутність азоту та сірки в сполучному робить цей процес особливо придатним для виробництва сталевих виливків, оскільки знижує ризик утворення азотних пор та гарячих тріщин.

Обидва процеси забезпечують міцність форм і стрижнів у 20–30 разів вищу, ніж у традиційних піщано-глинистих сумішах, низьке газоутворення та можливість регенерації піску до 90–95 %. Саме ці властивості стали визначальними при виборі технології для виробництва виливка «Корпус».

Склади сумішей:

- Формувальна (Alpha-set): кварцовий пісок 96–98 %, смола 0.9–1.7 %, затверджувач 0.2–0.4 %.
- Стрижнева (Beta-set): кварцовий пісок 100 %, смола 1,1–1,6 %, відвердитель 0.22–0.4 %.

Виготовляли стандартні зразки для визначення міцності на стиск (формувальна суміш) та на розрив (стрижнева суміш). Вимірювали живучість, газоутворення, осипаємість та газопроникність. Для оцінки реального впливу технології на якість лиття виготовляли дослідні виливки «Корпус».

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.СЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2




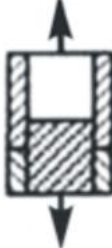





Состояние смеси под- вергаемой испытанию	Прочность формовочных и стержневых смесей в разных видах испытаний				
	Сжатие $\sigma_{сж}$	Срез $\tau_{ср}$	Изгиб $\sigma_{изг}$	Растяжение $\sigma_{раст}$	Раздавлива- ние $\sigma_{разд}$
Влажное состояние					
Сухое состояние					

Рисунок 3.1 — Схеми стандартних зразків для випробування міцності формувальних і стрижневих сумішей

На рисунку 3.1 наведено геометрію стандартних зразків, що використовуються у дослідженнях властивостей холоднотвердіючих сумішей. Верхня частина рисунка показує циліндричний зразок діаметром 50 мм та висотою 50 мм, призначений для визначення межі міцності на стиск. Нижня частина рисунка зображує 8-подібний зразок («кістку») з довжиною 150 мм та шириною в середній частині 120 мм, який використовується для випробування на розрив. На зразках вказані основні розміри та місця прикладання навантаження. Використання саме таких уніфікованих зразків дозволяє отримувати відтворювані результати та коректно порівнювати їх з даними літературних джерел.

Одним із найважливіших показників якості сумішей є динаміка набору міцності у часі. Для вилівка «Корпус», який має значну масу та складну конфігурацію, це має критичне значення, оскільки форми та стрижні повинні витримувати гідростатичний тиск рідкого металу під час заливки та процес спрямованого затвердіння.

Таблиця 3.1 — Міцність сумішей залежно від часу затвердіння

Час затвердіння	Міцність на стиск Alpha-set, МПа	Міцність на розрив Beta-set, МПа
1 година	1.0	1.6
3 година	1.6	2.4
24 година	3.0	3.8

Отримані значення міцності через 3 години є достатніми для проведення операцій складання форм та транспортування. Це дозволяє організувати стабільну роботу формувальню-заливальню відділення у двозмінному режимі з мінімальними простоями. Значення через 24 години (3,0 МПа для формувальної суміші та 3,8 МПа для стрижневої) відповідають вимогам для виготовлення сталевих виливків масою до 300 кг

Таблиця 3.2 — Технологічні властивості ХТС

Параметр	Alpha-set	Beta-set	Рекомендації для цеху
Живучість, хв	20–30	25	25 хв
Газоутворення, см ³ /г	≤14	≤14	Допустимо
Осыпаємість, %	0.13	0.13	Добре

Технологічні властивості сумішей, наведені в таблиці 3.2, повністю відповідають вимогам виробництва сталевих виливків у цеху. Живучість 20–30 хвилин забезпечує достатній час для якісного формування та складання форм без передчасного твердіння суміші. Низький рівень газоутворення (≤14 см³/г) знижує ризик утворення газових дефектів у виливку «Корпус», що особливо важливо при литті сталі. Показник осыпаємісті 0,13% свідчить про високу міцність поверхневого шару та добру вибиваємість форм і стрижнів, що спрощує очищення виливків та зменшує трудомісткість фінішних операцій.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.СЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Таким чином, обрані суміші процесів Alpha-set та Beta-set забезпечують стабільну якість технологічного процесу та високу якість готової продукції.

