

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра Матеріалознавства та ливарного виробництва

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри М та ЛВ
к.т.н., доц. Олександр КУЗИК
(прізвище та ініціали)
« ____ » _____ 2025 __р

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

**«Ливарний комплекс заводу сільськогосподарського
машинобудування з розробленням процесу виготовлення
виливків із сірого чавуну та дослідженням сучасних методів
одержання високоякісних стержнів»**

**«Casting complex of an agricultural machinery plant
with the development of a process for manufacturing gray
iron castings and research into modern methods for obtaining
high-quality cores»**

Виконав: здобувач вищої освіти 5-го курсу
групи ПМ-24М-1

Михайло Василенко

(прізвище та ініціали)

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Керівник роботи:

к.т.н., доц.

Олександр СКРИПНИК

(прізвище та ініціали)

Рецензент:

к.т.н., доц.

Віктор ПУКАЛОВ

(прізвище та ініціали)

Кропивницький – 2025

Центральноукраїнський національний технічний університет	
Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Матеріалознавства та ливарного виробництва
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри М та ЛВ
Олександр КУЗИК
«___» _____ 2025__р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Василенко Михайло Євгенійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Ливарний комплекс заводу сільськогосподарського машинобудування з розробленням процесу виготовлення виливків із сірого чавуну та дослідженням сучасних методів одержання високоякісних стержнів

керівник роботи доц., к.т.н. Скрипник Олександр Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом вищого навчального закладу від "4" 08 2025 року № 23-13

2. Строк подання студентом роботи 15.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи – завдання на дипломне проектування,

– матеріали переддипломної практики;

– державні стандарти та технічні нормативи

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Загальна частина, технологічна частина, наукова частина

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

– креслення відливка "Ступиця"

– підмодельна плита верха

– підмодельна плита низу

– стержневий ящик

– форма в зборі

– привод дробометних апаратів

– дробометний апарат

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Скрипник О.В., доц.		
2	Скрипник О.В., доц.		
3	Скрипник О.В., доц.		

7. Дата видачі завдання 9.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна частини	21.09.2025	
2	Розрахунки по технологічній частині	13.10.2025	
3	Креслення по технологічній частині	21.10.2025	
4	Наукова частина	17.11.2025	
5	Оформлення пояснювальної записки	12.12.2025	
6	Оформлення рецензії	16.12.2025	
7	Захист магістерської роботи	20.12.2025	

Дата видачі завдання «_____» _____ 2025__ р.

Керівник роботи _____ (Олександр СКРИПНИК)
(підпис)

Завдання прийнято до виконання «_____» _____ 2025__ р.

Здобувач вищої освіти _____ (Михайло Василенко)
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на 89 стор. друкованого тексту і містить 38 табл. 13 рис.

Завданням даної кваліфікаційної роботи є організація роботи ливарного комплексу заводу сільськогосподарського машинобудування з розробленням процесу виготовлення виливків із сірого чавуну та дослідженням сучасних методів одержання високоякісних стержнів.

В першому розділі пояснювальної записки описано відділення ливарного цеху (плавильне, формувальне, стержньове, очисне, обрубне) і вибрано основні типи обладнання для виконання технологічних операцій.

В другому розділі приведено аналіз конструкції деталі, розроблені технічні умови та технологія виготовлення виливка "Ступиця", виконано розрахунок ливниково-живильної системи, описано технологію виготовлення форми, наведено характеристику матеріалів, параметри та способи технічного контролю якості виливків.

В науковій частині магістерської роботи проведено аналіз існуючих технологій виготовлення стержневих сумішей і стержнів, проведено співставлення їх технологічних і механічних властивостей різних типів стержневих сумішей, запропоновано обладнання та склад стержневої суміші для застосування на виробництві.

Предмет розробки – дослідження сучасних методів одержання високоякісних стержнів.

Результати проектування – встановлено, що технології на основі ХТС («амін-колдбокс» процес) є більш перспективними, оскільки дозволяють зменшити матеріальні і енергетичні витрати, збільшити гнучкість процесу та досягти кращого співвідношення "метал : форма" (1:2 – 1:1) завдяки економному

застосуванню сухої суміші. Це створює передумови для формування міні-заводів з виробництва широкої номенклатури металевих виливків.

Результати розробки можуть бути рекомендовані для впровадження при виготовленні ливарних форм та стержнів в умовах серійного та масового виробництва.

**ЛИВАРНЕ ОБЛАДНАННЯ, ВІДЛИВОК, ФОРМА, ЖИВИЛЬНИК,
ПРИПУСК, СТЕРЖЕНЬ, ЗАЛИВКА, СПЛАВ, СТЕРЖНЕВА СУМІШ,
ТЕХНОЛОГІЧНІ І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ**

ABSTRACTS

The explanatory note is presented on 89 pages of the printed text and contains 38 tables and 13 figures.

The objective of this qualification work is to organize the operation of the foundry complex of an agricultural machinery plant, including the development of a process for manufacturing gray iron castings and research into modern methods for producing high-quality cores.

The first section of the explanatory note describes the departments of the foundry (smelting, molding, core, cleaning, trimming) and selects the main types of equipment for performing technological operations.

The second section provides an analysis of the part design, developed technical conditions and technology for manufacturing the “Hub” casting, calculations for the gating and feeding system, a description of the mold manufacturing technology, and characteristics of materials, parameters, and methods of technical quality control of castings.

The scientific part of the master's thesis analyzes existing technologies for manufacturing core mixtures and cores, compares the technological and mechanical

properties of different types of core mixtures, and proposes equipment and the composition of the core mixture for use in production.

The subject of the development is the study of modern methods for obtaining high-quality cores.

The results of the design show that technologies based on HTS (amine cold box process) are more promising, as they allow for a reduction in material and energy costs, increased process flexibility, and a better metal-to-weight ratio.

**CASTING EQUIPMENT, CASTING, MOLD, FEEDER, ALLOWANCE,
ROD, FILLING, ALLOY, ROD MIXTURE, TECHNOLOGICAL AND
MECHANICAL PROPERTIES**

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП.....	10
1	ЗАГАЛЬНА
ЧАСТИНА.....	11
1.1. Вибір та обґрунтування розташування цеху.....	11
1.2 Вибір технології виготовлення виливків та характеристика виробництва.....	1
2	
1.3 Структура ливарного комплексу заводу сільськогосподарського машинобудування.....	14
1.4	Плавильне
відділення.....	15
1.4.1 Характеристика сплаву, який виплавляється.....	15
1.4.2 Вибір плавильних агрегатів.....	17
1.4.3 Конструкція і принцип дії печі.....	18
1.4.4 Розрахунок балансу металу	20
1.4.5 Складання шихти.....	22
1.4.6 Устрій і робота плавильного відділення.....	22
1.5 Формувальне відділення.....	25
1.6 Стержневе відділення.....	26
1.6.1 Обґрунтування способу вибору виготовлення стержнів.....	26
1.6.2 Устрій і робота стержневого відділення.....	27
1.7 Сумішоприготувальне відділення.....	27
1.7.1 Устрій і робота сумішоприготувального відділення.....	29

1.8	Очисне відділення.....	30
1.9	Грунтування відливків.....	31
1.10	Допоміжні відділення.....	32
1.11	Площі під лабораторії і комори.....	33
	Висновки по першому розділу.....	34
2	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	35
2.1	Аналіз конструкцій деталей і технологічних умов на відливок.....	35
2.2	Розробка технологічного процесу виготовлення відливка.....	35
2.2.1	Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.....	35
2.2.2	Визначення положення відливка у формі.....	38
2.2.3	Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків.....	38
2.3	Розрахунок і конструювання ливникової системи.....	40
2.3.1	Визначення габаритних розмірів опоки.....	40
2.3.2	Визначення оптимальної тривалості заливки.....	40
2.3.3	Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.....	41
2.4	Вибір плавильного агрегату та складу шихти.....	44
2.5	Описання технологічного процесу виготовлення відливка.....	44
2.5.1	Формовка.....	44
2.5.2	Збирання форм.....	44
2.5.3	Заливка форм.....	45
2.5.4	Вибивка і обрубка.....	45
2.5.5	Вибивка і обрубка.....	46
2.6	Опис процесу проектування ливарного оснащення.....	46

2.7	Контроль	якості
відливків.....		48
Висновки по другому розділу.....		48
3 НАУКОВА ЧАСТИНА.....		49
3.1 Порівняння між технологічними можливостями різних методів опочної/безопочної формовки на базі класичних		
ХТС.....		54
3.2 Технологічні основи методу Laempfe LCM.....		71
3.2.1 Газовиділення і газопроникність.....		72
3.2.2 Розмірна точність.....		74
3.2.3 Вибиваємість.....		74
3.2.4 Живучість.....		75
3.2.5 Плинність.....		76
3.2.6 Прилипаємість суміші до модельного оснащення.....		76
3.2.7 Регенерація.....		77
3.2.8 Екологічні аспекти.....		78
3.2.9 Економічні критерії.....		80
Висновки по третьому розділу.....		81
ВИСНОВКИ.....		83
ЛІТЕРАТУРА.....		85
ДОДАТКИ.....		89

ВСТУП

Ливарне виробництво є основною заготівельною базою машинобудування.

Литі заготовки по розмірам та конфігурації в найбільшій мірі наближаються до готової деталі.

Основним напрямком вдосконалення та розвитку ливарного виробництва є розширене використання відомих і створення нових технологічних процесів, які дозволяють зменшити витрати матеріалу та енергії, знизити трудомісткість, збільшити продуктивність, покращити умови праці і усунути шкідливий вплив на оточуюче середовище та нарешті підвищити якість і ефективність виробництва.

У виробництві литих заготовок для деталей машин і приладів значне місце займають способи отримання відливоків в пісчаноглиняні форми, та так звані спеціальні способи лиття: по витоплюємих моделях, в керамічні форми, в кокіль, під тиском, центробіжне литво, електрошлакове лиття та інші, що дають змогу отримати відливки підвищеної точності, з високими службовими властивостями.

Технологічний процес одержання відливоків в пісчаноглиняні форми відрізняється тим, що має невелику матеріало- і енергоємність, трудомісткість, дозволяють практично повністю автоматизувати процес виготовлення відливоків, суттєво покращити умови праці і зменшити шкідливий вплив на оточуюче середовище.

Ці процеси, як правило здійснюються на автоматизованих або автоматичних ливарних установках, або лініях, тому сфера їх застосування в машинобудуванні весь час розширюється, а обладнання вдосконалюється.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Вибір та обґрунтування розташування цеху.

Вибір майданчика для будівництва ливарного цеху базується на комплексному аналізі економіко-географічних, логістичних та екологічних факторів, згідно з нормативними вимогами [1]:

1 фактори локалізації та логістичне забезпечення. Місце розташування ливарного цеху визначено на околиці міста Кропивницький, що мінімізує негативний вплив на житлові масиви. Основними перевагами обраного місця є:

а) транспортна інфраструктура: Близькість до магістральних транспортних шляхів:

– Одеська залізниця: забезпечує пряме сполучення з Донецьким вугільним басейном (джерело палива/коксу) та Криворізьким металургійним комбінатом (джерело металобрухту та чавуну);

– автомобільні магістралі: сприяють оперативній доставці сировини та відвантаженню готової продукції;

б) трудові ресурси: компактне розташування навколишніх селищ гарантує необхідну кількість кваліфікованих кадрів;

в) постачання сировини: формувальні та стрижневі піски передбачається постачати залізничним транспортом із Дніпровського кар'єру;

2 екологічні та інженерні аспекти:

г) захист навколишнього середовища (екологічний фактор): розташування на околиці враховує переважаючі напрямки вітру для мінімізації поширення промислових викидів:

– зимовий період: Південно-східний напрямок;

– літній період: Північно-західний напрямок;

3 водопостачання:

д) технічна вода: постачається від водоочисних споруд, розташованих за 3 км на схід від міста;

е) питна вода: надходить із артезіанських свердловин глибиною 260 м, розташованих на відстані 4 км;

4 енергопостачання:

ж) електроенергія: надходить від загальної енергосистеми через підстанцію 186/135/6 кВ/ГПП, а далі до цехових трансформаторних підстанцій. Розподіл у цеху здійснюється за радіальними та магістральними схемами з напругою мережі 380/220 В;

з) стиснене повітря: забезпечується компресорною станцією типу 4К–50Л. Встановлено 4 компресорні агрегати (по 750 одиниць продуктивності), з яких один є резервним [2];

5 тепlopостачання та вентиляція:

о) теплоносій: високотемпературна вода (150...170 °С), що подається від центральної котельної;

п) опалення: здійснюється за рахунок підігрітого повітря, що надходить із системи припливної вентиляції;

р) енергозбереження: усі ворота цеху обладнані повітряними тепловими завісами для зниження теплових втрат;

с) очищення повітря: все обладнання, що генерує шкідливі речовини, оснащено місцевими технологічними відсосами для локалізації та видалення забруднень.

1.2 Вибір технології виготовлення виливків та характеристика виробництва

Ливарний комплекс підприємства сільськогосподарського машинобудування спеціалізується на великосерійному виробництві виливків із сірого чавуну. Обґрунтування вибору технологічних процесів та відповідного

обладнання для такого типу виробництва ґрунтується на системному аналізі низки ключових параметрів.

При плануванні та оптимізації виробничого циклу необхідно враховувати такі визначальні аспекти:

1 характер виробництва: оскільки виробництво є великосерійним, пріоритетною вимогою до технологічного обладнання є забезпечення високої продуктивності та економічної ефективності. Це зумовлює необхідність впровадження автоматизованих та механізованих систем для всіх етапів, включаючи підготовку ливарних форм, процес заливки металу та подальшу фінішну обробку виливків;

2 потужність ливарного цеху: значна виробнича потужність передбачає використання високопродуктивного обладнання, здатного до безперервної та ефективної обробки великих обсягів розплаву та готової продукції.

3 геометричні параметри виливків (габарити та маса): ці характеристики є визначальними для вибору типу формувальних систем та відповідних розмірів основного технологічного устаткування (наприклад, формувальних машин, плавильних печей);

4 клас точності: вимоги до геометричної точності кінцевого виробу безпосередньо впливають на вибір технології виготовлення ливарних форм та послідовність механічної обробки після лиття;

5 матеріал виливків (сірий чавун): хімічний склад та фізико-хімічні властивості сірого чавуну визначають необхідні температурні режими плавки та заливки, а також вибір формувальних та стержневих матеріалів, які повинні забезпечувати необхідну термічну стійкість та газопроникність;

6 екологічні та безпекові стандарти: усі етапи виробничого процесу повинні неухильно відповідати чинним національним та міжнародним екологічним стандартам та нормам охорони праці і промислової безпеки.

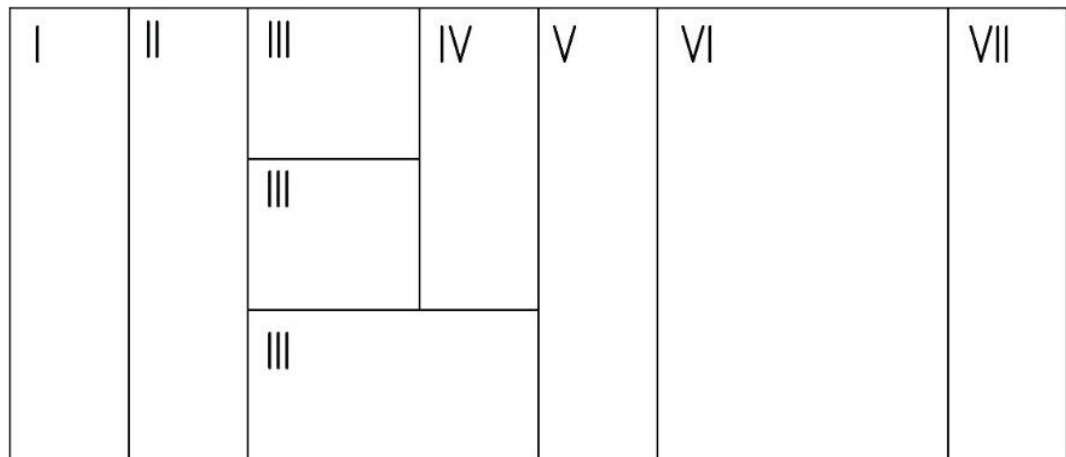
На підставі комплексного аналізу вищезазначених критеріїв, для ливарного комплексу цього заводу сільськогосподарського машинобудування обрано технологію лиття в разові об'ємні піщано-глинисті сирі форми.

Ця технологія визнана оптимальною для великосерійного виробництва виливків із сірого чавуну завдяки її ключовим перевагам:

- висока ефективність виробничого циклу;
- можливість повної автоматизації формувальних ліній;
- відносно низька собівартість формувальних матеріалів та процесу.

1.3 Структура ливарного комплексу заводу сільськогосподарського машинобудування

Ливарний комплекс за структурною схемою (рис. 1.1) буде включати в себе основні і допоміжні відділення та дільниці [6]:



I – відділення підготовки формувальних і шихтових матеріалів; II – плавильне відділення; III – формувально-залівально-вибивальне відділення; IV – стержневе відділення; V – сумішоприготувальне відділення; VI – відділення фінішних операцій; VII – приміщення для зберігання готової продукції

Рисунок 1.1 – Схема компоновки ливарного комплексу

I виробничі:

- формувально-залівально-вибивальне відділення;

- плавильне відділення;
- сумішоприготувальне відділення;
- стержневе відділення;
- відділення фінішних операцій з дільницею термічної обробки;

II допоміжні:

- цехові лабораторії;
- ремонтно-механічні майстерні;
- ремонту та сушки ковшів;
- регенерації суміші;
- ремонтно-механічні майстерні;

III підсобні приміщення та склади:

- приміщення для зберігання шихтових і формувальних матеріалів;
- модельного оснащення;
- готових виливків;

IV адміністративно-побутові приміщення.

1.4 Плавильне відділення

1.4.1 Характеристика сплаву, який виплавляється. Хімічний склад та механічні властивості сплаву по якому проводиться розрахунок проектуемого цеху зводимо до табл. 1.1, 1.2.

Таблиця 1.1

Хімічний склад сплаву СЧ 20

Марка сплаву	Вміст хімічних компонентів у сплаві, %				
	C	Si	Mn	S	P
СЧ 20	3,3 – 3,5	1,4 – 2,2	0,7 – 1,0	< 0,15	< 0,2

Таблиця 1.2

Механічні властивості сплаву СЧ 20

Марка сплаву	Тимчасовий опір розриву, МПа	Відносне видовження, %	Твердість НВ, МПа
СЧ 20	200	–	1700...2410

Чавуни. У залежності від хімічного складу, умов кристалізації та способів обробки у рідкому стані можна одержати різні за структурою і властивостями чавуни [6]. Форма включень графіту є однією з важливих характеристик, що визначають тип чавуну. За формою часток графіту:

– сірий чавун з пластинчастим графітом (СЧ) – це найбільш поширений ливарний сплав. Механічні властивості його визначаються співвідношенням структурних складових – фериту, перліту, графіту. Включення графіту зменшують міцність за рахунок утворення надрізів у структурі та є концентратами внутрішньої напруги.

