МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повна найменування вищого навчального закладу)
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
(назва факультету)
КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ, ЕКОЛОГІЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота/ проєкт

другий (магістерський) рівень вищої освіти
(рівень вищої освіти)

на тему «Аналіз світових трендів ливарної промисловості»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1363- мчм-дн

спеціальності 136 «Металургія»
(код і назва спеціальності)

освітньо-професійна програма «Металургія чорних металів»
(назва освітньої програми)

Гром Віталій Вікторович
(ініціали та прізвіще)

Керівник доцент, с. н. с., доцент Харченко О.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доцент, канд. техн. наук, доцент
Воляр Р.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра ___*металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*____
Рівень вищої освіти_____*другий (магістерський) рівень*_____
(другий (магістерський) рівень)
Спеціальність_____*136 «Металургія»*_____
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма____*Металургія чорних металів*_____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____*МТЕТБ*_____
_____*Ю.О. Бєлоконь*
“__” _____2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТУ

Гром Віталію Вікторовичу
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи)__*«Аналіз світових трендів ливарної промисловості»*_____

керівник роботи (проєкту)__*Харченко Олександр Вікторович, канд. техн. наук, с.н.с.*_____
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від *“28” 02 2024 р. № 363-с*

2. Строк подання студентом роботи (проєкта)_____*10.02.2025р.*_____

3. Вихідні дані до роботи (проєкта)___*Науково-технічна література, ДСТУ, патенти.*_____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)__*Реферат. Вступ. Аналіз перспектив розвитку ринку лиття у контексті «Індустрія 4.0». Аналіз можливості використання адитивних технологій у ливарному виробництві. Ливарно-прокатні модулі: різновиди, перспективи. Дослідження технології виготовлення ливарних моделей з використанням відходів деревообробного виробництва для енерго- та ресурсозбереження. Охорона праці та техногенна безпека. Загальні висновки. Перелік джерел посилання.* _____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень) *Титульний лист – 1. Вступ – 0. Розділ 1 – 3. Розділ 2 – 5. Розділ 3 – 2. Розділ 4 – 8. Розділ 5 – 0. Загальні висновки – 2.* _____

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Аналіз перспектив розвитку ринку лиття у контексті «Індустрія 4.0»	*Харченко О.В., доцент*	
Аналіз можливості використання адитивних технологій у ливарному виробництві	*Харченко О.В., доцент*	
Ливарно-прокатні модулі: різновиди, перспективи	*Харченко О.В., доцент*	
Дослідження технології виготовлення ливарних моделей з використанням відходів деревообробного виробництва для енерго- та ресурсозбереження	*Харченко О.В., доцент*	
Охорона праці та техногенна безпека	*Харченко О.В., доцент*	
Нормоконтроль	*Кириченко О.Г., доцент*	

7. Дата видачі завдання *01.03.2024р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів 3 проєкту	Примітка
1	*Реферат. Зміст. Вступ.*		
2	*Аналіз перспектив розвитку ринку лиття у контексті «Індустрія 4.0»*		
3	*Аналіз можливості використання адитивних технологій у ливарному виробництві*		
4	*Ливарно-прокатні модулі: різновиди, перспективи*		
5	*Дослідження технології виготовлення ливарних моделей з використанням відходів деревообробного виробництва для енерго- та ресурсозбереження*		
6	*Охорона праці та техногенна безпека*		
7	*Загальні висновки. Перелік джерел посилання*		
8	*Графічна частина*		

Студент _____ *Гром В.В.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____ *Харченко О.В.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 77 с., 2 табл., 27 рис., 30 джерел посилання, 3 додатки.

ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО, ЛИВАРНА МОДЕЛЬ, ЛИВАРНА ФОРМА, АДИТИВНЕ ВИРОБНИЦТВО, ВИЛИВОК.

Об'єкт дослідження: процес пресування зразків з відходів деревообробного виробництва (тирси); вплив хімічного та гранулометричного складу шихти для виготовлення ливарних моделей з деревини та відходів деревообробного виробництва на їх фізико-технологічні властивості.