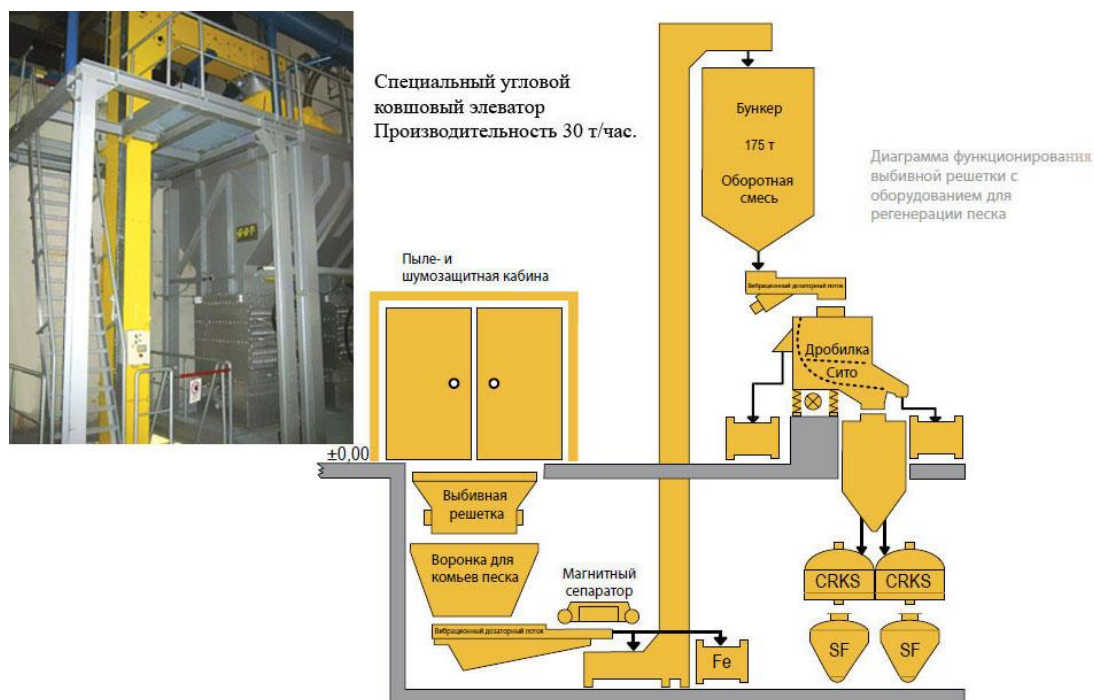


Рисунок 3.2 — Схема технологічного процесу механічної регенерації ХТС

Механічна регенерація є ключовим елементом економічності технології. Після кількох циклів відбувається накопичення лугів і зниження міцності.

На рисунку 3.2 зображено схему лінії механічної обробки та регенерації оборотної формувальної суміші. Процес починається з вибивної решітки, розташованої у пиле- і шумозахисній кабіні, куди надходить відпрацьована суміш з форм після охолодження. Під решіткою знаходиться воронка для грудок піску, з якої матеріал подається на вібраційний дозаторний лоток. Далі суміш проходить через магнітний сепаратор, призначений для видалення металевих включень. Після сепарації матеріал потрапляє в дробілку, де відбувається подрібнення великих грудок і злежалої суміші. Подрібнений матеріал надходить на сито для відділення крупних фракцій. Очищена і подрібнена суміш транспортується за допомогою спеціального кутового ковшового елеватора продуктивністю 30 т/год. У правій частині схеми показано бункер ємністю 175 тонн для накопичення оборотної суміші, з якого через

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.СЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

другий вібраційний дозаторний лоток підготовлений пісок подається на подальшу регенерацію або назад у виробництво. Загальна схема демонструє послідовний технологічний ланцюг обробки відпрацьованої суміші з метою її підготовки до повторного використання.