На структуру не модифікованих чавунів впливає хімічний склад, що характеризується ступенем евтектичності або вуглецевим еквівалентом і швидкістю охолодження. Слід урахувати, що при даному ступені евтектичності більш високий вміст вуглецю і більш низький вміст кремнію дозволять одержати чавун з відносно меншою схильністю до ливарних дефектів. При більшому вмісті кремнію досягається дещо більша міцність і твердість за рахунок зміцнення фериту. Швидкість охолодження відливка у формі залежить від товщини стінок і матеріалу цієї форми (сира, суха піщана, металева, тощо).

– високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧ) характеризується поєднанням високих механічних і технологічних властивостей. Рідинотекучість чавуну з кулястим графітом краща, ніж у сірого чавуну високих марок, що дозволяє виготовляти відливки із товщиною стінок 3...5 мм. Але цей чавун схильний до утворення усадочних раковин і тріщин, вільна лінійна усадка складає приблизно 1 %. Відливки з цього чавуну успішно замінюють відливки із ковкого і сірого чавуну, кольорових сплавів і ливарних сталей. Високоміцний чавун знаходить широке застосування у різних галузях промисловості для виготовлення деталей відповідального призначення масою від кількох кілограмів до кількох тон,

колінчастих валів, деталей прокатного обладнання, деталей для роботи під високим тиском.

Підвищені властивості високоміцного чавуну зумовлені кулястою формою графіту, що у меншій мірі послаблює переріз відливки і не дає таких концентрацій напруги, як пластинчастий графіт. Таку структуру отримують з допомогою модифікаторів: магнію, магнієвих лігатур і комплексних модифікаторів з магнієм. При виробництві чавуну з кулястим графітом до шихтових матеріалів і плавильних агрегатів ставляться підвищені вимоги (підвищена температура рідкого чавуну, низький вміст сірки та фосфору, відсутність у шихті елементів–деглобуляризаторів).

Сірий і високоміцний чавуни – це головним чином конструкційні чавуни різного призначення. Маркуються чавуни буквами, що показують назву чавуну і цифрами, що стоять за буквами. У сірому та високоміцному чавуні цифри означають межу міцності при розтягуванні, кгс/мм² або МПа (СЧ20).

1.4.2 Вибір плавильних агрегатів. Для плавки сплаву СЧ 20 в якості плавильного агрегату використовуються індукційну тигельну піч промислової частоти [7]. З економічних міркувань доцільніше використовувати кислу футерівку. Використовуєма при цьому шихта повинна відповідати технічним умовам за сіркою і фосфором, адже десульфурація і дефосфорація в кислих печах не проводиться. Плавка в індукційних печах сприяє покращенню екологічної обстановки у цехах. Економічна ефективність плавки в цих печах підвищується при використанні у шихті чавунної та сталеної стружки, а також інших відходів із сталі та чавуну. Також можливо без ускладнень переходити від виробництва однієї марки сплаву до іншої. Загальний ККД індукційних тигельних печей складає 70...80 %.

По заданій потребі рідкого СЧ 20 на годину вибираємо печі які можуть задовольнити цій умові – ІЧТ-2,5, технічна характеристика якої представлена в табл. 1.3, а схеми на рис. 1.2.

Таблиця 1.3

Технічні характеристики ІЧТ-2,5

№ п/п	Найменування параметра	Одиниці виміру	Величина
1	Ємкість тигля	т	2,5
2	Потужність трансформатора	кВт	1300
3	Потужність печі	кВт	687
4	Потужність холостого ходу	кВт	112
5	Робоча температура рідкого металу	°С	1400
6	Теоретична тривалість плавки на твердій шихті	год	2,04
7	Число фаз контурного ланцюга	шт.	3
8	Теоретичні приведені витрати електроенергії на розплавлення і перегрів металу	кВт-год/т	585
9	Маса металоконструкцій електропечі	т	17
10	Загальна маса печі з розплавленим металом	т	22
11	Тип трансформатора		ЭОМН-1500/10
12	Напруга високої сторони	кВт	6 і 10

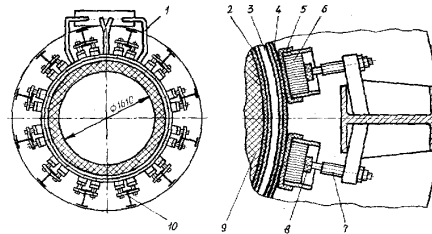
1.4.3 Конструкція і принцип дії печі. Індукційні тигельні печі складаються з наступних основних частин: індуктора, магнітопроводів, каркасу, футеровки, механізму нахилу, електроустаткування і системи охолодження печі.

Індукційні плавильні печі мають індуктор – котушку, яку підключають до мережі змінного струму. При протіканні по котушці струму в оточуючому її просторі виникає змінне електромагнітне поле, при взаємодії з яким металеві тіла нагріваються. Швидкість нагрівання залежить від теплофізичних властивостей металу, що нагрівається, і параметрів електромагнітного поля.

Причиною нагрівання металу в змінному електромагнітному полі є виникнення в металі вихрових струмів (струмів Фуко – за ім'ям вченого, який відкрив це явище). При проходженні цих струмів всередині металу в останньому виділяється, у відповідності із законом Ленца–Джоуля, теплота, за рахунок якої і відбувається нагрівання металу.

Індукований в провіднику змінний електричний струм, на відміну від постійного струму, розподіляється по перерізу провідника нерівномірно.

Найбільша густина струму спостерігається в поверхневих шарах провідника, а найменша – на осі. Нерівномірність розподілу струму по перерізу тим більша, чим більша частота струму, діаметр провідника, його електрична провідність і магнітна проникність. При дуже високих частотах і великих діаметрах провідників практично весь струм проходить тільки в тонкому поверхневому шарі провідника.



1 – електровивід; 2,4 – асбест; 3 – індуктор; 5,8 – ізолятори; 6 – магнітопровід; 7 – прижимний гвинт; 9 – футеровка печі; 10 – балка каркаса печі

Рисунок 1.2 – Поперечний розріз індукційної тигельної печі

Найбільша густина струму спостерігається в поверхневих шарах провідника, а найменша – на осі. Нерівномірність розподілу струму по перерізу тим більша, чим більша частота струму, діаметр провідника, його електрична провідність і магнітна проникність. При дуже високих частотах і великих діаметрах провідників практично весь струм проходить тільки в тонкому поверхневому шарі провідника.

В індукційних тигельних печах у ливарному виробництві виплавляють різні метали і сплави (сталь, чавун, мідь, бронзу, алюміній і т.д.). В цих печах усередині індуктора розташований тигель з вогнетривкого матеріалу. Внутрішній простір тигля заповнюється розплавленим металом. Тигель захищає індуктор від впливу рідкого металу. Товщина стінки тигля, тобто відстань між індуктором і рідким металом, впливає на електричні параметри

печі: чим товстіше стінка, тим більша кількість магнітних силових ліній, що пронизують котушку, не бере участі у нагріванні металу.

Велике значення для роботи індукційної печі має частота живильного струму. Кожному значенню місткості печі й електричному опору шихти відповідає певна частота струму. При виборі частоти струму враховують, що внутрішній діаметр тигля має бути не менше 3,5 глибин проникнення струму в шихту. Орієнтовні співвідношення між місткістю тигля в межах індуктора і частотою струму для сталі і чавуну наводяться нижче.

Для перегріву металу та доводки по хімічному складу застосовуємо індукційний тигельний міксер. Ємність міксера вибирається на підставі розрахункових даних програми цеху рівною 2...3 годинної потреби цеху в рідкому металі. Приймаємо два індукційних тигельних міксера ІЧТМ – 6 характеристика якого приведена в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Технічна характеристика індукційного тигельного міксера ІЧТМ – 6

Параметр	Одиниці виміру	Показник
Потужність печі	кВт	300
Робоча температура перегріву металу	°С	1450 - 1550
Ємність печі	т	6
Теоретичні витрати електроенергії при перегріву металу на 100 °С	кВт·год/год	45
Маса металоконструкцій міксера	т	17

1.4.4 Розрахунок балансу металу. На основі вихідних даних розраховуємо масу металеві завалки для плавильних печей.

$$M = \frac{100(P + L + B)}{10 - c - y}, \quad (1.5)$$

де P, L, B – відповідно придатне литво, ливники, брак, т;

c – зливи та сплески, прийняті по виробничим даним, %;

y – угар і безповоротні втрати, прийняті по виробничим даним, %.

Для сплаву СЧ 20:

$$M = \frac{100 \cdot (1,0 + 0,262 + 0,050)}{100 - 2,5 - 1} = 1,360 \text{ т}$$

Відносний вміст придатного литва, ливників, браку від металозавалки визначаємо за формулами:

$$n = \frac{\Pi}{M} \cdot 100 \%, \quad (1.6)$$

$$л = \frac{Л}{M} \cdot 100 \%, \quad (1.7)$$

$$\bar{б} = \frac{Б}{M} \%, \quad (1.8)$$

де n – вага придатного литва, т; $л$ – вага ливників, т; $\bar{б}$ – вага браку, т.

$$n = \frac{1,0}{1,360} \cdot 100 = 73,52 \%;$$

$$л = \frac{0,262}{1,360} \cdot 100 = 19,31 \%;$$

$$\bar{б} = \frac{0,050}{1,360} \cdot 100 = 3,67 \%$$

Масова доля угару і безповоротних втрат, зливів та сплесків визначаємо за формулами, т:

$$У = \frac{у}{100} \cdot M, \quad (1.9)$$

$$C = \frac{c}{100} \cdot M, \quad (1.10)$$

де y – угар, %; c – зливи та сплески, %.

Для сплаву СЧ 20:

$$Y = \frac{1}{100} \cdot 1,360 = 0,0136 \text{ т}$$

$$C = \frac{2,5}{100} \cdot 1,360 = 0,0340 \text{ т}$$

Кількість рідкого металу, т:

$$Q_{pm} = M - Y, \quad (1.11)$$

$$Q_{pm} = 1,360 - 0,0136 = 1,346 \text{ т}$$

Баланс металу зводимо до табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Баланс металу сплаву СЧ 20

Компонент	Вміст	
	%	т
Придатне литво	73,52	1,000
Ливники	19,31	0,262
Брак	3,67	0,050
Угар, безповоротні втрати	1	0,0136
Зливи і сплески	2,5	0,0340
Всього	100	1,360

1.4.5 Складання шихти. Розрахунок шихти методом підбору виконано згідно рекомендацій [7] і наведено в табл. 1.6.

Баланс металу на 1т придатного литва зводимо до табл. 1.7.

1.4.6 Устрій і робота плавильного відділення. Плавильне відділення розташоване з торцевої сторони ливарного цеху. Шихтові матеріали, які поступають на склад по залізниці, розвантажуються на спеціальний майданчик вздовж колії. Металева шихта з відкритих вагонів розвантажуються мостовим краном з магнітною шайбою. Зберігається шихта в закромах, які заглиблені відносно пола складу на 4 м. Доставка металевої шихти до місця її зберігання для подальшого завантаження в плавильні печі робиться також за допомогою мостового магнітного крана. Флюси завантажуються мостовим грейферним краном в спеціальні ємності.

Таблиця 1.7

Баланс металу на 1 т придатного литва для сплаву СЧ 20

№ п/п	Компоненти	%	т
Прибуткова частина			
1	Чавун ливарний	46,22	0,628
2	Лом сталевий	4,8	0,065
3	Лом чавунний	19,29	0,261
4	Відходи власного виробництва	25,49	0,346
5	Феросиліцій	3,6	0,048
6	Феромарганець	0,6	0,012
Всього		100	1,360
Витратна частина			
1	Придатне литво	73,51	0,999
2	Ливники	19,31	0,262
3	Брак	3,68	0,0854
4	Угар та безповоротні втрати	1	0,0136
5	Зливи та сплески	2,5	0,036
Всього		100	1,360

Біля плавильних печей розташовано бункери для шихтових матеріалів і флюсів. Металева шихта із бункерів поступає в вагові дозатори (печі оснащено установкою для зважування шихти).

Таблиця 1.6

Розрахунок шихти для сірого чавуна СЧ 20 при плавці в ІЧТ–2,5

№ п/п	Найменування матеріалу	Марка матеріалу	Вміст матеріалу в шихті, %	Варіант шихти основний									
				С		Si		Si		S		P	
				в мат.	в шихті	в мат.	в шихті	в мат.	в шихті	в мат.	в шихті	в мат.	в шихті
1	Чавун ливарний	Л5, Л6 ДСТУ 3132-95	46,22	4,12	1,895	1,3	0,598	0,5	0,230	0,02	0,009	0,01	0,005
2	Лом сталевий	Вид 21 ДСТУ 4121-02	4,8	0,3	0,013	0,4	0,018	0,5	0,022	0,04	0,002	0,04	0,002
3	Лом чавунний	Вид 26 ДСТУ 4121-02	19,29	3,4	0,655	1,9	0,366	0,85	0,163	0,2	0,038	0,3	0,057
4	Відходи власного виробництва	СЧ 20 ГОСТ 1412-85	25,49	3,4	0,866	1,9	0,484	0,85	0,216	0,2	0,050	0,3	0,076
5	Феросиліцій	ФС 45 ДСТУ 4127-02	3,6		0,000	25	0,900	0,7	0,025	0,04	0,001	0,05	0,002
6	Феромарганець	ФМп–78 ДСТУ 3547-97	0,6	7	0,042	2	0,012	82	0,492	0,03	0,000	0,03	0,000
Всього			100		3,473		2,378		1,128		0,103		0,145
Угар (-), пригар (+)				-5	0,173	-3	-0,071	-12	-0,135	0	0,0	0	0
Місткість в рідкому чавуні				3,300		2,307		0,993		0,103		0,156	
Потрібний хімічний склад				3,3 – 3,5		1,4 – 2,4		0,7 – 1,0		до 0,15		до 0,2	

Завантаження печей металозавалкою здійснюється мостовим краном вантажопідйомністю $Q = 15$ т, оснащеного магнітною шайбою.

Для обслуговування печей, транспортування рідкого металу від них до заливальної дільниці застосовується мостовий кран $Q = 15$ т.

Подину набивають формувальною сумішшю. Після ремонту футерівку сушать.

Для транспортування рідкого металу від плавильних агрегатів використовуються кранові чайникові ковші місткістю 1000 кг згідно рекомендацій [8].

Дані про вибрані ковші приведені в табл. 1.8.

Таблиця 1.8

Ковшове господарство цеху

Тип ковша	Місткість, кг	Кількість
Крановий чайниковий ківш	1000	8

1.5 Формувальне відділення

При виробництві відливків використовується автоматична формувальна лінія моделі ІЛ 225 [9], технічна характеристика якої приведена в табл. 1.9.

Таблиця 1.9

Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії моделі ІЛ 225

Назва характеристики	Одиниці виміру	Числове значення
Розміри опок /внутрішні/	мм	900 × 600 × 125-250
Продуктивність	форм/год	240
Маса відливки	кг	60
Кількість опок	шт	100
Виграти повітря	м /год	110
Потужність	кВт	115
Маса	кг	220000
Габаритні розміри	мм	65200 × 9300 × 6855

Комплексна автоматична лінія формування й вибивання на базі прохідних однопозиційних пневматичних важільних пресових автоматів модель ІЛ 225, яка

виробляється Івано-Франківським заводом "Авто-літмаш", показано на кресленні. Ця лінія, а також 19 її модифікацій призначені для виготовлення відливок із сталі й чавуну в одноразових формах.

Форми виготовляють методом верхнього пресування на пневматичних важільних формівних автоматах. Рівномірність густини суміші досягається тим, що для пресування застосовується пасивна багатоплунжерна головка і вібрація суміші під час пресування. Роликові конвеєри, які з'єднують агрегати лінії, є нагромаджувачами. Швидкість, яку забезпечують роликові конвеєри, в 4,5 рази перевищує технологічно необхідну, тому оброблені предмети (опоки, півформи, форми) швидко передаються до нового агрегату, що забезпечує безперебійну роботу агрегатів.

Роликові конвеєри складаються з окремих уніфікованих секцій довжиною 4,5 і 6 м. Електропривод роликових конвеєрів складається з електродвигуна, черв'ячного редуктора і фрикційної муфти. На кожному валу на шпонках встановлено фрикційні диски, між якими за допомогою тарілчастих пружин затиснено привідні зірочки, що захищає привід від руйнування.

1.6 Стержневе відділення

1.6.1 Обґрунтування способу вибору виготовлення стержнів. Оскільки маса стержнів не перевищує 6 кг, для виготовлення стержнів приймаємо універсальний автомат моделі B12GS/JI. Стержні виготовляються у ящиках з горизонтальним роз'ємом по методу LCM, що дає можливість підвищити точність стержня, а відповідно і точність відливок. Крім того, зменшення ливарних припусків дозволяє зменшити витрати на механічну обробку, зникає необхідність у виготовленні каркасів, в громіздких (що займають великі площі) сушильних

агрегатах, зростає продуктивність одиниці площі [11]. Технічна характеристика автомату приведена в табл. 1.10.

Таблиця 1.10

Технічна характеристика піскострільного автомату моделі В12GS/J/I

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Найбільша маса стержня	кг	16
Продуктивність	зйомів/год	70...94
Розміри стержневого ящика	мм	650×600×600
Тривалість циклу	с	18
Потужність електродвигуна	кВт	140
Габарити	мм	3792×2341×2768
Маса	кг	13000

1.6.2 Устрій і робота стержневого відділення. Стержнева суміш до стержневих автоматів моделі В12GS/J/I поступає із сумішоприготувального відділення за допомогою спеціального візка і передається безпосередньо в бункери для роздачі, що розташовані над стержневими автоматами. На території ділянки є спеціальне місце, на якому зберігають стелажі з готовими стержнями.

Технологічний процес виготовлення стержнів по методу LCM полягає в тому, що стержньова суміш, яка заповнює порожнину попередньо стержньового ящика, на протязі 15 - 60 с твердіє. Отриманий стержень не потребує додаткової сушки, а його міцність достатня для транспортування і постановки в форму. Головна особливість технологічного процесу виготовлення стержнів по методу LCM полягає в тому, що отримані стержні мають високу міцність.

Для очищення робочої поверхні ящика і покриття її роздільним складом машина має рухомі форсунки, які при русі уперед обдувають стиснення повітрям робочу поверхню розкритого ящика, а при русі назад – покривають її роздільним складом.

1.7 Сумішоприготувальне відділення

Для приготування формувальної суміші вибираємо змішувач ливарний типу бігунів періодичної дії з вертикальними котками моделі 15104 [10]. Технічна характеристика бігунів наведена у табл. 1.11.