Мета роботи – проведення комплексної оцінки технічного рівня ливарного виробництва.

Методи дослідження: визначення фізико-технологічних властивостей відповідно до вимог стандартів; обробка даних з використанням ПК.

Проведено огляд перспектив розвитку ринку лиття у контексті «Індустрія 4.0» та надана оцінка стану ливарного ринку України.

Розглянуто можливості використання адитивних технологій у ливарному виробництві.

Розглянуто сучасні різновиди ливарно-прокатних модулів.

Запропоновано принципову схему технологічного циклу виготовлення ливарних моделей з відходів деревообробного виробництва та приведено дослідження фізико-механічних властивостей та гранулометричного складу деревини та моделей з відходів деревообробного виробництва.

Проаналізовано небезпечні і шкідливі чинники ливарного виробництва.

Результати аналітичних досліджень можуть бути використані в освітньому процесі ЗНУ при викладанні дисципліни «Сучасні проблеми металургії» для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 «Металургія» освітньо-професійних програм «Металургія чорних металів», Металургія кольорових металів» та «Обробка металів тиском».

ЗМІСТ

ВСТУП…… 7
1 АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ РИНКУ ЛИТТЯ У КОНТЕКСТІ «ІНДУСТРІЯ 4.0»……. 9
1.1 «Індустрія 4.0»: характерні риси та перспективи……..… 9
1.2 Оцінка впливу «Індустрія 4.0» на ливарне виробництво…… 11
1.3 Екологічно-безпечні матеріали, що пов'язують, для потреб ливарної промисловості…… 15
1.4 Прогресивних технологій ливарного виробництва складних деталей… 18
1.5 Оцінка ливарного ринку України…….. 23
2 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ……..……. 24
2.1 CAD/CAM/CAE-технології та ливарне виробництво……..…… 24
2.2 Лиття за газифікованими моделями та 3D-технології…… 26
3 ЛИВАРНО-ПРОКАТНІ МОДУЛІ: РІЗНОВИДИ, ПЕРСПЕКТИВИ……... 35
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИВАРНИХ МОДЕЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ ДЕРЕВООБРОБНОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ЕНЕРГО-ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ……. 44
4.1 Матеріали та методика дослідження…… 44
4.2 Схема технологічного циклу виготовлення ливарних моделей з відходів деревообробного виробництва……. 47
4.3 Оцінка гранулометричного складу та фізико-механічних властивостей ливарних моделей з відходів деревообробного виробництва……. 47
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА…… 56
5.1 Заходи щодо захисту навколишнього середовища при проєктуванні ливарних цехів……... 56
5.2 Вимоги щодо безпеки до виробничого обладнання та технологічних

процесів ливарних цехів……... 59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ…..... 63
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ……. 65
ДОДАТКИ……. 69
ДОДАТОК А ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМІ КОНЦЕНТРАЦІЇ РЕЧОВИН У ПОВІТРІ РОБОЧОЇ ЗОНИ……..…. 69
ДОДАТОК Б ПРИПУСТИМІ НОРМИ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ……. 70
ДОДАТОК В НОРМОВАНІ ЗНАЧЕННЯ ШТУЧНОЇ ОСВІТЛЕНОСТІ НА РОБОЧИХ ПОВЕРХНЯХ ДЛЯ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ…….. 71
ДОДАТОК Г НАУКОВІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ…… 72

ВСТУП

На сьогодні ливарне виробництво було і залишається кращим (а іноді і єдино можливим) способом виробництва деталей складної конфігурації і з потрібним пакетом властивостей за умови максимального, порівняно з іншими способами, одержання промислових заготовок з максимальним коефіцієнтом використання металу.

Порівняно низька вартість литих заготовок промислового призначення забезпечується тісним співробітництвом доробок багатьох науковців цієї галузі, які направлені на дослідження технології виробництва, конструкції виливків, оснащення й устаткування.