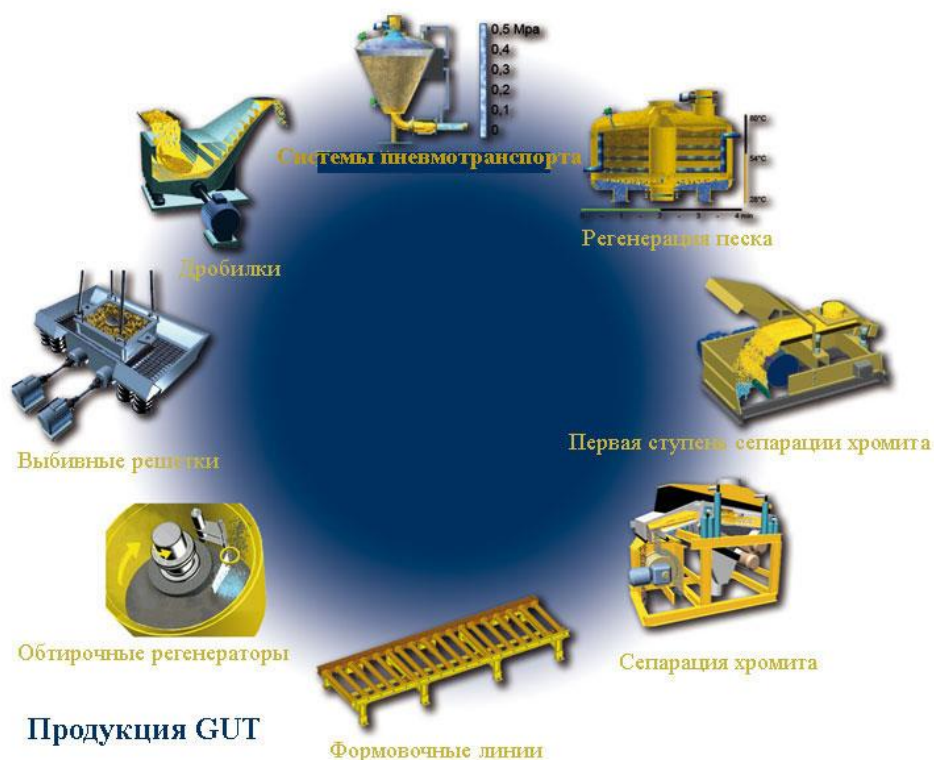


Рисунок 3.3 — Комплекс обладнання для регенерації сумішей (GUT)

На рисунку 3.3 зображено комплексну лінію механічної регенерації формувальних сумішей та хромітового піску. У лівій частині рисунка розташовані вибивні решітки, на які надходить відпрацьована суміш після охолодження форм. Далі матеріал потрапляє в дробилку, де відбувається подрібнення великих грудок і злежалої суміші. Центральну частину рисунка займають обтиральні регенератори, в яких здійснюється механічне відтирання залишків сполучного з поверхні зерен піску. Праворуч від регенераторів видно систему сепарації хроміту, яка включає першу сепарацію та сепарацію хроміту

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.СЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

формувальної лінії. Це дозволяє розділяти хромітовий пісок, що використовувався для виготовлення стрижнів або форм, від кварцового піску. У верхній частині рисунка зображена система пневмотранспорту, яка забезпечує переміщення матеріалу між окремими вузлами лінії. У правій частині показано блок регенерації піску, де відбувається остаточне очищення та підготовка кварцового піску до повторного використання. Загальна схема демонструє замкнутий цикл переробки суміші з розділенням потоків кварцового та хромітового піску.