Таблиця 1.11

Технічна характеристика змішувача моделі 15104

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Об'єм замісу	т	2,0
Продуктивність	м ³ /год	40...60
Розміри чаші – висота × внутрішній діаметр	мм	1130 × 2540 ± 13,5
Кількість котків	шт	2
Частота обертання вертикального вала	об/хв	29±3
Продуктивність витяжної вентиляції	м ³ /год	6000
Габаритні розміри	мм	3850×3150×3250
Маса змішувача	кг	11000

Склад формувальної суміші приймаємо за необхідними вимогами [10] табл. 1.12.

Для приготування стержневої суміші приймаємо змішувач ливарний типу моделі С1Ш-3, технічна характеристика якого наведена в табл. 1.13.

Таблиця 1.12

Склад і фізико-механічні властивості формувальної суміші

Складова суміші і параметри	Одиниці виміру	Значення параметру
Зворотна суміш	%	96
Пісок кварцовий КО2, КО16	%	3
Вугілля гранульоване	%	0,15
Бентоніт	%	0,15
Вода	%	до вологості 3,0 - 4,0
Вміст глиняної складової	%	11
Вміст активного бентоніту	%	8
Втрати при прожарюванні	%	3
Вологість	%	3,5
Міцність на стиснення у сирому стані	МПа	0,12 - 0,15
Газопроникність	одиниць	80

Таблиця 1.13

Технічні характеристики змішувача С1Ш-3

№ п/п	Параметр	Одиниці виміру	Значення
1	Тип устаткування		Змішувач одношнековий

			високошвидкісний поворотний безперервної дії
2	Кількість робочих органів (шнеків)	шт	1
3	Тип шнека		лопатний
4	Кут повороту камери перемішування	°, не менше	180
5	Радіус дії	мм	720
6	Продуктивність	м ³ /год	0,3
7	Діаметр шнека	мм	144
8	Число оборотів шнека	хв ⁻¹	690
9	Кількість електронасосних агрегатів	шт	2
10	Необхідний тиск повітря в мережі	МПа	0,5...0,63
11	Рід струму живлячої мережі		змінний трифазний, 50 Гц
12	Напруга	В	380/110-24
13	Встановлена потужність	кВт	4
14	Габарити (без електрошафи і підставки з насосами)	мм	1375×420×1652
15	Маса змішувача	кг, не більше	450

Склад стержневої суміші приймаємо за необхідними вимогами [9]
табл. 1.14.

1.7.1 Устрій і робота сумішопріготувального відділення.

Сумішопріготувальне відділення розташоване біля формувальної і стержньової дільниць. Змішувачі обладнують бункерами для сипучих і рідких компонентів. Матеріали подаються за допомогою стрічкового конвеєра. Відпрацьована суміш з-під вибивної решітки автоматичної формувальної лінії поступає на конвеєр, на якому збирається просип з формувальних машин, просіюється на барабанному решеті, підлягає електромагнітній сепарації і після цього охолодженою до $T = 38 - 40$ °С і зволоженою поступає у змішувач для приготування формувальних сумішей.

Таблиця 1.14

Склад стержневої суміші і фізико-хімічні властивості

Складові суміші і властивості	Одиниці виміру	Значення параметра
Пісок кварцовий, %	%	100
Поліуретанова смола, %	%	0,40...0,80
Полізоціанат, %	%	0,40...0,80

Амін, %	%	0,05...0,08
Живучість суміші,	год	6...8
Газопроникність,	одиниць	80
Міцність на вигин,	МПа	2,00...5,00
Характеристика системи		слабокисла

1.8 Очисне відділення

В числі витрат праці по виготовленню відливків очисні операції складають до 40%, причому в очисних відділеннях застосовується найбільша кількість ручної праці.

У очисному відділенні виконуються операції щодо видалення стержнів з відливків, обрізання ливниково-живильної системи, зачистки, обрубки.

У відділенні повинні бути робочі місця для остаточного контролю, комплектування і вивозу відливків. Для очистки та охолодження відливків із вказаних сплавів приймаємо галтовочний барабан безперервної дії моделі ОБ-90 [1]. Технічна характеристика барабана наведена у табл. 1.15.

Також для очистки відливок застосовуємо дробометний барабан моделі 42322М, технічна характеристика якого наведена в табл. 1.16.

Таблиця 1.15

Технічна характеристика галтовочного барабана моделі ОБ-90

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Продуктивність,	т/год	3,5
Об'єм завантаження,	м ³	1,8
Габаритні розміри,	мм	3500×1650×1500
Маса,	т	3,9
Потужність електродвигуна,	кВт	7,5

Таблиця 1.16

Технічна характеристика дробометного барабану безперервної дії моделі 42322М.

№ п/п	Найменування	Одиниці виміру	Значення
1	Найбільша продуктивність при очищенні відливок із СЧ	т/год	5

2	Найбільша маса відливків	кг	25
3	Найбільша об'ємна діагональ відливків які очищаються	мм	700
4	Максимальні габарити відливків	мм	400 × 400 × 400
5	Загальний об'єм повітря що відсмоктується	м ³ /год	17000
6	Кількість дробометних апаратів	шт	2
7	Сумарна маса дробу	кг/хв	500
8	Дріб ГОСТ 11964-66, діаметр	мм	0,8/2,5
9	Габаритні розміри машини: довжина × ширина × висота	мм	7600 × 4500 × 7100
10	Маса машини	кг	30000
11	Загальна потужність всіх електродвигунів	кВт	65
12	Термін роботи до капітального ремонту	год	4000

Для подальшої зачистки відливків приймаємо зачисні верстати моделі ЗМ363 [10]. Технічна характеристика наведена в табл. 1.17.

Таблиця 1.17

Технічна характеристика зачисного станка моделі ЗМ363

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Зернистість	одиниць	80 - 125
Продуктивність	т/год	0,5 - 0,6
Частота обертання шпинделя	об/хв	955 - 1425
Потужність електродвигуна	кВт	7,5

1.9 Ґрунтування відливків

У масовому та крупносерійному виробництві ґрунтовка виконується на конвеєрі, який об'єднує всі фарбувально-сушильні агрегати (табл. 1.18 – 1.20).

Для транспортування дрібних відливок до 10 кг рекомендуються набірні касети на 2...8 відливок або корзини.

Таблиця 1.18

Технічна характеристика миючої машини

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Продуктивність	кг/хв	70
Тривалість промивки відливків	хв	10
Температура миючої рідини	°С	90
Габаритні розміри відливків	мм	425×315×250
Ємність ванни	м ³	3,3
Швидкість руху відливків через камеру	м/хв	0,65
Потужність електродвигуна	кВт	11,4

Таблиця 1.19

Технічна характеристика прохідної фарбувальної камери

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Розмір фарбованих відливок – довжина × ширина × висота	мм	370×360×250
Кількість відсмоктувального повітря	Нм ³ /год	8000
Потужність	кВт	4,7
Загальна вага	кг	897

Таблиця 1.20

Технічна характеристика сушильної прохідної камери

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Максимальний розмір відливків – довжина × ширина × висота	мм	2700×800×500
Температура сушки,	°С	90
Продуктивність камери,	кВт	10,2
Загальна вага,	кг	20760

1.10 Допоміжні відділення

До допоміжних відділень ливарного цеху відносяться:

- 1) ковшове відділення, де проводиться поточний ремонт ковшів, а також підготовка їх до роботи;
- 2) модельно-ремонтна майстерня, яка забезпечує нормальне функціонування модельного оснащення;

- 3) цехові комори, в яких зберігаються різного виду допоміжні матеріали, інструменти;
- 4) цехові лабораторії: земельна, хімічна та ін.;
- 5) ремонтно-механічна майстерня, яка виконує поточний і середній ремонт обладнання цеху;
- 6) санітарно-технічна майстерня, в якій виконується поточний та середній ремонт, а також підтримується нормальне функціонування водопроводів, каналізації, опалення і вентиляції цеху;
- 7) електромагнітна майстерня, яка виконує поточний і середній ремонт, а також забезпечує нормальне функціонування електрообладнання і освітлення цеху;
- 8) дільниця регенерації суміші.

Для дільниці регенерації суміші розраховуємо барабанні решета і електромагнітні сепаратори. Приймаємо барабанні решета моделі 176М, характеристика яких наведена в табл. 1.21.

Таблиця 1.21

Технічна характеристика барабанного решета моделі 176М

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Продуктивність	м ³ /год	30
Частота обертання	об/хв	23
Потужність	кВт	5,5
Маса	кг	1730
Габарити	мм	3700×1860×1700

1.11 Площі під лабораторії і комори

Визначаємо площі під лабораторії й комори.

Лабораторія хімічна і спектральна	50 м ²
Лабораторія механічних випробувань	36 м ²
Загальна цехова комора	36 м ²
Інструментальна комора механіка, електрика	50 м ²

Інструментальна комора обрізної дільниці 36 м²

Інструментальна ремонтна майстерня – визначаємо за допомогою таблиці [2], виходячи з кількості одиниць технологічного і підйомно-транспортного устаткування, встановленого в цеху.

Площа, яка приходить на 1 верстат 8...10 м², і місце слюсаря буде знаходитися в межах 4 - 6 м² [2].

Тому площу під один верстат приймаємо 8 м², а місце слюсаря 4 м².

Сумарна площа ремонтної майстерні можна визначити:

$$S_{др} = 4 \cdot 8 + 4 \cdot 4 = 48 \text{ м}^2$$

Дільниця футеровки ковшів і ремонту ковшових печей. Ковшова дільниця призначена для капітального ремонту й футеровки ковшів, а також для ремонту плавильних печей.

Для футеровки ковшів застосовують вогнетривкі матеріали. Ці матеріали зберігають на складі, а маси для футеровки готують на спеціальній дільниці підготовки ковшів. Цю дільницю найчастіше розміщують у плавильному відділенні, у тому самому прольоті, де розливають рідкий метал. Площу дільниці беруть із розрахунку 8...10 м² на 1000 т придатного литва на рік [11].

$$S_{кф} = 10 \cdot 10 = 100 \text{ м}^2$$

Висновки по першому розділу

- 1 Обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху.
- 2 Описано роботу плавильного, формувального-заливно-вибивного, стержньового, сумішоприготувального, очисного відділень, дільниць обрубки виливків,

модельного оснащення та готової продукції, визначені площі під лабораторії та комори, адміністративних та побутових приміщень.

3 У відповідності з технологічним процесом виготовлення виливків, підібрано обладнання плавильного, формувальньо-заливно-вибивного, стержневого та очисного відділень.

4 Приведено опис процесів плавки сплаву СЧ, приготування формувальних і стержневих сумішей, виготовлення ливарних форм і стержнів.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз конструкції деталі і технологічних умов на відливок

Відливок відноситься до XI класу точності за ГОСТ 26645 – 85, виготовляється із СЧ 20 за ДСТУ 8833:2019 [12]. Різностінність не більше 3 мм, короблення не більше 2 мм, перекіс по роз'єму до 2 мм. На оброблених поверхнях допускаються одиничні раковини довжиною не більше 1/3 кола, шириною не більше 5 мм, або мілкі раковини найбільшим розміром 3 мм в кількості не більше 5 штук. На необроблених поверхнях допускаються одиничні раковини розміром не більше 9 мм, глибиною не більше 4 мм і в кількості не більше 8 штук на поверхню. У місцях спряження стержня і форми допускається присутність кільцевих заусениць довжиною до 1,5 мм.

Деталь "Ступиця" представляє собою частину пристрою, який призначено для транспортування важких вантажів. Маса деталі 2 кг, габаритні розміри 121,5 × 112,5 × 80 мм, твердість 131...157 НВ.

Оброблюваними поверхнями являються посадкові місця на вал. Інші поверхні не оброблюються. Даний відливок є технологічним. Зовнішня поверхня відливка представляє собою прямолінійні контури, зчленовані плавними переходами, які забезпечують деяку деформацію відливка при його усадці під час охолодження у формі і зниження залишкових напружень в місцях спряження прямолінійних ділянок. Відливок має один стержень, немає з'ємних частин, роз'єм моделі і форми один.

2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення відливка

2.2.1 Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.

Для виготовлення відливка "Ступиця" застосовуємо автоматичну ливарну лінію ІЛ

225 Івано-Франківського заводу "Авто-Літмаш" (рис. 2.1). На цій лінії весь процес отримання відливка, від операції формовки до вибивки готової форми, автоматизовано. Розмір опоки в світлі 900×600 мм. Висота верхньої опоки рівна висоті нижньої – 100...200 мм. Модельні плити односторонні, на одній плиті змонтовані частини моделі для оформлення низу форми, на іншій – для верха.

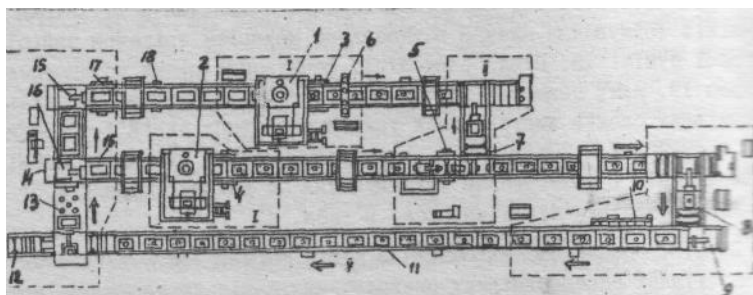


Рисунок 2.1 – Автоматична лінія ІЛ 225

Процес формовки починається з виготовлення напівформи низу на формувальному пресі В-440М [9]. Виготовлена напівформа по рольгангам направляється на обдув стисненим повітрям для видалення частинок формувальної суміші, що потрапили у порожнину форми. Напівформа верху також виготовляється на формувальному пресі В-440М. З ділянки виготовлення стержнів готові стержні транспортуються до місця збирання напівформ. Стержні проставляються вручну у напівформі низу, потім за допомогою розпаровщика опок ІС-10-001 напівформа верху з'єднується з напівформою низу. Зібрана форма направляється по рольгангам на ділянку заливки. Заливка форми виконується автоматичним заливщиком з ковшем, ємкість якого 250 кг. Перед заливкою сталь повинна бути очищений від шлаку. Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії моделі ІЛ 225 наведена в таблиці 1.9.

Оскільки маса стержнів не перевищує 6 кг, то для їх виготовлення використовуємо універсальний стержньовий автомат моделі В12GS/JI.

Стержні виготовляються у гарячих ящиках з швидкотвердіючих термореактивних сумішей, що дає можливість підвищити точність стержнів, а відповідно і точність відливків.

Втрати температури чавуну при випуску із плавильної печі, транспортуванні і переливі із ковша в ківш повинні бути враховані при встановленні температури заливки форм. При випуску сталі з плавильної печі втрати температури складають від 20 до 40 °С, а при переливі з ковша в ківш – 30...50 °С.

Рекомендована температура заливки СЧ 20 при середній товщині стінки відливки 12 мм і з врахуванням втрат тепла складають 1550 – 1420 °С.

Під час заливки форми необхідно слідкувати за рухом розплаву з ковша у форму. У початковий момент заливки необхідно повертати ківш плавно, без ривків, однак достатньо швидко, щоб заповнити ливникову систему і чашу. Після заливки форми, відливок охолоджується і твердіє, разом з формою пересуваючись по рольгангам з ділянки заливки до ділянки вибивки. За час руху у відливці закінчуються усі перетворення. Чавунні відливки необхідно вибивати при температурі 200°С. Форми, що охололи, направляються на ділянку вибивки. Форма видавлюється на спеціальній установці, на якій суміш і відливка видавлюються пресом на вібраційну решітку із нерухомої форми. Опoki автоматично зіштовхуються з плити ливарного конвеєра штовхачем і форма видавлюється пресом на вібраційну решітку, де руйнуються спресовані грудки суміші, які запеклися. Потім суміш поступає по лотку на транспортер.

Відливки потрапляють в барабан для остаточного відділення від суміші. Із барабанів відливки направляються на пластинчатий транспортер і подаються ним у очисне відділення для очищення, обрубки і обробки.

Перед очищенням відливки попередньо оглядаються, брак видаляється і не поступає на очистку.

Технологічний процес очищення відливка складається із наступних операцій:

- видалення стержнів із відливків;
- відділення ливників, випарів;

- очищення відливків від прилиплої формувальної суміші;
- остаточного контролю якості відливків після очищення і обрубки.

Відливки зачищаються абразивними кругами з метою видалення заливків, заусениць, перекосів і нерівностей поверхонь. Обдирання відливків здійснюється на стаціонарних обдирочно-зачисних верстатах.

Контроль якості відливків здійснюється зовнішнім оглядом БТК цеху. Після виправлення знайдених недоліків знову контроль якості - БТК цеху. Грунтовка відливків здійснюється для захисту від корозії при зберіганні на складі і в процесі механічної обробки.

Відливки перед фарбуванням промиваються в двокамерній машині і потім сушаться теплим повітрям. Далі виконується грунтовка відливків з зануренням у ванну і просушуванням у камері при 60 °С на протязі 10 хв. Після фарбування відливки направляються на склад готових виробів.

2.2.2 Визначення положення відливка у формі. Положення відливка у формі в період заливки вибираємо вертикальним, так як оброблювані поверхні – посадочні місця на валу – повинна бути розташовані вертикально, для запобігання отримання раковин, дефектів із-за забруднення, рихлості. Поверхня роз'єму моделі і форми при цьому займає вертикальне положення і являється єдиною для даного відливка, що полегшує застосування машинної формовки. Поверхня роз'єму розташовується так, що модель не має з'ємних частин. Роз'єм моделі і форми розташовується таким чином, що відливок знаходиться в нижній і верхній напівформах симетрично. Такий роз'єм забезпечує хорошу набивку форми, її складання, надійність встановлення стержнів, зручність контролю розмірів форми, вільне вилучення моделі із форми.

2.2.3 Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків. Розміри

відливка відрізняються від розмірів готової деталі на величину припусків на механічну обробку. Величину припусків для СЧ 20 вибираємо по ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. На кресленні межі припусків обводяться тонкою лінією і вказується величина припуску, яка по ГОСТ 26645-85 для даної деталі складає 2 мм [13].

Припуск на ливарну усадку виражається в процентах від розміру відливка. Значення величини ливарної усадки для СЧ 20 вибираємо з [14].

Для середніх відливоків вільна усадка рівна 1%. Величну радіуса заокруглень вибираємо в межах $1/5 \dots 1/3$ середнього арифметичного товщини спряжених стінок. Для даного відливка радіус заокруглень складає 3 мм. Мінімальні радіуси заокруглень вибираємо із [15].

Радіуси заокруглень проставляємо на кресленні деталі, не вказані радіуси вказуємо в технічних вимогах креслення.

Формівні ухили назначаються в залежності від ливарних розмірів відливка і прийнятої технології виготовлення форми і стержня. Величини мінімальних формівних ухилів вибираємо із [14]. Для даного відливка, величина ухилу складає 3° . Величини ухилів вказуємо на кресленні, не вказані ухили проставляємо на вільному полі креслення.

Розміри стержня вибирають з урахуванням припуску на механічну обробку і ливарну усадку. Розміри стержньових знаків вибираємо у відповідності з з наказом від 28.12.2022 № 285 «Про пакетне прийняття європейських нормативних документів CEN/CENELEC» [13]. В залежності від номінального розміру отвору і відношення довжини отвору до цього розміру вибираємо вертикальні знаки стержнів довжиною 25 мм [14].