Саме тому сьогоденний стан та альтернативи розвитку ливарного виробництва варто розглядати в сукупній діяльності відповідних ливарних процесів і ливарного ринку.

Безпосередньо стан ливарного виробництва машинобудівних підприємств не в змозі повною мірою забезпечити сучасний рівень вимог до якості виливків.

Діючі на підприємствах машинобудування та металургії системи контролю якості не здатні забезпечувати необхідний рівень якості та конкурентоспроможності металопродукції. Високу якість металопродукції можливо досягти на основі контролю протікання процесів заготівельного виробництва та оцінки показників якості виробів машинобудування.

Таким чином, особливої доцільності набуває проблема розробки ефективної моделі оцінки контролю якості ливарної продукції на машинобудівних та металургійних підприємствах [1].

Мета роботи – проведення комплексної оцінки технічного рівня ливарного виробництва.

Основні положення роботи доповідались і обговорювались на 2-х конференціях:

1. Харченко О. В., Гром В. В. Аналіз світових трендів ливарної промисловості. *Інженерні інновації та розбудова національної економіки* : Матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні (09–10 травня 2024 року, м. Запоріжжя). Запоріжжя : ЗНУ. 2024. С. 574–575.

2. Харченко О. В., Гром В.В. Аналіз світових трендів ливарної промисловості. *Сучасні перспективи розвитку обліку, фінансів, економіки, управління, права та інженерії* : Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ (5–6 грудня 2024 року, м. Запоріжжя). Запоріжжя : ЗНУ. 2024. С. 347–348.

1 АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ РИНКУ ЛИТТЯ У КОНТЕКСТІ «ІНДУСТРІЯ 4.0»

1.1 «Індустрія 4.0»: характерні риси та перспективи

На сьогодні розвиток «Індустрія 4.0» («Industrie 4.0» або «Четверта промислова революція») (рис. 1.1) обумовлений інтеграцією IT-технологій, автоматизацією виробництва, впровадженням інформаційно-комунікаційних засобів та технологій [2–9].