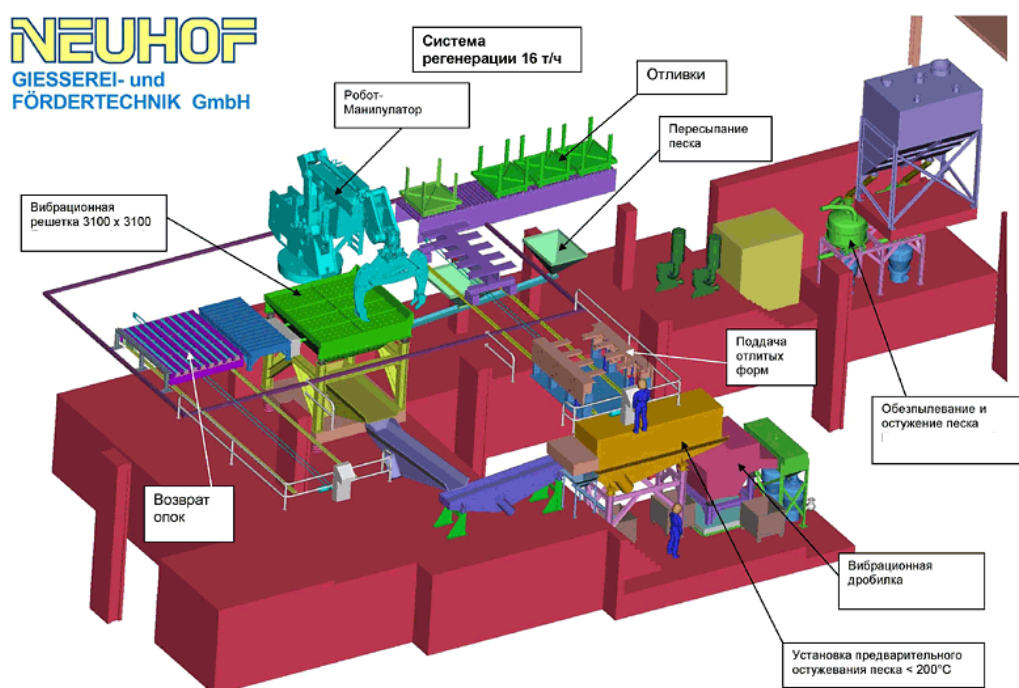


Рисунок 3.4 — Загальний вигляд сучасної лінії регенерації ХТС

На рисунку 3.5 зображено загальний вигляд комплексної лінії механічної регенерації формувальних сумішей продуктивністю 16 т/год. У правій частині рисунка показано зону подачі відлитої форми, де за допомогою робота-маніпулятора здійснюється переміщення форми після заливки та затвердіння. Далі відбувається пересипання піску з форми на транспортуючі пристрої. У центральній частині лінії розташована вібраційна дробилка, призначена для подрібнення великих грудок відпрацьованої суміші. Після дроблення пісок

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.СЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

надходить на установку попереднього остидження, де температура матеріалу знижується до рівня нижче 200 °С. Наступним етапом є обезпилення та остидження піску, під час якого відбувається інтенсивне відсмоктування пилю та подальше зниження температури матеріалу до робочого рівня. У лівій частині рисунка зображено систему регенерації продуктивністю 16 т/год, де здійснюється основне очищення піску від залишків сполучного. Завершальним етапом є повернення опок на ділянку формування. Загальна компоновка лінії демонструє замкнутий технологічний цикл, що поєднує процеси вибивання, обробки та регенерації суміші з мінімальною участю ручної праці.