Величину зазорів між знаками і формою вибираємо в залежності від максимального розміру стержня [15]. Для горизонтального знаку бокові зазори рівні 0,15 мм, торцевий зазор 0,25 мм.

2.3 Розрахунок і конструювання ливникової системи

2.3.1 Визначення габаритних розмірів опоки. Габарити опок визначаються габаритами відливка, числом відливоків в одній опоці, розмірами ливникової системи, правильністю розміщення моделей на підмодельній плиті.

Правильність розміщення моделей на підмодельній плиті для даного розміру опок визначається коефіцієнтом металоємності, тобто співвідношення загальної ваги металу у формі до ваги формівної та стержньової маси опоки. Коефіцієнт металоємності залежить від складності, товщини тіла і габаритів відливка і знаходиться у межах $0,25 \dots 1,2$.

Відстань між окремими моделями дорівнює $(0,3 \dots 0,5) \cdot h$, де h – висота моделі у верхній та нижній напівформах, відстань від моделі до верху форми та від моделі до низу форми. При формовці в одній опоці декількох відливоків, залитих через загальну ливникову систему, відстань в площині роз'єму між ними повинна бути $\leq 20 \dots 25$ мм [14]. Відстань від тіла відливка до стінок опок складає $50 \dots 100$ мм, від стержньового знаку до краю форми $50 \dots 100$ мм.

Відстань від моделі до верхньої і нижньої площини рівна $60 \dots 120$ мм [14]. Враховуючи, що для виготовлення відливка застосовуємо автоматичну лінію ІЛ 225 Івано-Франківського заводу "Авто-Літмаш", з розмірами опоки $900 \times 600 \times 150$ мм приймаємо кількість відливоків отримуємо в одній опоці рівним 10 шт.

2.3.2 Визначення оптимальної тривалості заливки. Ливникова система складається з послідовно з'єднаних між собою каналів за допомогою яких розплавлений метал підводиться у ливарну порожнину форми.

Оптимальна тривалість заливки визначається за формулою [12]:

$$t = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot C_1},$$

(2.1)

де S_1 – коефіцієнт, $S_1 = 1,45$ [14];

δ – середня товщина стінок відливка, $\delta = 12$ мм;

C_1 – вага одного відливка з ливниковою системою, кг.

$$C_1 = C_6 + 0,4 \cdot C_6$$

(2.2)

$$C_1 = 2 + 0,3 \cdot 2 = 2,6 \text{ кг}$$

Тоді:

$$t = 1,45 \cdot \sqrt[3]{12 \cdot 2,6} = 4,2 \text{ с}$$

Середня швидкість рівня підйому металу у формі визначається по формулі:

$$V = \frac{C}{t},$$

(2.3)

де C – висота відливка, мм;

t – оптимальна тривалість заливки, с.

$$V = \frac{100}{4,2} = 20,2 \text{ мм/с}$$

Оптимальна тривалість заливки забезпечує необхідну швидкість підйому рідкого металу у формі [16].

2.3.3 Визначення площі перерізу каналів ливникової системи. Загальна площа живильників на десять відливків:

$$\sum F_{\text{жк}} = \frac{G \cdot 1000}{\mu t \gamma \sqrt{2gH_p}},$$

(2.4)

де G – вага десяти відливків з ливниками і т.п., кг;

ρ – густина, г/см³;

μ – коефіцієнт витрат металу, $\mu = 0,5$ [12];

g – прискорення вільного падіння, см/с²;

H_p – середній метало статичний тиск, см.

Середній метало статичний тиск визначаємо за формулою:

$$H_p = H_0 - \frac{p^2}{c};$$

(2.5)

де H_0 – висота металу в чаші, $H_0 = 140$ мм;

p – висота відливка над рівнем підйому металу, $p = 40$ мм;

c – загальна висота відливка, $c = 80$ мм.

$$H_p = 140 - \frac{40^2}{80} = 120 \text{ мм} = 12 \text{ см}$$

$$\sum F_{\text{жк}} = \frac{10 \cdot 2,6 \cdot 1000}{0,5 \cdot 4,2 \cdot 7,2 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 12}} = 11,2 \text{ см}^2$$

Так як ливникова система живить 10 відливків, то для одного відливка:

$$F_{жс} = \frac{\sum F_{жс}}{10} = 1,12 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу живильника. Остаточна площа поперечного перерізу живильника складає $F_{жс} = 1,2 \text{ см}^2$.

Розраховуємо площу шлаковловлювача для 10 відливків:

$$\sum F_{жс} : \sum F_{шл} : \sum F_{ст} = 1 : 1,15 : 1,2$$

(2.6)

$$\sum F_{шл} = \sum F_{жс} \cdot 1,15 = 12 \cdot 1,15 = 13,8 \text{ см}^2$$

Площа перерізу одного шлаковловлювача:

$$F_{шл} = \frac{\sum F_{шл}}{4} = 3,42 \text{ см}^2$$

Приймаємо для живлення відливків шлаковловлювачі перерізом у формі трапеції з розмірами $16 \times 20 \times 19$ мм.

Площа поперечного перерізу стояка:

$$F_{ст} = F_{шл} \cdot 1,2$$

(2.7)

$$F_{cm} = 3,42 \cdot 1,2 = 4,1 \text{ см}^2 .$$

Оскільки:

$$F_{cm} = \frac{\pi \cdot d_{cm}^2}{4} ,$$

(2.8)

діаметр стояка:

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{cm}}{\pi}}$$

(2.9)

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,1}{3,14}} = 2,28 \text{ см} .$$

Приймаємо $d = 23 \text{ мм}$.

Визначимо діаметр чаші:

$$D = (2,7 \dots 3) \cdot d_{cm.с}$$

(2.10)

$$D = 3 \cdot 23 = 69 \text{ мм}$$

2.4 Вибір плавильного агрегату та складу шихти

Для плавки СЧ 20 використовуємо індукційну тигельну піч промислової частоти моделі ПЧТ-2,5, технічна характеристика якої наведена в табл. 1.3. Вміст хімічних елементів в СЧ 20 за ДСТУ 8833:2019 наведено в табл. 1.1, а склад шихти в табл. 1.6.

2.5 Описання технологічного процесу виготовлення відливка

2.5.1 Вибір формувальної та стержньової суміші. У масовому і серійному виробництві рекомендується використовувати єдину формівну суміш.

На автоматичній лінії ІЛ 225 використовується формівна суміш з підвищеною рідинотекучістю. Склад та механічні властивості стержньової та формувальної суміші приведені у таблицях 1.12, 1.14.

2.5.2 Формовка. Основну частину форми одержують машинною формовкою. За допомогою машин механізовано дві основні операції – ущільнення, видалення моделі з форми і деякі інші. Процес виготовлення форм в перших опоках іде таким шляхом:

Формувальна суміш подається в бункери встановлені над машиною. Порожні опоки подаються за допомогою рольгангів. Нижню і верхню напівформи виготовляють на різних машинах. Потім за допомогою дозатора заповнюють опоки формівною сумішшю з бункера. Далі суміш ущільнюють, готову напівформу кантують, знімають надлишок суміші і виконують обдув форми. Потім напівформи транспортують на збирання.

2.5.3 Збирання форм. Точність збирання в значній мірі визначає точність геометричних розмірів відливки. В об'єм робіт по збиранню форми входять такі операції:

- 1) збирання форми;

2) спарювання верхньої та нижньої опок.

2.5.4 Заливка форм. Температура чавуну при заливці повинна бути 1350 – 1420°C. Заливка може виконуватись з рухомою і нерухомою формою. Розплавлений метал з печі потрапляє у попередньо нагрітий ківш барабанного типу ємністю 1т, який транспортується краном. Цей ківш встановлюють на спеціальному стенді для подальшої роздачі металу в розливні ковші.

Для заливки металу використовують ковші чайникового типу ємністю 250 кг. Перед заливкою металу, потрібно видалити шлак з розливного ковша. Підводимо ківш і встановлюємо носок ковша над ливниковою чашею на відстані 150 - 200мм. При заливці швидко заповнити металом ливникову чашу і тримати її заповненою до кінця заливки форми. Забороняється переливати чашу, недолив чаші дозволяється – 20мм. Заливка повинна бути безперервною. Після заливки залишки металу повинні зливатись у спеціальні форми.

2.5.5 Вибивка і обрубка. Залиті та охолоджені форми подаються на вибивний пристрій. Коливання решітки передається суміші і відливкам. В цих умовах суміш інтенсивно розсипається і проходить в отвори решітки, та поступає на подальшу переробку. Відливки ковзають на пластинчатий конвеєр рухаючись по якому вони зовсім охолоджуються, подають в галтувальний барабан в якому відділяється ливникова система.

Потім відливки поступають в прохідну дробометну камеру де вони позбавляються від пригару. Після цієї операції відливки проходять зачистку від заусениць на наждачних верстатах.

2.6 Опис процесу проектування ливарного оснащення

При крупносерійному і масовому виробництві для збільшення строку служби моделей, їх необхідно виготовляти металевими. Заготовки металевих моделей отримують литтям у піщані форми по дерев'яним моделям (промоделям). Промоделі виготовляються з припуском на механічну обробку моделі і відливки, а також з урахуванням усадки сплаву моделі. Модель виготовляється із сірого чавуну марки СЧ 20. Обробляються моделі вручну, припуск на механічну обробку відливка – 3,5 мм. Товщину тіла моделі визначають із номограми в залежності від габаритів моделі. З урахуванням малих габаритних розмірів відливка модель відливається суцільною. Після механічної обробки моделі монтується на раніше підготовані промодельні плити.

При монтажі напівмоделей на плити необхідно враховувати розміри опок. Контур опоки в світлі 900×600 мм. Таким чином обидві промоделі розташовуються на плиті так, щоб відстань від напівмоделей до країв складала не менше 300 мм. Ливникова система монтується у відповідності з кресленням ливникової системи. Кріплення моделей і ливникової виконується гвинтами. Монтаж моделей на плитах виконується за допомогою монтажного шаблону, виготовленого з листової сталі товщиною 2...5 мм [15].

Модельні плити виготовляються із чавуну. Товщина плит становить 50 мм так як вони повинні витримувати навантаження при формовці. Робоча поверхня плит повинна бути оброблена. На підготовлені плити накладається монтажний шаблон, встановлюються напівмоделі і просвердлюються отвори для кріплення. Напівмоделі являються кондукторами, отвори свердяться одночасно і в плиті і в моделі. Потім плита з отворами накладається на іншу плиту і в останній просвердлюються отвори. На плиту встановлюються напівмоделі і кріпляться гвинтами. Після кріплення моделей устанавлюється ливникова система. До плити для нижньої напівформи кріпляться моделі живильників, а на плиту верха – моделі шлаковловлювачів. Підмодельні плити повинні мати елементи спарювання з опоками. На одній плиті повинні бути: з однієї сторони – центруючий, з іншої –

направляючий штирі. На другій плиті необхідно мати відповідно центруючий і направляючий отвори. Модельні плити на формувальній машині кріпляться за допомогою болтів.

Для виготовлення стержнів піскострільним способом застосовується алюмінієвий стержневий ящик. Заготовку ящика отримуємо литтям у піщані форми по дерев'яним моделям.

При виготовленні моделі ящика необхідно врахувати усадку алюмінієвого сплаву, яка складає 1,25 %. Також враховуємо припуск на механічну обробку ящика, який при зачистці складає 0,4 мм. Для визначення товщини тіла стержневого ящика необхідно знати габаритні розміри. Товщину стінок ящика визначаємо із номограми [14]. Для стержневих ящиків із алюмінієвих сплавів товщина стінок складає 10 мм. По таблицям [14] визначаємо товщину ребер жорсткості і радіус галтелей. При товщині стінок стержневого ящика 10 мм товщина ребер жорсткості складає 10 мм, а радіус галтелей рівний 5 мм. Стержневий ящик відливається у відповідності з розмірами і піддається механічній обробці. Площина роз'єму ящика шліфується для якісного прилягання обох половин ящика одна до одної. Половини ящика з'єднуються за допомогою штирів.

Для видалення повітря із ящика при виготовленні стержня, встановлюються венти. Площа однієї венті при діаметрі 6 мм дорівнює 28 мм^2 . Звідси для забезпечення щільної набивки стержня необхідно на один вдувний отвір діаметром 31 мм мати 8 вент. Застосовуємо щільовидні прорізи у вентах.

2.7 Контроль якості відливок

Відливки, що пройшли проміжний контроль на різних стадіях технологічного процесу, піддаються остаточному контролю для визначення їх відповідності вимогам стандартів і технологічних умов. Перевіряють хімічний

склад сплаву, структуру, геометрію і розмір відливків, механічні властивості, встановлюють поверхневі і внутрішні дефекти.

Поверхневі дефекти відливків у вигляді тріщин, раковин, пригару визначають візуально шляхом порівняння з еталоном, не видимі дефекти відливка визначають з допомогою магнітної і світлової дефектоскопії.

В технологічній частині дипломного проекту розроблена технологія виготовлення відливка "Ступиця", виконано аналіз конструкції деталі і технологічних умов на відливок, розроблено технологічний процес виготовлення відливка, розраховано і сконструйовано ливникову систему, описано технологічні процеси виготовлення відливка, проектування ливарної оснастки, контролю якості відливків.

Висновки по другому розділу

- 1 В другому розділі розроблена технологія виготовлення відливка «Ступиця».
- 2 Виконано аналіз конструкції деталі і технологічних умов на вилівок.
- 3 Розроблено технологічний процес виготовлення вилівка.
- 4 Розраховано і сконструйовано ливниково-живильну систему.
- 6 Описано технологічні процеси виготовлення вилівка, проектування ливарної оснастки, контролю якості вилівків.

3 НАУКОВА ЧАСТИНА

Ринкові відносини в останні роки ясно показують, що прості великогабаритні відливки можуть бути поставлені в Україну дешевше з-за кордону, причому їхня якість не гірша за якість аналогічних зразків власного виробництва. Ливарним заводам в Україні, спеціалізованим на масове виробництво однотипних вилівків, усе менше і менше вдається "втримати" свій ринок. Згідно зі статистичними даними в Україні протікає процес швидкої диференціації типів відливків і різкого зменшення кількості замовлень на

постачання масового лиття. Безупинно зростають вимоги до складності відливків, до відтворюваності їхніх технічних характеристик, збільшується конкуренція між різними способами виробництва машинобудівних деталей і т.д. Ливарні технології можуть зберегти свою конкурентну здатність в тому випадку, якщо вони гарантують виробництво складних конструктивних елементів при найнижчій собівартості продукту. Також за останні 10 років різко підвищилися вимоги законодавства до екології ливарних технологій, що привело до додаткового збільшення конкуренції серед виробників відливків [17, 18].

Основна задача кожного ливарного заводу - виготовлення визначеної кількості придатних відливків даної номенклатури. Найдешевшим способом для розв'язання цієї задачі, звичайно, вважається класичне виробництво відливків в опочних або безопочних формах на основі піщано-глинистої суміші. Ця оцінка базується виключно на низькій вартості оборотної піщано-глинистої суміші [19].

В результаті аналізу літературних та експериментальних даних сформульовано критерії, за допомогою яких було оцінено технології виготовлення стержнів і безопочних форм в залежності від конкретної технологічної задачі, а саме [17, 20]:

- продуктивність формувального автомата;
- гарантована відтворюваність якості форми за часом;
- початкові інвестиції на придбання формувального устаткування;
- можливості виготовлення або вигідного придбання надійної модельно-опочного оснащення;
- кількість формувальної суміші, яка необхідна для розв'язання технологічної задачі;
- вартість компонентів формувальної суміші;
- початкові інвестиції в устаткування для сумішепідготовки;
- гарантована відтворюваність якості оборотної формувальної суміші;
- вплив якості ливарної форми на якість відливка;

- гнучкість технології при переході на нову номенклатуру відливків,
- можливості застосування піску в замкнутому циклі (зменшення частки відходів);
- обмеженість наявного робочого простору для постачання устаткування;
- екологічні аспекти застосування даної технології виготовлення ливарної форми.

Порівнявши, у відповідності до вказаних критеріїв, піщано-глинисті суміші з іншими типами сумішей, першим притаманні наступні недоліки:

- міцність формувальної суміші залежить від вмісту вологи і бентоніту, а також від інтенсивності і методу ущільнення. Сучасні високопродуктивні методи формування забезпечують високу міцність суміші і мінімальний градієнт міцності по перетину форми;
- виробництво відливків зі складними внутрішніми поверхнями без застосування стержнів практично неможливе;
- регенерація піщано-глинистих сумішей неефективна, частка регенерату, що використовується після колосальних енергетичних витрат на регенерацію не перевищує 80 %;
- сумісність між піщано-глинистою сумішшю (яка має лужний характер) і стержневою сумішшю. Широко вживані стержневі суміші по процесу «амін–колдбокс», з яких можна виготовляти самі складні стержні, мають слабо кислий характер. З цієї причини після вибивки необхідно максимально розділяти матеріальні потоки піщано-глинистої і стержневої суміші й обробляти ці матеріальні потоки без перемішування. Саме коксоутворення смоляної оболонки Coldbox приводить до відмінного ефекту – освіження піщано-глинистої суміші добавкою, яка вміщує вуглець (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Процеси деструкції органічних складових зі стержневої суміші Coldbox під час її термічного навантаження чавунним розплавом:

Температурний діапазон, °С	Зміни в смоляній оболонці
20...100	Процес сорбції і конденсації. Наростання міцності смоли

100...300	Початок деструкції смоляної оболонки. Виділення низькомолекулярних продуктів (вода, вільний фенол і ін.). Наростання міцності полімеру (утворення поперечних зв'язків)
300...750	Інтенсивна деструкція, що супроводжується бурхливим виділенням газів. Формування коксоподібних продуктів з неупорядкованою структурою.
750...850	Утворення коксоподібних продуктів з наступною графітизацією.
>850	Повна деструкція сполучних з виділенням вуглецю у відбудовній (нейтральній) атмосфері.

Додатковий ефект – освіження піщано-глинистої суміші регенованим піском Coldbox. Регенерат Coldbox має рН = 6,5 – дезактивування бентоніту (рН = 10...11) неможливе [21].

Практика доводить, що "засмічення" оборотної піщано-глинистої формувальної суміші відходами стержневої суміші на базі процесу «амін-колдбокс» нешкідливе, якщо частка піску "стержневого" походження, який подається в потік формувальної суміші, не перевищує 10 % від оборотної формувальної суміші.

Існують установки для механічної регенерації змішаних пісків з "бентонітом", але їхня регенерація неефективна і технологічно невиправдана.

В табл. 3.2 узагальнені результати хімічного аналізу механічно регенованої суміші Coldbox, що застосовується в якості освіжувача матеріального потоку піщано-глинистої суміші [22].