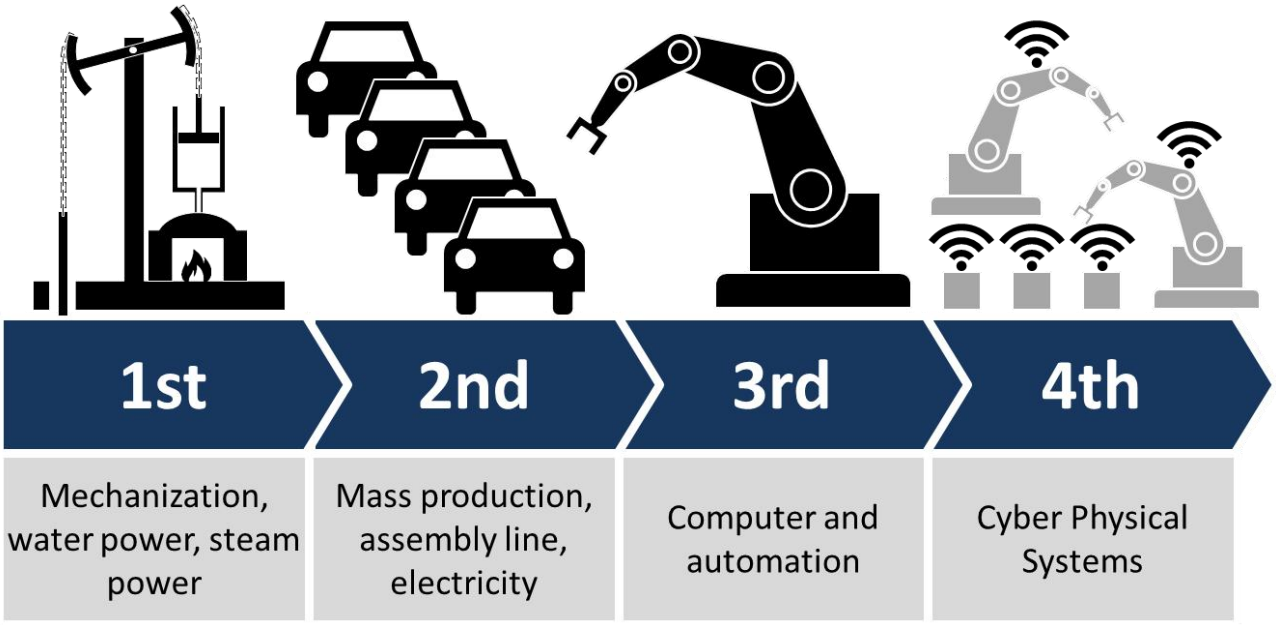


Рисунок 1.1 – Послідовність від «Індустрія 1.0» до «Індустрія 4.0»

Характерними рисами «Індустрії 4.0» є повністю автоматизовані виробництва, на яких керівництво всіма процесами здійснюється в режимі реального часу і з урахуванням мінливих зовнішніх умов. Підприємства виробляють продукцію відповідно до вимог індивідуального замовника, при цьому оптимізуючи собівартість виробництва продукції.

Компонентами «Індустрії 4.0» є:

– елементи Інтернету речей;

– штучний інтелект (ШІ), машинне навчання і робототехніка;

– хмарні обчислення;

– Big Data;

– аддитивное виробництво (3D–друк);

– кібербезпека;

– інтеграційна система;

– моделювання;

– доповнена реальність.

В основі Industry 4.0 лежать smart manufacture. На таких підприємствах можна реалізувати виробничі процеси будь-якої складності, при цьому звівши до мінімуму ризик збоїв і забезпечивши ефективне створення «розумних» продуктів. «Розумні» ж підприємства в свою чергу будуть здатні враховувати індивідуальні вимоги замовників, в будь-яку хвилину змінюючи режим роботи виробництва і швидко реагуючи на збої в роботі постачальників. Повна прозорість виробничих процесів дозволяє приймати оптимальні рішення і створювати нові бізнес моделі [10].

«Індустрія 4.0» заснована на дев'яти інноваційних сегментах [11]:

1. Великі дані та їх аналіз (Big Data and Analytics). Збір, обробка та аналіз технологічних, торгових та фінансових даних у масштабах підприємства та торгових мереж для прийняття рішень щодо підвищення конкурентоспроможності товарів.

2. Автономні роботи (Autonomous Robots). Промислові роботи, які оснащені кіберфізичною системою (КФС) та можуть самостійно (автономно) виконувати роботи замість людей – спеціалістів. Колаборативні роботи (Collaborative robots) або короботи, які можуть контактувати як з іншими роботами, так і з персоналом.

3. Моделювання (Simulation). Створення віртуальної моделі виробництва поряд з реальним виробництвом дозволяє використовувати віртуальну модель

для її коригування з подальшим перенесенням змін на реальне виробництво. Це дозволить економити час та фінанси при виборі оптимального варіанта дій.

4. Горизонтальна та вертикальна система інтеграції (Horizontal and Vertical Integration). Об'єднання інформаційно-технологічної системи підприємства або компанії через Інтернет речей з постачальниками сировини та продавцями виробленої продукції.

5. Промисловий інтернет речей (The Industrial Internet of Things) – інструмент для створення виробничо-торговельних мереж, що працюють у режимі реального часу.

6. Кібернетична безпека (Cybersecurity). Система захисту баз даних та систем їх обробки, а також програмного забезпечення «розумного» виробництва від кібератак.

7. Хмарні технології (The Cloud Technology) забезпечують максимально швидку обробку даних як від внутрішніх, так і від зовнішніх джерел інформації (обладнання, склади, постачальники, торговельні мережі).

8. Адитивне виробництво (Additive Manufacturing) базується на 3D-принтерах, які забезпечують як виготовлення експериментальних зразків продукції, і їх невеликих партій. У перспективі дуже можлива розробка 3D для виробництва продукції.

8. Віртуальна реальність (Augmented Reality) – створення розширених можливостей персоналу для аналізу поточної ситуації, ремонту обладнання та його навчання.