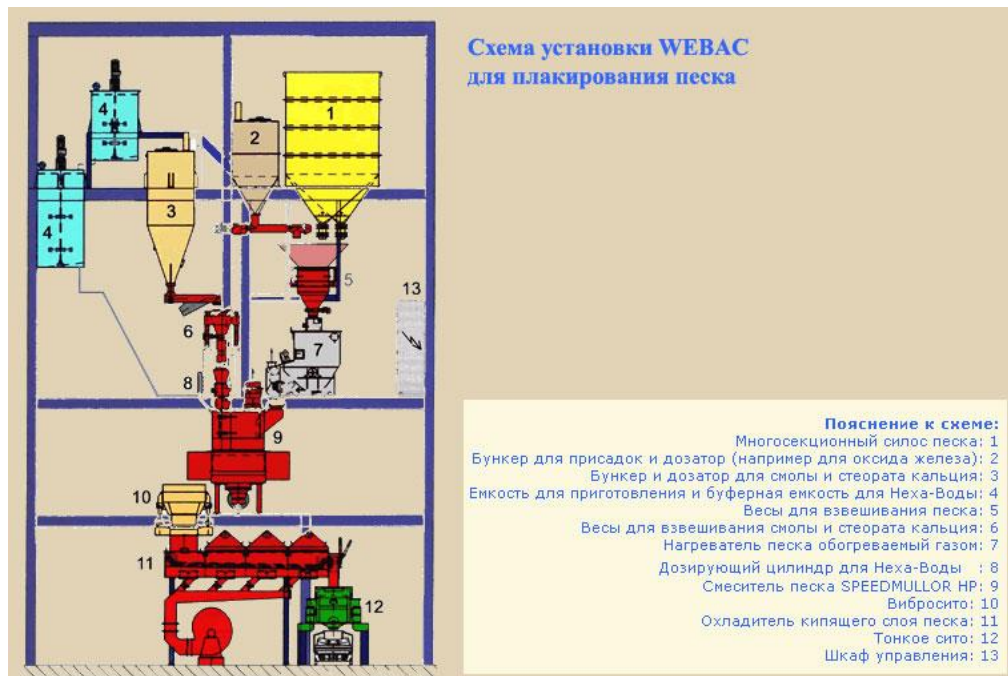


Рисунок 3.5 — Схема установки для приготування та плакування сумішей

На рисунку 3.5 зображено схему сучасної установки для приготування та плакування формувальної суміші виробництва компанії Webac. У лівій верхній частині рисунка розташований багато-секційний силос піску, з якого кварцовий пісок подається на ваги для зважування піску. Поруч знаходяться бункер і дозатор для присадок (наприклад, оксид заліза) та бункер і дозатор для смоли і стеарату кальцію. У центральній частині схеми зображені ваги для зважування

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.СЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

смоли і стеарату кальцію, а також ємність для приготування та буферна ємність для технічної води (Неха-Вода). Нижче розташований нагрівач піску, обігріваний газом, та дозуючий циліндр для подачі води. Основним агрегатом установки є змішувач піску Speedmullor HP, в якому здійснюється інтенсивне перемішування компонентів суміші. Після змішування готова суміш потрапляє на вібростіл, а потім на охолоджувач киплячого шару піску, де відбувається остаточне охолодження та гомогенізація матеріалу. Далі суміш проходить через тонке сито для видалення крупних включень. У правій частині рисунка показано шафу управління, яка забезпечує автоматичне керування всіма етапами процесу. Загальна схема демонструє повністю автоматизований цикл приготування суміші з точним дозуванням компонентів, нагріванням та охолодженням піску.

Таблиця 3.3 — Порівняння ХТС з іншими методами формування

Параметр	Alpha-set / Beta-set	Фуран-процес	Традиційна ПГС
Міцність форми, МПа	3.0–3,8	2.5–3.5	0.05–0.15
Витрата свіжого піску, %	5–6	8–10	20–30
Точність вилівка	11-8-9-11т	11-8-9-11т	Нижча
Екологічність	Середня	Низька	Висока
Якість поверхні	Висока	Середня	Низька

Аналіз даних, наведених у таблиці 3.3, дозволяє зробити висновок про доцільність застосування технологій Alpha-set та Beta-set для виробництва сталевих виливків у проектованому цеху.