Таблиця 3.2

Результати хімічного аналізу механічно регенованої суміші Coldbox

Параметр	Амін процес
Вологість %	< 0,1
Значення рН	6,5
Вміст глинистих складових, %	0,30
Втрати від прожарювання, %	0,2

Деякі виробники формувального устаткування намагаються розв'язати проблему сумісності матеріальних потоків шляхом оформлення внутрішніх

порожнин відливків з піщано-глинистої суміші. Зрозуміло, що подібне рішення можливе тільки для відливків з невеликою складністю.

Матеріальний потік зменшується, але проблема сумісності матеріальних потоків залишається невирішеною;

– чим нижче відношення "метал : форма", тим вище абсолютний обсяг оборотного потоку піщано-глинистої суміші, і тем вище інвестиції на постачання устаткування для виробництва єдиної формувально-стержневої суміші;

– необхідні інвестиції на постачання класичної лінії опочної формовки приблизно у 2...4 рази вище, ніж інвестиції на постачання комплексу устаткування по методу ХТС для виконання тієї ж самої виробничої програми;

– основним недоліком піщано-глинистих сумішей (ПГС) є їхня низька міцність, яка значно нижче міцності стержневих сумішей (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Основні характеристики класичної піщано-глинистої суміші для машинного ущільнення

Основні характеристики класичної ПГС для машинного ущільнення	Значення в залежності від вимоги до якості форми	
	низькі	підвищені
Вимоги до якості суміші	низькі	підвищені
Зміст активного бентоніту, %	6...7	7,5...9
Зміст вологи, %	2,5...3,2	3...3,8
Зміст глинистих компонентів, %	8...10	10...12,5
Міцність на стиск, МПа	0,1...0,14	0,18...0,22
Міцність на розтягання, МПа	0,0018...0,0022	0,0026...0,0032
Ущільнюємість по Хорману, %	45	40
Плинність по Орлову, %	50...70	70...80

Виходячи з цього, багато вітчизняних та зарубіжних фірм впроваджують новітні більш перспективні технології виготовлення стержнів і безопочних форм, наприклад, за методом ХТС (табл. 3.4, 3.5), що надає ливарному виробництву прекрасну можливість зменшити матеріальні й енергетичні витрати, збільшити гнучкість процесу виготовлення стержнів і безопочних форм, створюючи в такий спосіб передумови для кращого пристосування до умов ринку, що безперервно змінюються.

Таблиця 3.4

Класична рецептура суміші Coldbox [23]

Класична рецептура суміші Coldbox для відливків з легких сплавів (Al, Mg)	Класична рецептура суміші Coldbox для залізних відливків (чавун/сталь)
100 % пісок, кварцовий, збагачений 0,4...0,5 % смола Coldbox 0,4...0,5 % затверджувач (поліізоціанат) макс. 0,5...0,8 гр. аміну (наприклад ТЭА) на 1 кг стержневої суміші (0,05...0,08 %)	100 % пісок, кварцовий, збагачений 0,6...0,8 % смола Coldbox 0,6...0,8 % затверджувач (поліізоціанат) макс. 0,8...1,0 гр. аміну (наприклад ТЭА) на 1 кг стержневої суміші (0,08...0,10 %)

Таблиця 3.5

Механічні властивості суміші Coldbox [23]

Міцність на вигин, МПа	через 0 год	через 1 год	через 2 год	через 24 год
	2,4...2,6	3,0...3,2	3,4...3,6	4,0...4,2
Міцність на розтягнення, МПа	через 0 год	через 1 год	через 2 год	через 24 год
	1,4... 1,6	1,8... 1,9	2,0...2,2	2,4...2,8

По методу ХТС усі частини комплексної форми, включаючи внутрішні стержні, виготовляються або на одному піскострільному центрі, або на одній компактній стержневій дільниці з максимальним рівнем автоматизації. У безпосередній близькості з формуально-стержневою дільницею розміщені плавильна дільниця і дільниця заливки на базі автоматичного заливного пристрою. У такий спосіб формуально-стержневий комплекс є основою міні-заводу по виробництву широкої номенклатури металевих відливків.

Собівартість сухих холоднотвердіючих сумішей істотно вище собівартості сирих сумішей, але через більш економне застосування сухої суміші можливо зменшити відношення "метал : форма" до значень 1:2 ... 1:1 [17, 18]. У результаті цього витрата матеріалів, наприклад піску і добавок, істотно зменшується, інвестиції на постачання додаткового устаткування, наприклад для очищення і регенерації суміші, стають мінімальними. Пріоритетне значення має факт, що форми і стержні виготовляють з єдиної суміші. Керування матеріальними потоками і їхнім комплексним впливом на якість відливка стає більш надійним при максимальній відтворюваності результатів виробничого процесу.

3.1. Порівняння між технологічними можливостями різних методів опочної/безопочної формовки на базі класичних ХТС

Група "холоднотвердіючих сумішей" є базою для виготовлення дрібних і середніх серій відливок із залізних і кольорових сплавів. Особливо ефективно застосовувати подібні методи формовки у випадку виготовлення великогабаритних відливок способом пакетної формовки (табл. 3.6). Велика перевага всіх методів на базі "холоднотвердіючих сумішей" – можливість формоутворення без попереднього нагрівання модельного оснащення.

Основною принциповою відмінністю між "ХТС на базі фуранових смол" і "амін-процесом" є спосіб твердіння і можливість керування хімічною реакцією між компонентами суміші (табл. 3.7).

Таблиця 3.6

Порівняльні характеристики сучасних ХТС [24]

Параметр	ХТС (фуран)	Альфасет	Пепсет
Склад сумішей	100 % піску 0,8...1,2 % фуранової смоли 0,3...0,5 % сульфонової або ортофосфорної кислоти	100 в-% піску 1,2...1,4 % фенольної смоли 0,2...0,5 % ефіри мурашиної кислоти	100 % піску 0,5...0,6 % фенольної смоли 0,5...0,8 в-% полізоціаната 0,5...3,0 % каталізатора
Міцність на вигин, МПа	3...6	2...5	2...5
Маніпуляційний час для заповнення форми і ущільнення суміші, хв	5...15	3...6	5...10
Час до видалення моделі з форми, хв	20...60	10...20	5...10
Час готовності до заливки, хв	40... 120	30...60	20...60
Регенерація відпрацьованої суміші	Механічна або термічна/Засвоєння регенерату – більше 90%	Механічна/Засвоєння регенерату – не більш 60%	Механічне або термічне /Засвоєння регенерату – більше 90%
Застосування	Сплави на основі Al, Cu, СЧ, ВЧ, сталь.	Сплави на основі Al, Cu, СЧ, ВЧ, сталь.	Сплави на основі Al, Cu, СЧ, ВЧ, сталь.

Таблиця 3.7

Відмінність між "ХТС на базі фуранових смол" і "амін-процесом" [25]

Параметр	ХТС на базі фуранових смол	Амін-процес
Склад суміші для формоутворення з метою одержання відливків із СЧ або ВЧ	100 % кварцовий пісок 1,00...1,30 % смола 0,30...0,50 % затверджувач	100 % кварцовий пісок 0,40...0,80 % поліуретанова смола 0,40...0,80 % поліізоціанат 0,05...0,08 амін
Тип хімічної реакції	Поліконденсація. Утворення низькомолекулярних продуктів реакції	Поліприсєднання. Низькомолекулярні продукти реакції не утворюються
Сумішеприготування	Змішувачі з періодичною або безперервною дією (або дворукавні шнекові змішувачі). Можливі різні технологічні варіанти: наприклад попереднє перемішування піску із затверджувачем, подачею смоли до суміші на більш пізній фазі процесу сумішеприготування; альтернатива - попереднє перемішування двох окремих потоків (пісок + затверджувач) і окремо (пісок + смола), що «зустрічаються» і перемішуються між собою безпосередньо до випадання суміші з голівки змішувача в жакет з моделлю. Хімічна реакція між смолою і затверджувачем починається відразу після контакту між ними. Характеристика твердіння визначає різко обмежену живучість суміші.	Змішувачі з періодичним або безперервною дією. У потік піску вводиться відразу обидві рідкі компоненти. Хімічна реакція між смолою і поліізоціанатом протікає тільки в присутності каталізатору – аміну, причому амін подається в газоподібному стані в циклі роботи стержневого автомата, і після того, як стержневий ящик заповнений стержневою сумішшю. Хімічна реакція при "амін-процесі" починається поза змішувачем. Суміш має живучість 6...8 годин у нормальних умовах збереження (без контакту з випарами аміну).

Типи амінів, які застосовуються в ливарному виробництві, наведено в табл.

3.8.

Таблиця 3.8

Типи амінів, які застосовуються в ливарному виробництві [26]

Тип аміну	ДМЭА	ДМИА	ТЭА
Стан при 20 °С (1 атм)	рідкий	рідкий	рідкий
Температура випаровування (при 1 атм)	35 °С	65 °С	89 °С

Відносна витрата при затвердінні стержневої суміші, %	0,05 %	0,06 %	0,08 %
---	--------	--------	--------

Основний недолік технології на основі ХТС із рідким затвердінням – живучість суміші. В залежності від хімічних особливостей компонентів живучість може змінюватися в широких рамках - від 5...15 хв (для ХТС на основі фуранових смол / КСК (ПТСК)) до 20...120 хв (для РСС з ефірним затверджувачем).

Сучасні варіанти сумішей "амін-колдбокс", мають живучість не менш 4^{-х} годин, а затвердіння відбувається в діапазоні 10...90 с (в залежності від складності і ваги форм і стержнів) [27].

Живучість ХТС на базі фуранових смол визначається лабораторним шляхом по діаграмі наростання міцності суміші (міцність на стискування або вигин) у часі. Час, що відповідає 75% максимально можливої для даної суміші міцності, є живучістю суміші. Через те, що наростання міцності починається відразу після контакту смоли із затверджувачем, час заповнення жакета стержневою сумішшю повинний бути мінімальним (до початку затвердіння суміші у ящику або у формі). Для великогабаритних форм це означає додаткове застосування змішувачів безперервної дії.

Додатковий недолік для виробничого процесу – плавне зменшення плинності суміші під час заповнення жакета сумішшю з плавним наростанням міцності суміші, що означає додаткове "доуцільнення" трамбуванням у випадку виготовлення форм із складною конфігурацією моделі.

Як видно із діаграми (рис. 3.1), початкове наростання міцності, що спостерігається до заповнення жакета сумішшю, втрачено, тому-що когезійні зв'язки між смолою і затверджувачем руйнуються механічною енергією (у вигляді роботи вібростолу/або трамбування робітниками), яку необхідно взяти для формоутворення.

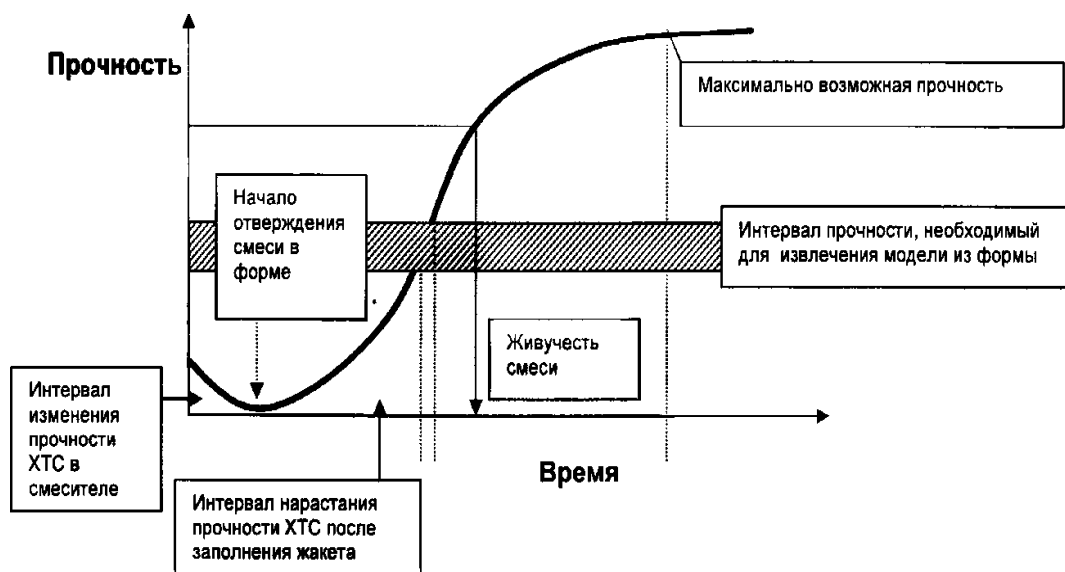


Рисунок 3.1 – Залежність міцності ХТС від часу

Фактор інтенсивності ущільнення не є вирішальним при застосуванні холоднотвердіючих сумішей з рідкими затверджувачем.

Для видалення моделі з форми, форма повинна мати визначену маніпуляційну міцність. За даними виробників фуранових смол орієнтована міцність на вигин повинна бути в межі 2,0...2,2 МПа [28]. Як показує таблиця (табл. 3.9), час наростання міцності до маніпуляційної, не менш 1,2 години. Це значить, що видалення модельної плити з форми допускається тільки після 1,2 години.

Таблиця 3.9

Орієнтовні часи формоутворення і досягнення маніпуляційної міцності ХТС на базі фуранових смол [29]

Смола	Вміст фурфуролового спирту, %	Час формоутворення, хв ****	Час наростання міцності до маніпуляційної міцності на вигин 2,2 МПа, год	Максимальна, міцність***** на вигин через 24 год, МПа
ФФ*	78	8	4	3,4
МФ**	60	15	4	2,5
МФ**	88	17	1,7	4,6
МФ**	80	18	1,6	4,4
МФ**	75	18	2	2,9
МФ**	69	18	2	3,0
МФ**	65	19	4	2,7
МФ**	70	20	2,6	2,8

МФ**	80	22	2,3	4,8
МФ**	55	28	8	2,7
Ф***	70	20	1,2	4,0

*) фенол-фуранова смола;

***) мочевино-фуранова смола;

****) фуранова смола

*****) час формоутворення – інтервал наростання міцності на стискування за рівнем 0,0003 МПа, при якому повинно бути закінчено заповнення і ущільнення форми;

*****) умови сумішеприготування: 100 % кварцовий пісок Н32/Ф32 (середній розмір зерна 0,21 мм, 1 % смоли, 0,3 % затверджувача (65 % розчин ПТСК)), температура піску 20...22 °С, відносна вологість повітря 50...70 %.

На відміну від ХТС на базі фуранових смол, суміші по "амін-колдбокс"-процесу мають підвищену живучість у замкнутому стані при зберіганні в нормальних умовах (при температурі 16...25 °С і при відносній вологості повітря близько 75 %). Маніпуляційна міцність суміші по "амін-колдбокс"-процесу досягається ще під час циклу формоутворення на стержневому автоматі, тобто при знятті форми з машини (через максимум 5 хв. після початку циклу виготовлення стержневої форми) вона вже має мінімальну міцність на вигин 2,2 МПа [29].

ХТС на базі фуранових смол затвердівають в діапазоні 8...28 хвилин, причому залежно від типу й кількості затверджувача в суміші, цей інтервал можна розширити до 4...56 хвилин. На практиці рідко застосовуються широкі гама зв'язуючих і затверджувачів – парадокс, який не виправданий і не пов'язаний з відсутністю продуктів або з неможливістю їхньої поставки фірмами–виробниками. Ливарники просто бояться застосовувати "повільно" твердіючі системи, щоб не "заблокувати" виробничий процес.

По "амін-колдбокс"-процесу поняття "час формоутворення" не існує, тому що затвердіння суміші починається після заповнення стержневого ящика сумішшю. Низький вміст зв'язуючого в суміші (загальний вміст зв'язуючого – 1,2...1,6 %) спричиняє відмінну плинність суміші при заповненні модельного оснащення надувом (при 5 атм).

Технологічна особливість різних систем на базі фуранових смол – відсутність взаємозв'язку між часом формоутворення і часом досягнення маніпуляційної міцності. Для виробництва великогабаритних форм із ХТС на базі фуранових смол необхідно підбирати смолу і затверджувач так, щоб час формоутворення був не менше 20^{-ти} хвилин, а час наростання міцності до маніпуляційної (2,2 МПа) – не більше 1...1,2 години. Практично це можливо, збільшуючи частку затверджувача в суміші щодо смоли, наприклад з 30^{-ти} до 40 %. Недолік цього технологічного прийому- неприпустимо високе насичення суміші сіркою (яка негативно впливає на утворення сферичного графіту ВЧ).

Типові ливарні дефекти по формах із ХТС на базі фурану – низька щільність форми в кутових зонах. Причина цього – недостатня плинність суміші. Результат – підвищені витрати на очищення відливків і підвищені витрати протипригарної фарби. Нерідко дефекти виявляються безпосередньо після нанесення фарби, так що їхнє усунення вручну з повторним фарбуванням дефектних зон – трудомістка процедура.

Фарбування ХТС на фурановій основі водяними фарбами зменшує поверхневу міцність форми з 50 %, у випадку застосування спиртової фарби втрати міцності близько 30 % (у випадку маніпуляційної міцності 2,2 МПа - це означає міцність на вигин після фарбування спиртовою фарбою 1,54 МПа – значення, що є граничним для захисту відливка від різних поверхневих дефектів). Розчин фуранової смоли містить до 20 % низькомолекулярних сполук, у тому числі води. Чим вище вміст води в смолі, тим нижче характеристики суміші на міцність [30].

І навпаки – ливарні форми по амін-процесу не містять низькомолекулярних з'єднань. Конденсація пари аміну у формі можлива тільки у випадку застосування ТЭА і ДМИА в якості каталізаторів, причому частка конденсату не перевищує 10% від застосовуваного при продувці аміну, але їхню

частку можна зменшити до мінімуму, застосовуючи уніфіковане устаткування для випару рідких амінів [31].

Значне збільшення вартості фурфурилового спирту на світовому ринку з 1994 р є причиною для різкого спаду застосування чисто фуранових смол. Поступово чисто фуранові смоли замінюються мочевино-фурановими зі зменшеним вмістом фурфурилового спирту до 50...55%. Значне наростання частки сечовини в смолі приводить до різкого погіршення плинності суміші. Крім цього сечовина, яка вміщує азот, приводить до появи поверхневих дефектів на відливках, таких як, наприклад, тріщини і газові раковини. Навіть спеціальні протипригарні фарби не можуть ефективно захистити поверхню відливка від подібних дефектів. Для практики особливо важливо вибрати підходящу ХТС систему без азоту. У противному випадку азот накопичується на поверхні регенованого піску і не може бути вилучений із системи.

За даними FOSECO вміст компонентів, що містять сірку, у формувальній суміші необхідно обмежувати до 0,15 % –у противному випадку можливі відхилення від сферичної форми графіту в поверхневих шарах відливок з високоміцного чавуну. При виробництві відливок з високоміцного чавуну, щоб уникнути дифузії сірки в поверхневі шари відливка, ХТС на фурановій основі твердіють переважно ортофосфорною кислотою. Практичний ефект сумнівний – у перших збільшується схильність до дифузії фосфору в поверхневі шари відливка, що приводить до утворення фосфідної евтектики, а в результаті цього і точкової пористості; у інших – у присутності фосфору збільшується схильність до насичення оборотного піску азотом.