Безпосередньо процес переходу до «Індустрія 4.0» в Україні є повільним, про те вже можемо спостерігати позитивні зрушення [11].

1.2 Оцінка впливу «Індустрія 4.0» на ливарне виробництво

Основними завданнями, які стоять перед ливарною галуззю в контексті «Індустрія 4.0» є:

с



Рисунок 1.2 – Сучасні цифрові тренди в Україні [12]

– забезпечення без дефектності ваідливокв;

– швидкі умови технологічної підготовки та постачання продукції;

– короткі інтервали в переході від виготовлення одного продукту до іншого;

– використання датчиків контролю технологічного процесу;

– моніторинг комп'ютера та проведення інтелектуального аналізу даних.

Створення «розумного» ливарного виробництва в Україні може бути реалізовано кількома способами:

– імпорт необхідного обладнання для ливарного виробництва, яке дозволяє прискорити процес створення відповідного виробництва у форматі «Індустрія 4.0»;

– створення українських інтелектуальних ливарних комплексів, заснованих на сегментації лиття та існуючих конструкторських та технологічних розробок із залученням IT –компаній.

При цьому потрібним стане перегляд українських стандартів на формувальні та шихтові матеріали, розробка та налагодження надійних ланцюжків постачання формувальних, шихтових та витратних матеріалів. Очевидно, що в рамках формату «Індустрія 4.0», а точніше, «Лиття 4.0» перед ливарниками та металознавцями постає питання не лише про модернізацію та розширення номенклатури ливарних сплавів (cast alloys), а й створення нового класу металевих сплавів універсального призначення.

Ринок лиття мотивує трансформацію деяких підприємств з продажу товару (відливок та матеріалів для їх виробництва) на постачання послуг – не тільки забезпечення підприємств ливарної продукції, науково-технічної та технологічної підтримки, а й тимчасової установку на площадках замовника певних ливарних машин, які забезпечать його відливками.

Аналогічно будуть виготовлені ливарні лінії, виробництво яких засновано на концепції «все в цифрі» та дозволяє обчислить оптимальний варіант технологічного потоку, а програма, яка розроблена на цій основі, виконає

базовий інженерінг. Потім конструктор із замовником вибере найкращій варіант із запропонованих системою, а потім програма обчислює технічні вимоги для кожного з одиниць обладнання та систему взаємодії між ними. Потім комп'ютерна програма на базі на серійних машинах та верстатів сама проєктує недостатнє обладнання в 3D з тисяч конструкційних модулів, які збираються на підприємстві-виробнику, виконавши автоматизоване різання, зварювання метал несучих конструкцій. Будується схема: ідея – модель – технологія – обладнання та апарати – продукція (виливки). У цифровому форматі: система автоматичного проєктування передає заказ статкам та центрам, що оброблюють [13–15].

Відомо, що компанія Michelin використовує адитивні технології (зокрема, технологію селективного лазерного спікання дрібнодисперсного (6–8 мкм) порошку) – 3D–друк ламелів для металевих ливарних форм, які складно відтворити за традиційними технологіями (рис. 1.3). Це підняло якість ливарної оснастки та кінцевої продукції: за рахунок використання друкованих ламелей оснастки тонкостінні внутрішні канавки шин мають складний профіль, що позитивно позначається на їх споживчих властивостях. Технологічний процес складається з наступних етапів:

• підготовка, завантаження та вивантаження порошку в робочу зону 3D-принтерів;

• виробництво за допомогою технології селективного лазерного спікання (Selective Laser Sintering, SLS) на одно- або дволазерних системах;

• вивантаження із зони друку заготовок ламелей на платформи;

• ультразвукове миття заготовок ламелей;