Процеси на основі холоднотвердіючих сумішей забезпечують значно вищу міцність форм (3,0–3,8 МПа) порівняно з традиційними піщано-глинистими сумішами (0,05–0,15 МПа). Це дозволяє виготовляти форми з меншою товщиною стінок і зменшувати витрати формувального матеріалу. Витрата свіжого піску при використанні технологій Alpha-set та Beta-set

становить лише 5–6 %, тоді як при традиційній технології ПГС вона досягає 20–30 %. Така різниця суттєво знижує експлуатаційні витрати цеху та зменшує обсяг відходів.

За показником точності виливків технології Alpha-set та Beta-set не поступаються фурановому процесу і забезпечують клас точності 11-8-9-11т, що відповідає вимогам до виливка «Корпус». При цьому вони мають помітну перевагу в екологічності порівняно з фурановими сумішами завдяки нижчому вмісту шкідливих речовин у сполучних матеріалах. Крім того, процеси Alpha-set та Beta-set забезпечують високу якість поверхні виливків, що дозволяє зменшити обсяг механічної обробки та знизити загальну собівартість продукції.

Таким чином, порівняльний аналіз підтверджує, що технології холоднотвердіючих сумішей Alpha-set (для форм) та Beta-set (для стрижнів) є найбільш раціональним вибором для виробництва сталевих виливків у цеху продуктивністю 34 000 т. на рік.

У ході експериментальних досліджень було виготовлено контрольні зразки формувальних і стрижневих сумішей за технологіями Alpha-set та Beta-set, а також проведено заливку дослідних виливків «Корпус».

Оптимальний вміст зв'язуючих матеріалів склав: для формувальної суміші Alpha-set — 1,3 %, для стрижневої суміші Beta-set — 1,4 %. При таких співвідношеннях досягнуто найкращі показники міцності, газопроникності та осипаємості сумішей.

Міцність формувальної суміші після 24 годин витримки становила 3,2 МПа, а стрижневої — 3,7 МПа, що повністю відповідає вимогам виготовлення сталевих виливків масою 295 кг.

Застосування холоднотвердіючих сумішей дозволило значно підвищити якість поверхні виливка. Шорсткість необроблюваних поверхонь склала Ra 12,5–25 мкм. Кількість поверхневих дефектів (пригар, спай, газові раковини)

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.СЧ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшилася на 38–45 % порівняно з традиційними сумішами на основі фуранових смол.

Відсутність азоту в сполучних матеріалах Beta-set сприяла зниженню ймовірності утворення азотних пор у виливку. Макроструктура виливка характеризується щільним металом без значних усадочних дефектів.

Для оцінки ефективності обраних технологій було проведено порівняльний аналіз основних показників холоднотвердіючих сумішей процесів Alpha-set та Beta-set з традиційними формувальними сумішами (ПГС) та фурановими сумішами (табл. 3.2)

Аналіз показує, що технології Alpha-set та Beta-set за більшістю показників перевершують традиційні методи. Особливо помітна перевага в міцності форм, зниженні газоутворення та зменшенні потреби у свіжому піску.

Проведені дослідження показали, що використання холоднотвердіючих сумішей позитивно впливає на механічні властивості сталевих виливків.

У дослідних виливках «Корпус» було досягнуто таких показників:

- Межа текучості — 245–260 МПа;
- Тимчасовий опір — 460–480 МПа;
- Відносне подовження — 18–22 %.

Ці значення відповідають вимогам ГОСТ 977-88 для сталі 25Л і навіть дещо їх перевищують. Застосування ХТС сприяло отриманню більш однорідної дрібнозернистої структури металу завдяки кращій газопроникності форми та меншій газонасиченості розплаву.