Джерелом газових раковин може бути неправильно обраний момент нанесення протипригарної фарби на поверхню фуранової форми. Якщо нанесення фарби занадто рано, виділення низько молекулярних продуктів реакції поліконденсації через пофарбований шар не відбувається, а при заливці можлива експозиційна penetрація.

Через значно більш високу щільність безопочних форм, які виготовлені по "амін-процесу", а також через мінімальний градієнт міцності по перетину форми (необхідна умова для одержання високоточних відливків), дефекти типу ерозії або пенетрації, виключені.

Для більш високої чистоти поверхні відливка, а також для захисту відливка від газових раковин, імовірність утворення яких при формоутворенні по "амін-процесу" значно нижче, ніж при ХТС на базі фурана, рекомендується фарбувати форми спиртовою фарбою, яка само висихає.

З практики відомо, що по глибині форми/стержня по «амін-процесу» достатній шар проникнення фарби складає усього на 0,15...0,18 мм, щоб одержати якісний відливок з високоміцного чавуну в умовах заливки з металостатичним тиском з висотою стовпа металу над стержнем 9 м.

У ливарній практиці форми на базі ХТС звичайно "обмиваються" протипригарною фарбою – практика, при якій контрольоване нанесення шару фарби з однаковою "захисною" товщиною неможливе.

Збільшення температури піску з 10 °С приводить до наростання швидкості затвердіння фуранової смоли в 2...3 рази. Наприклад для ХТС зі складом:

- 100 % кварцової пісок Н32,
- 1,0 % фуранова смола (75 % фурилового спирту, 4 % азот, 8,3 % вода),
- 0,6 % ПТСК

час формоутворення узимку при температурах цеху і піску 12 °С – 50 хв., а влітку, при температурах цеху і піску 30 °С – 4 хв. Для користувача технології ХТС на базі фурану це означає, що узимку пісок потрібно нагрівати, а влітку – прохолоджувати для підтримування оптимального часу формоутворення 18...20 хвилин [31].

При "амін-процесі" основні вимоги пов'язані із підтриманням оптимальної температури навколишнього середовища і піску в діапазоні 10...30 °С і вологості повітря – не більш 75%, причому сучасні версії зв'язуючих по "амін-

процесу" допускають роботу і при постійно підвищеній вологості 90..95 % – типові температури для традиційних "ливарних" країн, таких як Японія, Мексика, Бразилія, Індія і Китай.

Вплив підвищеної вологості повітря катастрофічно погіршує якість ХТС на базі фурану. За результатами досліджень, ХТС на базі фуранових смол, які затвердівань під дією ортофосфорної кислоти, мають підвищену схильність до поглинання води [32]. Збереження фуранової форми 24 години в умовах 100 % відносної вологості повітря приводить до втрати максимальної міцності на розтяганні в 2 рази – з 2,8 МПа до близько 1,4 МПа (це відповідає міцності на вигин близько 2,0...2,1 МПа) [32].

Значення міцності на вигин 2,2 МПа у світовій практиці відповідає маніпуляційній міцності. Тому, реальна втрата міцності ХТС на базі фурану може виявитися критичною для виробничого процесу.

Основним критерієм для визначення характеристик сумішей на міцність, які ущільнюються хімічним шляхом, є міцність на вигин. Цю міцність вимірюють на основі пробних зразків розмірами 22x22x180 мм, причому з трьох зразків, отриманих в однакових умовах, визначають середнє значення міцності.

Як це було сказано вище, для ХТС на базі фурану мають значення не тільки характеристики на міцність, але і часи їхнього досягнення відповідно до діаграми наростання міцності. Для ХТС на фурановій основі визначальною є маніпуляційна міцність (2,2 МПа), яку необхідно досягти правильним вибором типу смоли, типу затверджувача. Максимальна міцність ХТС на базі фурану досягається через 24 години і знаходиться в діапазоні 2,5...4,6 МПа.

Усі сучасні хімічнотвердіючі системи, за винятком рідкого скла, є органічними речовинами. При температурах вище 600 °С починається їхнє випалювання, що закінчується утворенням твердого залишку (коксової плівки). У процесі випалювання відокремлюються гази, що можуть привести до утворення раковин і газової пористості у відливках. У залежності від хімічного складу

ливарні сплави мають різну розчинність стосовно різних газів. Ця розчинність, звичайно, зменшується із зменшенням температури. Взаємодія між інтервалом кристалізації, температурним градієнтом і кінетикою затвердіння ливарного сплаву з одного боку, а також інтенсивністю газовиділення з іншого боку, повинно бути технологічно підібране так, щоб частка газової пористості не перевищувала б критичне значення.

Газотворна здатність ХТС на базі фурану перевищує в 3...4 рази газотворну здатність суміші по "амін-процесу", причому чим вище товщина стінки чавунного відливка, тим збільшується схильність фуранових смол до газовиділення (рис. 3.2) [33]. Газопроникність сучасних стержневих сумішей залежить від діаметра зерна піску.

Для стандартних кварцових пісків (0,16...0,31 мм) газопроникність стержнів/форм по "амін-процесу" при однаковій інтенсивності ущільнення змінюється в діапазоні 200... 350 од.

За даними [33] розмірна точність внутрішніх порожнин у відливках, які оформленні стержнями, є найважливішим чинником при розробці технології ливарної форми (рис. 3.3). Це особливо важливо при виробництві масивних відливків типу блоку двигуна.

Порівняння показує, що стержні/форми по "амін-процесу" мають максимальну стабільність і відтворюють з максимальною точністю номінальні діаметри відливків. Невипадково більш 90 % усіх високоточних відливків типу блоку двигунів легкових і вантажних машин у світі виробляються з оформленням внутрішніх поверхонь "стержневими пакетами" по "амін-процесу".

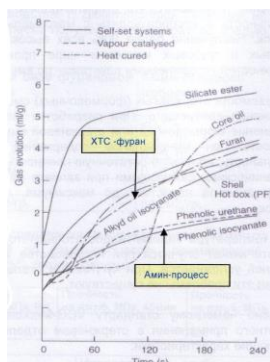


Рисунок 3.2 – Інтенсивність газовиділення з різних ХТС у часі – порівняння в однакових умовах (залівка рідким чавуном при 1420 °С).

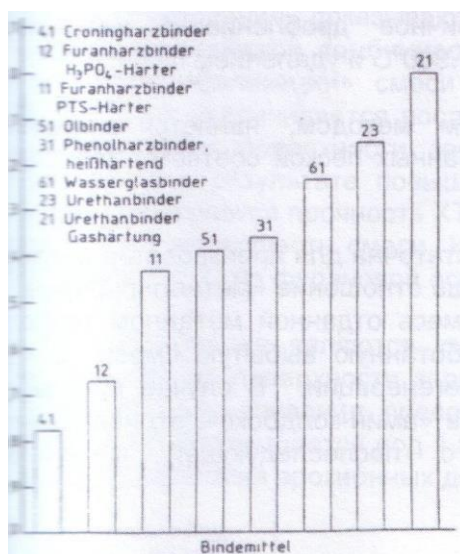


Рисунок 3.3 – Відхилення від номінального діаметра чавунного відливка масою 7 кг, температура залівання 1340 °С:

11 ХТС на базі фуранової смоли 100 % кварцовий пісок Р36 (АР581); фуранова смола 1,3 %; ПТСК 0,4 %(12 % S);

12 ХТС на базі фуранової смоли 100 % кварцовий пісок Р36 (АРЭ81); фуранова смола 1,3 %; ОФК 0,5 %;

21 амін–процес 100 % кварцовий пісок Р36 (АР881); смола 0,7 %; поліізоціанат 0,7 %; продувка ТЭА 0,10 %.

Порівняння показує, що стержні/форми по "амін–процесу" мають максимальну стабільність і відтворюють з максимальною точністю номінальні діаметри відливків. Невипадково більш 90 % усіх високоточних відливків типу

блоку двигунів легкових і вантажних машин у світі виробляються з оформленням внутрішніх поверхонь "стержневими пакетами" по "амін-процесу".

Вибиваємість стержневих (формувальних) сумішей залежить прямо пропорційно від вмісту зв'язуючого. При розробці ливарної форми треба передбачати застосування формувальної або стержневої суміші, яка має високу початкову міцність при мінімальному вмісті зв'язуючого, високу термічну стабільність, але низьку залишкову міцність. Під час прогріву стержнів і форми з органічними зв'язуючими при заливанні рідким металом міцність полімерних систем спочатку наростає до максимуму, а потім падає, утвориться коксовий залишок.

Якщо температура заливки недостатня, для проведення випалювання зв'язуючого (як це може статись при виробництві алюмінієвих відливків), тоді вибивка стержнів ускладнюється. При чавунному і сталевому литті через високу температуру заливки ця проблема не існує. Відповідно до стандарту регенований пісок для оборотного застосування в стержневому відділенні ливарного заводу повинен мати характеристики наведені в табл. 3.10 [34].

Таблиця 3.10

Характеристики регенованого піску для оборотного застосування

Параметр	Необхідне значення
Зернистість піску, мм	0,2...0,3
Специфічна поверхня, см ² /гр	90...130
Вміст SiO ₂	не менше 99 %
Температура спікання	не менше 1500 °С
Вологість	не більше 0,1 %
Втрати від прожарювання	0,1...0,2%
Вміст глинистих складових	не більше 0,1 %
pH	6...8

Під механічною регенерацією розуміють здрібнювання залишків стержнів первинним дробленням з наступною відтиркою плівок і видаленням пилу. Під термічною регенерацією розуміють первинне дроблення з наступним окисним випалом при температурах 700...900 °С і видаленням пилу.

Найефективнішим, але і найдорожчим методом, є термічна регенерація. Якість термічно регенованих пісків відповідає якості свіжих пісків.

Механічна регенерація піску абсолютно достатня для виробництва стержнів і форм із відтвореною якістю. Чим більше відношення "метал : форма", тим краще прогривається формовочно-стержнева суміш теплотою, яка віддана металом і тим ефективніше можна регенерувати відпрацьовану вибиту суміш по "амін-колдбокс"—процесові на основі механічної регенерації. У випадку виробництва відливків з легких сплавів у стержневих пакетах "амін-колдбокс", відливки, разом з піском піддаються термообробці з послідуною механічною регенерацією піску.

За даними [35] на базі механічної регенерації оборотного піску отримуємо регенерат з характеристиками наведеними в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Характеристика механічно регенованого піску

Параметр	ХТС на базі фуранової смоли	Амін-колдбокс процес
Вологість	<0,1 %	<0,1 %
pH регенованого піску	2,7	7,5
Втрати від прожарювання	2,9 %	0,2 %
Середній розмір зерна	0,36 мм	0,28 мм
Однорідність піску	73 %	78 %
Спеціальна поверхня зерна	70 см ² /гр	84 см ² /гр

Інтерес представляють результати дослідження [36] при перевірці якості стержневих сумішей по «амін-процесу», що застосовують 75 % вищевказаного регенерату в суміші з 25 % свіжим піском (рис.3.3).

Результати дослідження доводять, що незалежно від методу регенерації (термічної, механічної, комбінованої) добавка 10% свіжого піску виправдана і служить для "стабілізації" суміші після ефективного видалення пилоподібних фракцій, чия частка збільшується після кожного циклу через інтенсивне видалення смоляних оболонок з поверхні зерна стиранням, а також через здрібнювання піщаного зерна в результаті підвищеного механічного навантаження. У

протилежному випадку різко зменшується міцність ХТС при однаковій витраті зв'язуючих (1,5...2 рази) і погіршується плинність суміші [37]. Наростає схильність до пенетрації, особливо для ХТС на фурановій основі.

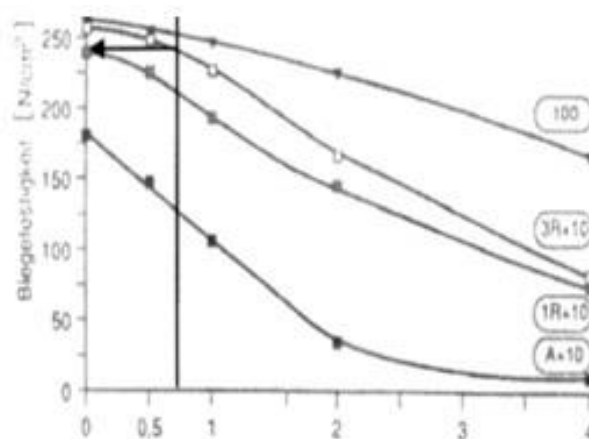


Рисунок 3.4 – Залежність якості стержневих сумі від вмісту свіжих добавок

Втрати від прожарювання є критерієм для оцінки нагромадження залишків органічних смол на поверхні зерна. Для ХТС на базі фурану не допускається, щоб втрати від прожарювання перевершували значенню 3 % – у протилежному випадку міцність на вигин зменшується до 1,5 МПа, в результаті чого різко збільшується небезпека від утворення ерозійних дефектів (рис. 3.5).

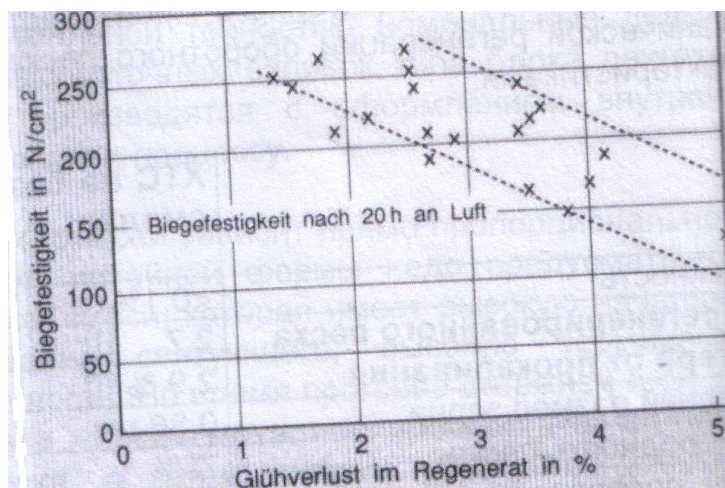


Рисунок 3.5 – Залежність міцності на вигин від збільшення частки втрат від прожарювання в регенованому піску з ХТС на базі фуранових смол

У виробничому процесі часто застосовують декілька різних ХТС. Тому необхідно враховувати сумісність між регенованими пісками для повторного формоутворення.

При сумішеприготуванні, формовці, заливці, охолодженні і вибивці форм на базі синтетичних смол виділяються шкідливі токсичні гази, які звичайно збираються заводською аспіраційною системою.

Під час підготовки суміші, виробництва стержнів і заливці форм виділяються гази, які забруднюють навколишню атмосферу. Щоб ужити заходів по охороні праці, необхідно знати, які гази можна чекати в окремих дільницях ливарного цеху при застосуванні різних стержневих і формувальних сумішей. У таблиці (3.12) узагальнені припустимі значення викидів [38].

Таблиця 3.12

Узагальнені припустимі значення викидів при використанні ХТС

Процес	Стандарт	Гази, що виділяються під час:			ДРК	
		підготовки суміші	формоутворення	заливки	ppm	mg/m ³
Coldbox (амін–процес)	R 305 E	фенол	–	–	5	19
		–	аміни	аміни	10	40 (ТЕА)
		ізоціанат	–	ізоціанат	25	75 (ДМЕА)
					0,01	0,1
ХТС на основі фуранових смол	R 30 E	свФА	свФА	свФА	0,5	0,6
		ФА	ФА	ФА	50	200
		–	–	бензол	8	26
		толуол	толуол	толуол	100	380
		–	–	СО	30	33
		–	–	SO ₂	2	5
		–	–	H ₂ S	10	15
		–	–	NO ₂	5	9
	NH ₃	NH ₃	NH ₃	50	35	

У відмінності від "аміну–процесу", для якого поставляються надійні скрубери для мокрого очищення повітря від амінів на дільницях формоутворення, для ХТС на базі фуранових смол подібне устаткування не постачається.

Гази, які виділяються на фазі заливки, охолодження і вибивки, можна збирати і піддавати обробці спеціальним устаткуванням. Самими надійними з погляду

фінального результату в цьому відношенні є установки для каталітичного окислювання або піролізу шкідливих газів, але через його значну вартість подібні установки не впроваджені в ливарній практиці.

Результати досліджень [38] для контролю якості повітря і стічних вод, є базою для кількісної і якісної оцінки видів і обсягів газовиділення на дільниці заливки і охолодження чавунних виливків з товщиною стінки 5 мм із форми вагою 406 кг (табл. 3.13).

Саме обмежений зв'язаний вуглець є джерелом виділення токсичних речовин в атмосфері цеху в об'ємах:

- 7970,00...0,13 мгр/кг суміші при "аміні-процесі";
- 12600,00...0,12 мгр/кг суміші при ХТС процесі на базі фурану.

Газовиділення на дільницях заливки, охолодження і вибивки відливків показано на рис. 3.6.

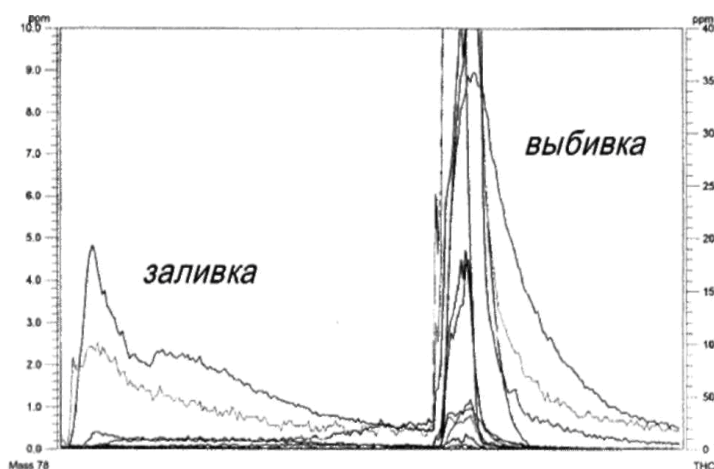


Рисунок 3.6 – Газовиділення на дільницях заливки, охолодження і вибивки відливків

Таблиця 3.13

Данні для контролю якості повітря і стічних вод [39]

Параметр	Аміні-процес	ХТС на базі фуранових смол
Склад суміші	100 % кварцовий пісок типу Н31 (серед. розмір зерна 0,32 мм) 0,8 % смоли 0,8 % затвердувача	100 % кварцовий пісок типу Н31 (середн. розмірр зерна 0,32 мм) 1,1 % смоли 0.5 вага-% ПТСК

	0,08 % ДМИА	
Втрати від прожарювання	1,20 %	1,70 %
Загальний вміст обмеженого зв'язаного вуглецю	7970 мгр/кг суміші 0,80 %	12600 мгр/кг суміші 1,26 %
Речовини, які виділяються у вигляді пари в результаті термічної деструкції смольної оболонки	< 0,1 %	< 0,1 %
Залишкова кількість комплексних поліциклічних ароматних вуглеводнів у піску (нафталін, аценафтен, флуорен, антрацен, фенантрен, пірен, бензофлуарантен, бензопірен, бензопірілен)	< 0,13 мгр/кг	< 0,12 мгрУкг

Порівняння даних показує, що газовиділення небезпечних органічних речовин у повітря при "амін-процесу" на 63 % менше ніж із ХТС на базі фурану, причому загальна частка зв'язуючих у двох сумішей абсолютно співставима (1,6 %).