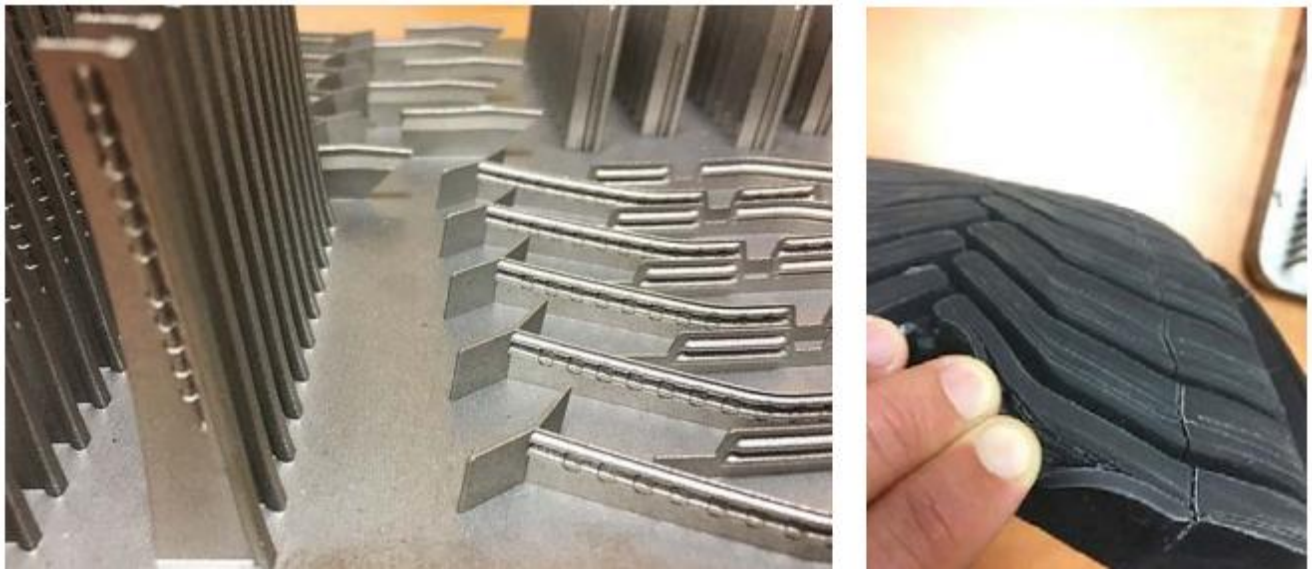
• зняття ламелей із платформ;

• фінішна обробку;

• контроль якості продукції [16].

1.3 Екологічно-безпечні матеріали, що пов’язують, для потреб ливарної промисловості

Матеріали, що пов’язують, (рис. 1.4) в сучасному виробництві є визначальним елементом багатьох технологічних процесів, причому і ливарній промисловості.



а б

Рисунок 1.3 – Металеві ламелі ливарних форм (а) та їх відбиток на готовій продукції (б) [13]

Використання матеріалів, що пов’язують, в різноманітних технологічних процесах виробництва зумовлено необхідністю вирішення сукупності багатьох питань, що стосуються не тільки техніки і технології, але і економіки, екології, безпеки праці та інших, що визначають зміст багатогранності проблеми розробки, створення і застосування цього типу матеріалів. Технічний аспект цієї проблематики визначається складністю і різноманіттям технологічних процесів, в яких бере участь матеріал, що пов’язує, на етапах свого життєвого циклу, на якому піддається різним діям.

Технологічні процеси виготовлення виливків характеризуються великим

числом операцій, при виконанні яких виділяються пил, аерозолі і гази. Пил та



Рисунок 1.4 – Оцінка впливу матеріалів**,** що пов'язують, та вживаються у ливарному виробництві на основні аспекти його роботи

різні гази утворюються при приготуванні і регенерації формувальних і стрижньових сумішей, висушуванні ливарних форм та стрижнів, плавці ливарних сплавів у різних плавильних агрегатах, випуску рідкого металу з печі, позапічній обробці його і заливці у форми, при кристалізації виливків, на ділянці вибивки виливків, в процесі обрубування і очищення литва, при підготовці і транспортуванні початкових сипких матеріалів. У повітряному

середовищі ливарних цехів, окрім пилу, у великих кількостях знаходяться оксиди вуглецю, вуглекислий і сірчистий гази, азот і його оксиди, водень, аерозолі, що містять особливо токсичні речовини, атмосфера ливарного цеху насичена оксидами заліза і марганцю, парами вуглеводнів та інші. Джерелами забруднень є плавильні агрегати, печі термічної обробки, сушила для форм, стрижнів і ковшів, безпосередньо ливарні форми і стрижні в процесі їх виготовлення і застосування та інші.