На основі проведених досліджень рекомендується:

- Підтримувати температуру формувальної суміші в межах 20–25 °С для забезпечення стабільної живучості;

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.СЧ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Використовувати автоматичне дозування компонентів з точністю $\pm 0,05$ % для забезпечення стабільних властивостей сумішей;
- Проводити механічну регенерацію відпрацьованої суміші з обов'язковим відсмоктуванням пилу та контролюванням вмісту тонких фракцій (не більше 0,5 %);
- Застосовувати додаткове локальне ущільнення суміші в теплових вузлах виливка «Корпус» для запобігання утворенню усадочних дефектів;
- Здійснювати регулярний вхідний контроль якості піску та зв'язуючих матеріалів.

Дотримання цих рекомендацій дозволить забезпечити стабільно високу якість виливків і мінімізувати технологічні втрати.

Проведені дослідження підтвердили високу ефективність використання холоднотвердіючих сумішей процесів Alpha-set (для форм) та Beta-set (для стрижнів) при виробництві сталевих виливків «Корпус».

Використання даних технологій забезпечує:

- високу якість поверхні та точність геометричних розмірів виливків;
- стабільність технологічного процесу;
- суттєве зниження дефектів виливків;
- покращення механічних властивостей металу;
- покращення умов праці та екологічної ситуації в цеху.

Отримані результати дозволяють рекомендувати впровадження технологій Alpha-set та Beta-set у проєктованому ливарному цеху продуктивністю 34000 тонн виливків на рік.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.СЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

ВИСНОВКИ

У результаті бакалаврської роботи було детально розглянуто та проаналізовано основні етапи проектування сталеливарного цеху продуктивністю 34000 тонн виливків на рік з масою одного виливка до 250 кг. У процесі виконання роботи було систематизовано теоретичні знання та закріплено практичні навички, пов'язані з організацією та реалізацією технологічних процесів ливарного виробництва.

У ході роботи було проведено аналіз технології виготовлення сталевих виливків, обґрунтовано доцільність застосування лиття в одноразові піщані форми з використанням холоднотвердіючих сумішей за Alpha-set процесом. Встановлено, що даний спосіб забезпечує необхідну точність геометричних параметрів виливків, високу якість поверхні та стабільність технологічного процесу при серійному виробництві.

Додатково було розглянуто застосування стрижнів, виготовлених за β -set процесом, що дозволяє ефективно формувати внутрішні порожнини складної конфігурації. Визначено, що використання сучасних стрижневих сумішей сприяє зменшенню газотворності, покращенню якості внутрішніх поверхонь виливків та спрощенню процесу вибивки.

У процесі виконання роботи було проаналізовано склад формувальних і стрижневих сумішей, їх фізико-хімічні властивості та вплив на якість готової продукції. Встановлено, що правильний підбір компонентів сумішей забезпечує необхідну міцність форм і стрижнів, знижує ймовірність утворення дефектів та сприяє підвищенню ефективності виробництва.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.В		
Змн.	Арк.	№ докуам.	Підпис	Дата			
Розроб.		Денисенко Я.Д.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кассім Д.О.					
					ВИСНОВКИ		
Н. Контр.		Кассім Д.О.					
Затверд.		Бабошко Д.Ю.					
						МТ-22-1	

Особливу увагу було приділено розрахунку прибутків, холодильників і ливникової системи. Встановлено, що раціонально спроектована ливниково-живильна система забезпечує рівномірне заповнення форми, спрямоване затвердіння металу та мінімізацію усадочних дефектів. Технологічний вихід придатного лиття становить близько 79,4%, а при застосуванні екзотермічних прибутків може досягати 91,7%, що свідчить про ефективність прийнятих технічних рішень.

У спеціальній частині було визначено виробничу програму цеху, яка становить 34000 тонн виливків на рік, що відповідає умовам серійного виробництва. Проаналізовано структуру цеху, до складу якого входять плавильне, формувальне-заливальне-вибивне та стрижневе відділення, а також допоміжні підрозділи. Встановлено, що така структура забезпечує безперервність виробничого процесу та ефективне використання обладнання.