Додатково необхідно підкреслити чудові результати дослідження, які показують, що об'єми газів, що виділяються на ділянках заливки, охолодження відливків і вибивки відносяться між собою в пропорціях 3:2:5 [39].

Недоліки класичних ХТС, наприклад на базі фуранових смол у порівнянні з процесом "амін-колдбокс" наступні:

- затвердіння компонентів суміші починається ще в змішувачі, живучість обмежена;
- формоутворення повинне "закінчитися" за певний час, "перебої" не допускаються, інакше уся форма є браком ще на фазі формоутворення;
- паралельно зі зменшенням живучості зменшується плинність класичної ХТС, що є критичним чинником при одержанні якісної форми.

І навпаки при "амін-колдбокс"-процесі:

- під час «продувки» стержневої суміші, газоподібний амін проникає на всіх ділянках стержневої суміші, тобто по перетині стержня (стержневої форми) градієнт міцності незначний;

– незрівнянно більш висока живучість суміші створює ідеальні передумови для одержання щільної форми із складною конфігурацією в умовах машинного формування в результаті повітряного імпульсу;

– високі зусилля запирання модельного оснащення на сучасних автоматах, а також можливість "вирівнювання" поверхонь заглиблених надувних сопел до продувки, гарантують одержання стержнів і безопочних форм із підвищеної гладкістю – необхідну умову для одержання високоякісних відливків у литому стані.

Виробництво безопочних форм на основі ХТС із рідкими затверджувачами можливо, але їхня складність обмежена через вище зазначені технологічні недоліки сумішей. Ущільнення масивних і великогабаритних стержнів проводять вручну набиванням або трамбуванням.

Сучасний альтернативний метод одержання високоякісних безопочних форм і стержнів розроблений фірмою Laetpre – метод LCM машинного формування на базі єдиної стержневої суміші.

3.2. Технологічні основи методу Laetpre LCM

Для успішної реалізації методу LCM необхідно мати стержневу суміш, яка забезпечує комплекс технологічних властивостей, необхідних для одержання високоякісних придатних відливків.

Тому необхідно порівняти можливості сучасних стержневих сумішей, які можуть застосовуватися для машинного формування (табл. 3.14).

Варто відмітити, що стержні, отримані по амін-процесу і по процесу SO_2 , здобувають свою початкову міцність усього через секунди, причому вони вимагають мінімальну кількість затверджувача (каталізатора).

Одержання стержнів по процесах на основі CO_2 залежить від кількості вуглекислого газу, який подається в модельне оснащення під час продувки стержневої суміші.

Метиловий форміат (процес Betaset), SO₂ (процес SO₂) і CO₂ беруть участь як реагент у процесі затвердіння зв'язуючого. Стехіометрична частка метилового форміату – не менше 30 %, а SO₂ – не менше 15 % від зв'язуючих. При процесі Coldbox аміни є каталізаторами.

Таблиця 3.14

Міцність сучасних стержневих сумішей, які можуть застосовуватися для машинного формування [40]

Процес	Склад суміші	Міцність на вигин, МПа через			
		0 год	0,5 год	1 год	24 год
PC/CO ₂	100 % кв. піску 3 % рідкого скла	0,35	0,4	0,6	2,2
Фенольна смола CO ₂	100 % кв. піску 2,5 у % фенольної смоли	0,6	1,2	1,4	1,8
БЕТАСЕТ	100 % кв. піску 2 % смоли 0,006 % метилформіату	1,6	2,2	2,4	2,5
Фуранова смола SO ₂	100 % кв. піску 1,6 % смоли 0,35 % орг. перекис 0,0024 % SO ₂	2,0	3,2	3,8	5,4
Епоксидна смола SO ₂	100 % кв. піску 6,6 % смоли 0,35 % орг. перекис 0,0024 % SO ₂	2,2	3,8	4,2	5,2
Амін процес	100 у - % кв. піску 0,6 у - % смоли 0,6 у - % полізіонату 0,8...1 гр аміну / кг суміші	2,0	3,0	3,8	4
Craning/Shell (235... 250 °C)	100 % кв. піску 4,55 % смоли 0,3 % уротропін 0,1 % стеарат кальцію	6,0	12,0	12,0	12,0

Особливо важливим аспектом твердіння моносистем на основі органічних смол є тип реакції полімеризації (табл. 3.15).

Таблиця 3.15

Тип реакції полімеризації моносистем на основі органічних смол [40]

Процес	Тип реакції полімеризації	Утворення низькомолекулярних продуктів реакції
PC/CO ₂	Утворення силікагелю	Лужні солі, вода, карбонати

Фенольна смола CO ₂	Поліконденсація	Вода, алкоголь
Betaset	Поліконденсація	Вода, лужні солі, алкоголь
Фурилова смола/SO ₂	Поліконденсація	Вода, алкоголь
Епоксидна смола/SO ₂	Поліприсєднання	-
Амін процес (Coldbox)	Поліприсєднання	-
Hotbox	Поліконденсація	Вода, алкоголь
Croning / Shell	Поліконденсація	Вода, алкоголь, аміак

З цієї таблиці стає зрозумілим, які процеси є самими успішними з точки зору утворення побічних продуктів реакції – це амін процес (Coldbox) і епоксі - SO₂.

3.2.1 Газовиділення і газопроникність. Усі сучасні системи, які хімічно твердіють, за винятком рідкого скла, є органічними речовинами. При температурах вище 600 °C починається їхнє випалювання, що закінчується утворенням твердого залишку (коксової плівки). У процесі випалювання відокремлюються гази, які можуть привести до утворення раковин і газової пористості у відливках. У залежності від хімічного складу ливарні сплави мають різну розчинність стосовно різних газів. Ця розчинність звичайно зменшується із зменшенням температури. Взаємодія між інтервалом кристалізації, температурним градієнтом і кінетикою затвердіння ливарного сплаву з одного боку, а також інтенсивністю газовиділення з іншого боку, повинно бути технологічно підібране так, щоб частка газової пористості не перевищувала б критичне значення.

Технологічні заходи, як наприклад, збільшення площі стержневих знаків і створення вентиляційних каналів, можливі, але не завжди припустимі. Тому при виборі процесу виробництва стержнів та безопочних форм необхідно враховувати кінетику газовиділення зі стержневої суміші.

Наступна діаграма (рис. 3.7) показано кількісне порівняння між інтенсивністю газовиділення для сучасних стержневих сумішей. Газовиділення вимірювали в міллілітрах газу за 2 гр. стержневої суміші при заливанні чавуном (температура чавуну 1340 °C, відливок вагою 7 кг).

Газопроникність сучасних стержневих сумішей залежить від діаметра зерна піску. Для стандартних кварцових пісків (0,16...0,31 мм) газопроникність ХТС із газовим твердінням при однаковій інтенсивності ущільнення змінюється в діапазоні 200...350 од [40].

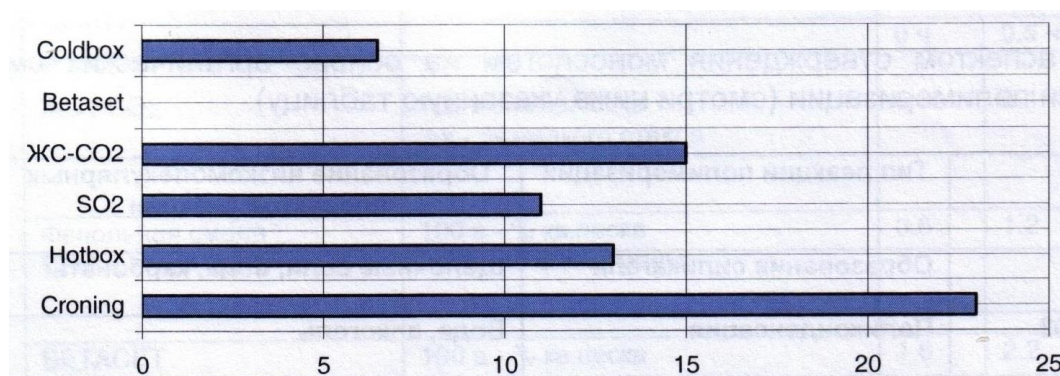


Рисунок 3.7 – Частка газовиділення із різних стержневих сумішей при температурі чавуну 1340 °C

3.2.2. Розмірна точність. Розмірна точність внутрішніх порожнин у відливках, оформлених стержнями, є найважливішим чинником при розробці технології ливарної форми. Стержні і форми розширюються в результаті термічного впливу розплавленого металу. Еластично пластичне поведіння стержнів (форм) залежить від термічної стійкості зв'язуючого. Додатково треба враховувати і перехід бета-/альфа-кристобаліт при 573 °C, який зв'язаний об'ємним розширенням кварцового піску на 0,8 %. [41] Чим пластичніше форма (стержні), тим більша імовірність появи дефектів по відливках (пригар, пенетрація, ужимини), що позначається на якості поверхні відливка і трудомісткості операції очищення відливка. Якщо податливість стержнів (форм) недостатня (як, наприклад, при рідкоскляних сумішах), імовірність появи гарячих тріщин збільшується. Наступна діаграма (рис. 3.8) показує зміни номінального діаметра ($d = 108$ мм) циліндричного отвору у відливку (7 кг) із сірого чавуну (температура заливки 1340 °C).

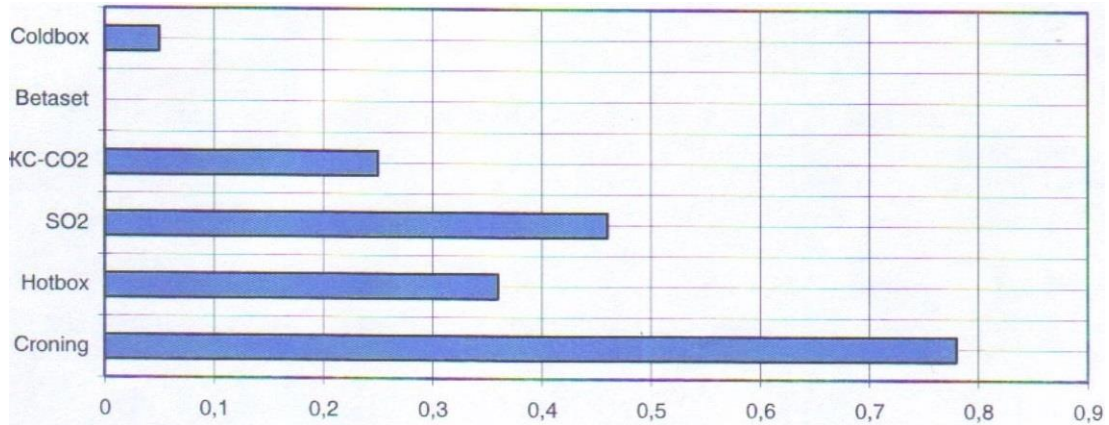


Рисунок 3.8 – Розмірна точність циліндричного отвору у відливку зі СЧ

3.2.3 Вибиваємість. Вибиваємість стержневих (формувальних) сумішей залежить прямо пропорційно від вмісту зв'язуючого. При розробці ливарної форми треба передбачати застосування формувальної або стержневої суміші, яка має високу початкову міцність при мінімальному вмісті зв'язуючого, високу термічну стабільність, але низьку залишкову міцність. Під час прогріву стержнів і форми з органічними зв'язуючими при заливці рідким металом міцність полімерних систем спочатку наростає до максимуму, а потім падає, утворюється коксовий залишок. Якщо температура заливки недостатня, щоб привести до випалювання зв'язуючих (як це може трапитися при виробництві алюмінієвих виливків), тоді вибивка стержнів ускладнюється.

При чавунному і сталевому литті через високу температуру заливки ці проблеми не існують. Механізм зміцнення рідкоскляних стержнів і форм із наростанням температури відрізняється від вищеописаного. Оболонки силікагелю зміцнюються без випалювання – неорганічний продукт має високу залишкову міцність. Тому найгіршу вибиваємість мають форми (стержні) на рідкоскляній основі.

На наступній діаграмі (рис. 3.9) порівнюємо вибиваємість стержневих (формувальних) сумішей для алюмінієвого лиття.

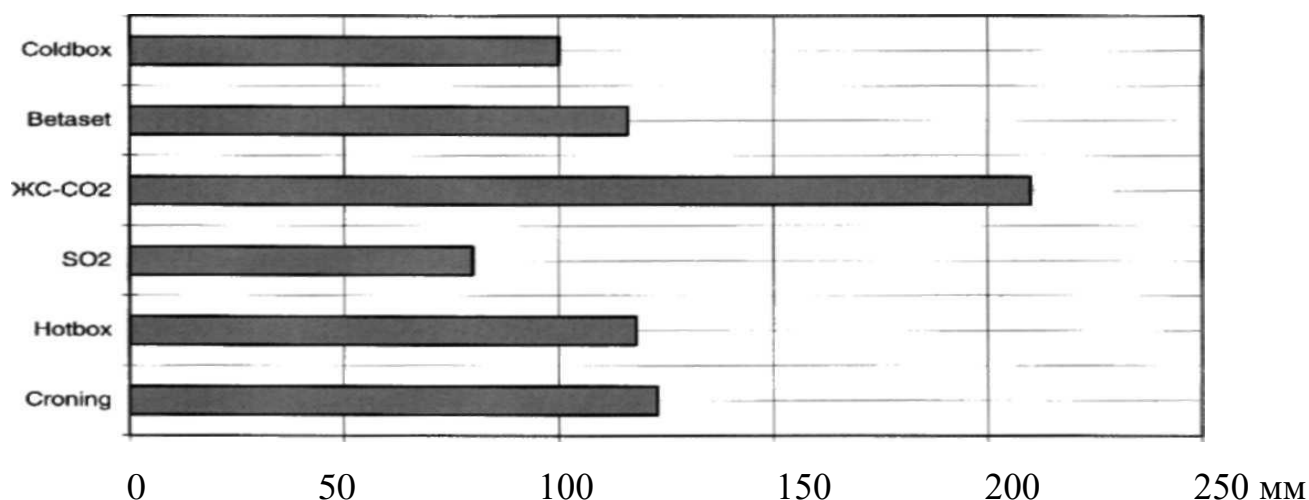


Рисунок 3.9 – Вибиваємість циліндричних стержнів із отвору алюмінієвого відливка

Вибиваємість оцінювали за часом в умовах руйнування вібраційним шляхом циліндричного стержня висотою 25 мм і діаметром 175 мм, залитого силуміном (температура заливки 740 °С).

3.2.4. Живучість. Живучість хімічно твердіючих сумішей, визначає гнучкість технологічного процесу. Сучасні ХТС із газовим твердінням, як наприклад, по процесах Coldbox, Betaset, SO₂, за винятком процесу CO₂, мають живучість у закритому стані не менш 4 годин. В принципі, якщо живучість суміші перебуває в інтервалі 2...4 годин – вона цілком достатня для виробництва якісних стержнів/безопочних форм, тому що твердіння суміші починається з моменту подачі газоподібного затверджувача (каталізатора).

3.2.5 Плинність. Суміші з високою живучістю мають гарну плинність. Плинність впливає на якість заповнення модельного оснащення. Для сучасних стержневих сумішей, як наприклад, по процесах Coldbox, SO₂, Betaset плинність достатня, щоб заповнити модельне оснащення тиском пострілу 3,5...4,5 атм.

3.2.6 Прилипаємість суміші до модельного оснащення. При виробництві стержнів/безопочних форм по процесах ХТС із газоподібним твердінням можливе застосування дерев'яного, пластмасового або металевого модельного оснащення.

Можливо виробляти високоякісні стержні вагою не більш 20 кг по процесах CO_2 , "амін-колдбок", Betaset у дерев'яному і пластмасовому модельному оснащенні, причому розділяючий шар наносять одноразово після 3...10 пострілів. Необхідною умовою для успішного знімання стержнів є оптимальна продувка газоподібним затверджувачем. Якщо умови продувки оптимальні, стержні і безопочні форми, особливо по процесу "амін-колдбок", знімаються без руйнування і прилипання.

По процесу SO_2 хімічний вплив сірчаної кислоти, що утвориться в результаті взаємодії між перекисом і SO_2 , на модельне оснащення вище, ніж по інших процесах на основі газового твердіння. По прилипаємісті істотних проблем немає – розділяючий шар наносять у тому ж самому порядку, як і по іншим вище зазначеним процесам [35].

При виробництві високоякісних стержнів (напівформ) сучасними піскострільними автоматами обдування модельного оснащення із періодичним нанесенням розділяючого покриття проводять в автоматичному режимі.

3.2.7 Регенерація. У наведеній нижче таблиці (табл. 3.16) приведені результати хімічного аналізу регенератів з різних моносистем, відділених при вибивці від матеріального потоку піщано-глинистої суміші [22]:

Термічна регенерація відходів стержнів (форм) по процесах Betase або Alphaset неефективна (Alphaset є ХТС – версією процесу Betaset з рідкими затверджувачами, але хімічна структура суміші неоднакова). Температура деструкції карбонату калію, що утвориться в процесі поліконденсації смоли і який міцно зв'язаний з поверхнею зерна – 1300...1350 °С. Підтримувати цю температуру в установках для термічної регенерації занадто дорого. Тому відходи по процесах

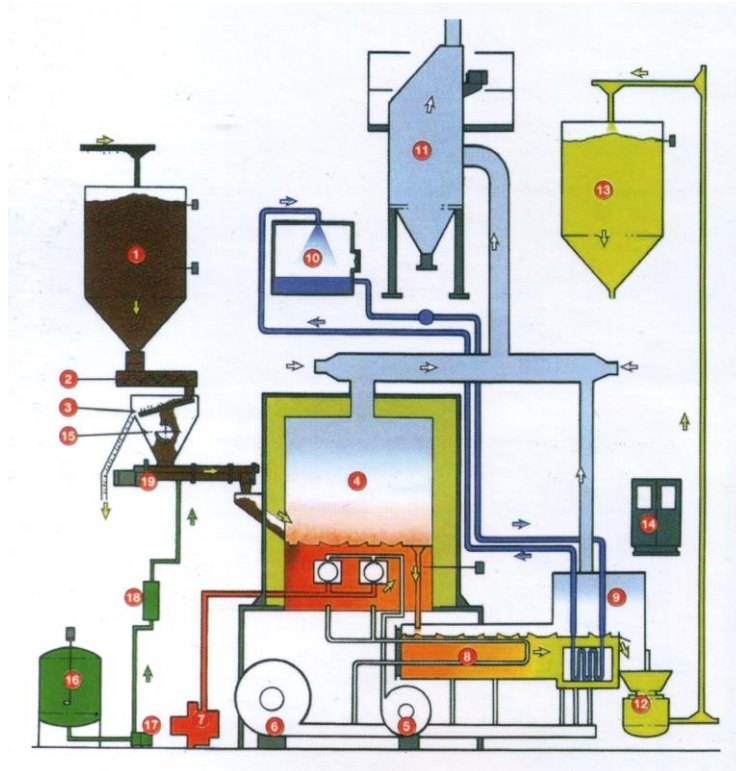
Betase і Alphaset обробляють механічним шляхом, але частка застосування регенератора не більш 80 %.

Термічну регенерацію проводять, в основному, для Coldbox процесу на установка продуктивністю від 259 кг/год до 1000 кг/год (рис. 3.10).

Таблиця 3.16

Результати хімічного аналізу регенератів з різних моносистем, відділених при вибивці від матеріального потоку піщано-глинистої суміші [33]

Параметр	ХТС на фурановій основі	ХТС на фенольній основі	Амін процес	РСС	Croning
Регенерація	Механічна	Механічна	Механічна	Мокра	Термічна
Вода %	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
pH	2,7	4,1	7,5	11,1	7,9
Кислотна потреба	124 мгр. NaOH на 100 гр	124 мгр. NaOH на 100 гр			
Вміст глинистих, %	0,84	0,56	0,30	0,74	0,26
Втрати від прожарювання	2,9	3,7	0,2	0,3	0,9
Зернистість, мм	0,36	0,23	0,28	0,18	0,20
Однорідність	73 %	69 %	78 %	73 %	85 %
Спец. поверхн. см ² /гр.	70	106	84	136	125
Максимальна частка регенерату, який застосовується	20...40 %	20...40 %	40...70 %	70...100 %	70...100 %



1 – бункер подачі суміші, яка поступила від системи механічної регенерації; 2 – шнековий дозатор; 3 – вібросито; 4 – піч; 5 – вентилятор високого тиску; 6 – вентилятор для створення псевдо шару в печі; 7 – допоміжний вентилятор для подачі газу; 8 – перший теплообмінник для нагріву повітря; 9 – псевдо шар охолоджувача-класифікатора для охолодження регенованої суміші; 10 – система охолодження води; 11 – система збирання пилу; 12 – система пневмотранспорту; 13 – бункер зберігання переробної суміші; 14 – панель керування; 15 – магнітний сепаратор; 16 – бак з мішалкою для добавок; 17 – дозуючий насос для добавок; 18 – вимірювач потоку; 19 – безперервний змішувач для добавок і піску.

Рисунок 3.10 - Схема установки для термічної регенерації суміші по Coldbox процесу

3.2.8 Екологічні аспекти. Під час підготовки суміші, виробництва стержнів і заливки форм виділяються гази, що забруднюють навколишню атмосферу.

При виробництві стержнів або безопочних форм по процесах з твердінням аміном або SO_2 , повітря, забруднене каталізатором відсмоктують скрубєром з метою нейтралізації. Скрубєр складається з масообмінної колони, вентилятора, станції дозування хімікатів і нейтралізатора.

При очищенні повітря від амінів у скрубєр подають водний розчин сірчаної кислоти. У результаті взаємодії утвориться розчин амінового сульфату, що циркулює до насичення. Процес керують по рН і рівню заповнення масообмінної колони робочим розчином. Коли розчин насичується і його кислотність перевищує $\text{pH} = 2$, автоматично відводять певну частку, а в скрубєр подають свіжий кислий розчин із $\text{pH} = 1 \dots 1,5$. Насичений розчин аміносульфату вводять у нейтралізатор, де обробляють водним розчином NaOH до утворення сульфату натрію. Розчин натрієвого сульфату, що є добривом для сільського господарства, продають хімічній промисловості.

Для нейтралізації 1 кг аміну необхідні:

- 1,5 кг сірчаної кислоти (не менше 50%);
- 0,5 кг NaOH (15%).

Чим вища концентрація хімікатів, тим менша їхня частка в процесі нейтралізації. На виході скрубєра фірми-виробники цього устаткування гарантують концентрацію амінів у повітрі нижче припустимої (нижче 5 мг/ м^3 повітря).

Конструкція скрубєрів для очищення амінів і SO_2 однакова.

При очищенні повітря від SO_2 у скрубєр подають водний розчин соди. У результаті взаємодії утвориться розчин натрієвого сульфату, що циркулює до насичення. Процес керують по рН і рівню заповнення нейтралізатора робочим розчином. Коли розчин насичується і його кислотність $\text{pH} = 6,5 \dots 7,5$, автоматично відводять певну частку, а потім подають свіжий лужний розчин.

Для нейтралізації 1 кг SO_2 необхідні 1,8 кг кальцінованої соди.

Виходячи з виробничого досвіду, необхідно вказати, що частка для виробництва 1 кг стержнів по процесах SO₂ потрібні по 10 гр. SO₂, а по процесу Coldbox – 0,2...1 гр. амінів [29].

По процесу Betaset очищення метилового формату шляхом хімічної нейтралізації не виконують. Частка застосування цього процесу занадто мала, щоб розроблялися скрубера для метилового формату. Стержні Betaset вагою вище 20 кг поки рідко виготовляються, так що забруднення навколишньої атмосфери метиловим форматом залишається нижче припустимої законодавчої частки.

Через комплексний і часто протилежний хімічний характер газів, які виділяються (від лужного аміаку до кислого SO₂), устаткування для очищення є надзвичайно дорогим. Тому практикують вентилявання робочих місць в об'ємному потоці повітря із розведенням нижче припустимої робочої концентрації для кожного зі складених газів. Такі заходи можливі через те, що класичні стержні або напівформи, які одержують в оснащенні, що підігрівається, важать не більш 30 кг. Теж саме відноситься і до ХТС із рідкими затверджувачами. Причому через необмеженість вироблених форм по вазі, забруднення робочих місць змішаними газами значно більше, ніж по процесах Croning або Hotbox.

3.2.9 Економічні критерії. При виборі технології виготовлення форм і стержнів необхідно враховувати наступні фактори:

- початкові інвестиції;
- вартість необхідних матеріалів;
- кількість зайнятих у виробничому процесі людей і їхня заробітна плата;
- вартість застосовуваної енергії

За рівнем цін в Україні (стан на 2019 р.) можна порівняти вартість 100 кг стержневої (формуваної) суміші в залежності від їхнього складу (табл. 3.17) [17].

Вартість стержневої суміші в залежності від її складу

Процес			
Croning	Hotbox	Coldbox	SO ₂
100 % кварцовий пісок, промитий, просушений			
1,5...5 % смоли 0,15...0,75 % НМТА 0,15...0,3 % Са-стеарат	2 % смоли 0..55 % затверджувача 1 % добавки	0,4...0,8 % смоли 04...0,8 % полізоц 0,008 % амінів	1,6 % смоли 0,35 % перекису 0,003 % SO ₂
80...120 грн	60...100 грн	30...60 грн	50...80 грн

Висновки по третьому розділу

1 Неконкурентоспроможність традиційного лиття: в умовах ринкових відносин в Україні виробництво простих великогабаритних виливків на основі класичної піщано-глинистої суміші (ПГС) стає неконкурентоспроможним через можливість дешевшого імпорту аналогічної якості. Зростання вимог до складності виливків та відтворюваності їхніх технічних характеристик вимагає впровадження новітніх технологій.

2 Недоліки піщано-глинистої суміші (ПГС): незважаючи на низьку вартість оборотної суміші, класична ПГС характеризується низькою міцністю, неефективною регенерацією (частка регенерату не перевищує 80 %) та несприятливим співвідношенням "метал : форма" (1:6 – 1:8 для опочної формовки). Крім того, наявна проблема сумісності лужної ПГС зі слабокислими стержневими сумішами типу «амін-колдбокс».

3 Переваги холоднотвердіючих сумішей (ХТС): технології на основі ХТС (наприклад, фуранові смоли, «амін-колдбокс») є більш перспективними, оскільки дозволяють зменшити матеріальні і енергетичні витрати, збільшити гнучкість процесу та досягти кращого співвідношення "метал : форма" (1:2 – 1:1) завдяки економному застосуванню сухої суміші. Це створює передумови для формування міні-заводів з виробництва широкої номенклатури металевих виливків.

4 Технологічна перевага «Амін-Колдбокс» процесу: живучість та швидкість твердіння: Суміші «амін-колдбокс» демонструють значно вищу живучість (4...8 годин) порівняно з ХТС на базі фуранових смол (5...15 хвилин), при цьому маніпуляційна міцність (2,2 МПа) досягається швидко (протягом 10...90 секунд) під час циклу формоутворення, а не годинами, як для фуранових смол (мінімум 1,2 години).

5 Якість форм і виливків: газотворна здатність суміші «амін-колдбокс» у 3...4 рази нижча, ніж у ХТС на базі фурану. Завдяки вищій щільності та мінімальному градієнту міцності форм і стержнів, виготовлених за «амін-процесом», виключені дефекти типу ерозії або пенетрації, а імовірність утворення газових раковин значно нижча.

6 Стійкість до зовнішніх факторів: на відміну від фуранових смол, якість сумішей «амін-колдбокс» менш чутлива до коливань температури (оптимальний діапазон 10...30 °C) та високої вологості повітря (допускає роботу при 90...95 %).

ВИСНОВКИ

В першому розділі магістерської роботи обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху, описано роботу плавильного, формувального-заливно-вибивного, стержньового, сумішоприготувального, очисного відділень, дільниць обрубки виливків, модельного оснащення та готової продукції, визначені площі під лабораторії та комори, адміністративних та побутових приміщень. У відповідності з технологічним процесом виготовлення виливків, підібрано обладнання плавильного, формувального-заливно-вибивного, стержневого та очисного відділень. Приведено опис процесів плавки сплаву СЧ, приготування формувальних і стержневих сумішей, виготовлення ливарних форм і стержнів.

В другому розділі приведено аналіз конструкції деталі, розроблені технічні умови на відливки, технологія виготовлення відливка, виконано розрахунок ливниково-живильної системи, описано технологію виготовлення форми, наведено характеристику матеріалів, параметри та способи технічного контролю якості відливків.

В третьому розділі встановлено, що в умовах ринкових відносин в Україні виробництво простих великогабаритних виливків на основі класичної піщано-глинистої суміші (ПГС) стає неконкурентоспроможним через можливість дешевшого імпорту аналогічної якості. Зростання вимог до складності виливків та відтворюваності їхніх технічних характеристик вимагає впровадження новітніх технологій. Описані переваги холоднотвердіючих сумішей (ХТС) при виробництві стержнів і ливарних форм. Технології на основі ХТС (наприклад, фуранові смоли, «амін-колдбокс») є більш перспективними, оскільки дозволяють зменшити матеріальні і енергетичні витрати, збільшити гнучкість процесу та досягти кращого співвідношення "метал : форма" (1:2 – 1:1) завдяки економному застосуванню сухої суміші. Суміші «амін-колдбокс» демонструють значно вищу живучість (4...8 годин) порівняно з ХТС на базі фуранових смол (5...15 хвилин),

при цьому маніпуляційна міцність (2,2 МПа) досягається швидко (протягом 10...90 секунд) під час циклу формоутворення, а не годинами, як для фуранових смол (мінімум 1,2 години). Газотворна здатність суміші «амін-колдбокс» у 3...4 рази нижча, ніж у ХТС на базі фурану. Завдяки вищій щільності та мінімальному градієнту міцності форм і стержнів, виготовлених за «амін-процесом», виключені дефекти типу ерозії або пенетрації, а імовірність утворення газових раковин значно нижча. На відміну від фуранових смол, якість сумішей «амін-колдбокс» менш чутлива до коливань температури (оптимальний діапазон 10...30 °С) та високої вологості повітря (допускає роботу при 90...95 %).

Це створює передумови для формування міні-заводів з виробництва широкої номенклатури металевих виливків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Джур, Є.О. Проектування машинобудівних заводів та цехів. Загальна частина Текст: навч. посіб. /Є.О. Джур, О.В. Бондаренко. – Д.: “Інновація”, 2011. – 109 с.
2. Проектування ливарних цехів. Ч.1: підручник / Г. Є. Федоров, М. М. Ямшинський, В. Г. Могилатенко [та ін.]. - Київ: НТУУ «КПІ», 2011. – 588 с.
3. 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. – 380 с..
4. Туманський Б. Ф. Проектування ливарних цехів. – К.: НМКВО, 1992. – 188с.
5. Дьомін Д.О. Виробничо-технологічна комплектація ливарних цехів. Довідниковий посібник.– Технологічний Центр. – Х.: Видавництво «Харків», 2012. – 315 с.
6. Москальов І. Н. Ливарні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. – К.: НМКВО, 1993. – 368 с.
7. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О. В., Посвятенко Е. К., Кюрчев С. В., Лодяков С. І. - Мелітополь: ТПЦ «Forward press», 2019. – 352 с.
8. Туманський Б. Ф. Проектування ливарних цехів. – К.: НМКВО, 1992. – 188 с.
9. Сумцов В. П. Устаткування ливарних цехів. – К.: ІСДО, 1993. – 552 с.
10. Конспект лекцій з дисципліни «Устаткування та проектування ливарних цехів». Розділ 1 «Устаткування загального призначення» для студентів напряму 6.050402 - Ливарне виробництво / Уклад. С.А. Стороженко. – Кам'янське: ДДТУ, 2017. – 48 с.
11. Основи металургійного виробництва металів і сплавів / за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. – Київ: Вища школа, 2006. – 503 с.

12. ДСТУ 8833:2019. Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови. – Вед. 2020–01–01. – К.: Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, 2019. – 10 с.
13. Могилатенко В.Г., Пономаренко О.І., Дробязко В.М., Кочешков А.С., Ямшинський М.М.. Теоретичні основи ливарного виробництва. – Харків.: НТУ «ХП», 2011. – 288 с.
14. Наказ від 28.12.2022 № 285 Про пакетне прийняття європейських нормативних документів CEN/CENELEC. - К.: ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»), 2022. – 15 с.
15. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки: навчальний посібник. / [Д.усанюк Ж. П.,Шиліна О. П., Репінський С. В. та ін.] – Вінниця: ВНТУ, 2009. –199 с.
16. Технологія ливарної форми (ТЛФ) [Текст] : навч. посіб. до практ. занять і самост. роботи для студентів галузі знань 13 "Механічна інженерія" спец. 136 "Металургія" спеціалізації "Ливарне виробництво" / А. М. Фесенко ; Донбас. держ. машинобуд. акад., Каф. технологій і обладнання ливар. вир-ва. - Краматорськ : ДДМА, 2017. - 112 с.
17. Технологія ливарного виробництва [Текст]: навч. посібник для студ. вищих навч. закл., які навчаються за напрямком 0904 "Металургія" / Г. Г. Корицький [і інші]. - Донецьк: ДонНТУ, 2008. - 176 с..
18. Поляков Я. Г. Литейное производство за рубежом. М.: Машгиз, 1958. - 251 с.
19. Дорошенко С. П., Дробязко В. Н., Ващенко К.И. Получение отливок без пригара в песчаных формах. М.: Машиностроение, 1978. - 208 с.
20. Комиссаров В. А., Серебряков В. В. Направления развития малоотходных технологических процессов производства отливок. - Литейное производство, 1983, № 5 - С. 2-3.

21. Жуковский С. С., Лясс А. М. Форш и стержни из холоднотвердеющих смесей. М.: Машиностроение, 1978. - 222 с.
22. Лясс А. М. Быстротвердеющие формовочные смеси. М.: Машиностроение, 1965. - 332 с.
23. Черногоров П. В., Васин Ю. П. Пластичные самотвердеющие смеси в литейном производстве. Челябинск: Южноуральское книжное издательство, 1970. - 88 с.
24. Борсук Л. А., Игнатъев В. И. Жидкостекольные смеси с жидкими отвердителями. Литейное производство, 1982, В 8. - С 12-13.
25. Бречко А. А., Великанов Г.Ф. Формовочные и стержневые смеси с заданными свойствами. Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1982. - 216 с.
26. Изготовление стальных отливок с применением стержней из холоднотвердеющих песчано-смоляных смесей / Е. А. Белобородов, Р. И. Булыптейн, В. А. Гутник и др. В кн.: Технология литейного производства. - М.: НИИ ШЖБМТЯЖМАШ, 1974. - С. 36-46.
27. Потихиевская С. А., Мощинская Н. К. Карбамидные смолы с применением фурфурола и его производных. Киев: Техника, 1964. - 35 с.
28. Воробьев В. А., Андрианов Р. А. Технология полимеров. М.: Высшая школа, 1980. - 304 с.
29. Применение холоднотвердеющих смесей для изготовления стержней в серийном и индивидуальном производстве/А. П. Платонов, Г. И. Клецкин, Р. П. Пикман и др. Литейное производство, 1977, В 2. - С. 16.
30. Лосев И.П., Тростянская Е.В. Химия синтетических полимеров. - М.: Химия, 1971. - 615 с.
31. Юргенсон Е. Н., Никифоров А. Д., Кузьмин Б. А. Изготовление стержней из холоднотвердеющих смесей на связующем ОФ-І для стальных отливок. В кн.: Прогрессивные методы изготовления литейных форм и стержней. - Л.: ЛДНТП, 1975. - С. 39-42.

32. Бречко А. А., Великанов Г. Э., Примак И. Н. Формирование структурно-механических свойств смесей. Литейное производство, 1981, № 6. - С. 14-15.
33. Ота Хидзаки. Самоотвердеющие смеси на органических связующих. - Тютадцзо то мэцу сери, 1979, №8. - С. 23-27.
34. Boenish Dietmar, Mollenkoff Rolf. Wirkungsgrad sonkalthar-ren bilinflubtdie for rateigestigkeet, Giesserei, 1977, 1. N 17. – p. 429-437.
35. Бречко А. А., Великанов Г. Э., Примак И. Н. Формирование структурно-механических свойств смесей. Литейное производство, 1981, № 6. - с. 14-15.
36. Ота Хидзаки. Самоотвердеющие смеси на органических связующих. - Тютадцзо то мэцу сери, 1979, 32, №8. - С. 23-27.
37. Радченко С. И., Большев В. С. Оценка формовочных песков для производства плакированных смесей. Литейное производство, 1981, В 6. - С. 16-17.
38. Марков В.А., Капустин В.И., Рыжков Н.Ф. Исследование термостойкости связующих материалов для ХТС на основе феноло-формальдегидных смол, отверждаемых диизоцианатами. В кн.: Труды Алтайского политехнического института. - Барнаул, 1975, вып. 45. - С. 11-14.
39. Harrington E. The desirability function. Industrial Quality Control, 1965, v. 21, N 10. - p. 494-498.
40. Сварика А.А. Формовочные материалы и смеси: Справочник. - Киев: Техника, 1983. - 144 с.

ДОДАТКИ