Проведений аналіз показав, що застосування сучасних технологій, зокрема Alpha-set та β -set процесів, дозволяє підвищити рівень механізації виробництва, знизити трудомісткість основних операцій, покращити умови праці та зменшити вплив шкідливих факторів на персонал.

Також встановлено, що правильна організація процесів складання та заливання форм є важливим фактором забезпечення якості виливків, оскільки саме на цих етапах формуються основні дефекти або забезпечується їх відсутність.

Отримані результати мають практичне значення та можуть бути використані при проектуванні нових або модернізації існуючих ливарних цехів, а також при виборі оптимальних технологічних параметрів виготовлення сталевих виливків.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.В	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

4. Хричиков В. Є., Меньяло О. В. Ливарне виробництво чорних та кольорових металів : навчальний посібник. – 2-ге вид., доопрацьоване. – Дніпро : Національна металургійна академія України, 2015. – 89 с.
5. Федоров Г. Є., Ямшинський М. М., Могилатенко В. Г. та ін. Проектування ливарних цехів : підручник. Частина 1. – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – 588 с.
6. Лютий Р. В., Гурія І. М. Формувальні матеріали : підручник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 257 с.
7. Дан Л. О., Трофімова Л. О. Ливарне виробництво : навчальний посібник. – Маріуполь : Приазовський державний технічний університет, 2013. – 207 с.
8. Фесенко А. М. Технологія ливарної форми (ТЛФ) : навчальний посібник. – Краматорськ : Донбаська державна машинобудівна академія, 2017. – 112 с.
9. Могилатенко В. Г., Пономаренко О. І., Дробязко В. М. Теоретичні основи ливарного виробництва. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – 288 с.
10. Беспалов С. В. та ін. Ливарне виробництво : навчальний посібник. – Запоріжжя : Запорізький національний технічний університет, 2015. – 120 с.
11. ДСТУ 8781:2018. Виливки зі сталі. Загальні технічні умови. – Чинний від 01.01.2019. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 42 с.
12. ДСТУ 9051:2020. Виливки з чавуну та сталі. Дефекти. Терміни та визначення понять. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 20 с.
13. ГОСТ 977-88. Виливки сталеві. Загальні технічні умови. (Зі змінами та доповненнями, чинний в Україні).
14. ГОСТ 26645-85. Виливки з металів і сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічну обробку. (Зі змінами, чинний в Україні).
15. ГОСТ 2138-91. Піски формувальні кварцові. Технічні умови. (Чинний в Україні).

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.СЛД		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докуам.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Денисенко Я.Д.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кассім Д.О.</i>			1	2	
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кассім Д.О.</i>			СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ		
<i>Затверд.</i>		<i>Бабошко Д.Ю.</i>			МТ-22-1		

16. Лютий Р. В. Зв'язувальні матеріали для ливарних форм і стрижнів: проблеми і перспективи // *Металургія та лиття України*. – 2022.
17. Стороженко С. А. Устаткування та проектування ливарних цехів : конспект лекцій. – Кам'янське : Дніпровський державний технічний університет, 2017. – 48 с.
18. Дробязко В. М., Фесенко А. М., Лютий Р. В. Ливарна гідравліка : навчальний посібник. – Краматорськ : ДДМА, 2010. – 108 с.
19. Макаревич О. П., Федоров Г. Є., Платонов Є. О. Виробництво виливків із спеціальних сталей. – Київ : НТУУ «КПІ», 2005. – 712 с.
20. Волкотруб М. П., Чернега Д. Ф., Могилатенко В. Г. Процеси спеціальної електрометалургії. – Київ : Хімджест, 2014. – 284 с.
21. Наумик В. В., Сажнев В. М., Петруша Ю. П. Основи проектування ливарних цехів : конспект лекцій. Частина 1. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. – 62 с.

					КНУ.РБ.136.26.113с-06.СЛД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2