Одним з критеріїв небезпеки є оцінка рівня запахів. На атмосферне повітря доводиться більше 70 % всіх шкідливих викидів ливарного виробництва, при цьому особливо впливають саме елементи технології, що використовують ливарні матеріали, що пов'язують, .

При виробництві однієї тонни литва зі сталі і чавуну виділяється близько 50 кг пилу, 250 кг оксидів вуглецю, 1,5−2 кг оксидів сірки і азоту і до 1,5 кг інших шкідливих речовин (фенолу, формальдегіду, ароматичних вуглеводнів, аміаку, ціанідів). У водний басейн надходить до 3 куб. м стічних вод і вивозиться у відвали до 6 т відпрацьованих формувальних сумішей.

Застосування при виготовленні стрижнів і форм органічних матеріалів**,** що пов'язують, призводить до значного виділення токсичних газів в процесі сушки і, особливо, при заливці металу. Залежно від виду матеріалу**,** що пов'язує, в атмосферу цеху можуть виділятися такі шкідливі речовини як аміак, ацетон, акролеїн, фенол, формальдегід, фурфурол, бензапірен та інші.

При виготовленні форм і стрижнів з тепловою сушкою і в оснащенні, що нагрівається, забруднення повітряного середовища токсичними компонентами можливо на всіх стадіях технологічного процесу: виготовленні сумішей, при сушці стрижнів і форм, при охолоджуванні їх після витягання з оснащення. Звертає на себе увагу якість викидів, що утворюються, це речовини другого і першого класів небезпеки.

Очевидно, що все це в умовах ливарного виробництва формує несприятливий кумулятивний ефект комплексної дії, при якій шкідливий вплив

кожного окремого компонента (пилу, газів, температури, вібрації, шуму) різко збільшується.

Встановлено, що на основі створених ливарних в'яжучих матеріалів розроблено склади стрижневих сумішей, що дозволяють знизити об'єм токсичних газових викидів порівняно з сумішами на основі відомих і широко вживаних в'яжучих матеріалів типу КО і УСК в 2,7−14 разів, що дозволило звести вміст шкідливих речовин у газових викидах до рівня граничнодопустимої концентрації. .

Це стало можливим за рахунок використання у складі суміші екологічно чистих матеріалів**,** що пов'язують, на основі лігносульфоната технічного (згідно з ТУ 13-0281036-029-04) (ЛСТ) з підвищеними показниками міцності.

1.4 Прогресивних технологій ливарного виробництва складних деталей

Відомо, що спеціальні способи лиття дозволяють частково, а іноді й повністю відмовитись від використання формувальних та стрижневих сумішей, провести комплексну механізацію та автоматизацію усього ливарного процесу.

Тільки методами лиття можна отримати складні за конфігурацією і геометрією заготовки з чорних і кольорових сплавів з високим (75-95 %) коефіцієнтом використання металу. Як правило, литі деталі несуть високі навантаження в машинах, механізмах і багато в чому визначають їх експлуатаційну надійність, точність і довговічність.

Насамперед у ливарному виробництві прогресивними притаманні такі технологічні процеси:

− лиття в оболонкові форми (рис. 1.5);

− лиття по виплавлюваних моделям в умовах вакууму, що запобігає окисленню металу (рис. 1.6);

− процеси одержання монокристалічних робочих деталей з жароміцних сплавів методом вакуумного всмоктування;

− лиття за газифікованими моделями (рис. 1.7);

− спрейне лиття (рис. 1.8);

− безмодельне лиття (DMM) [17−19].

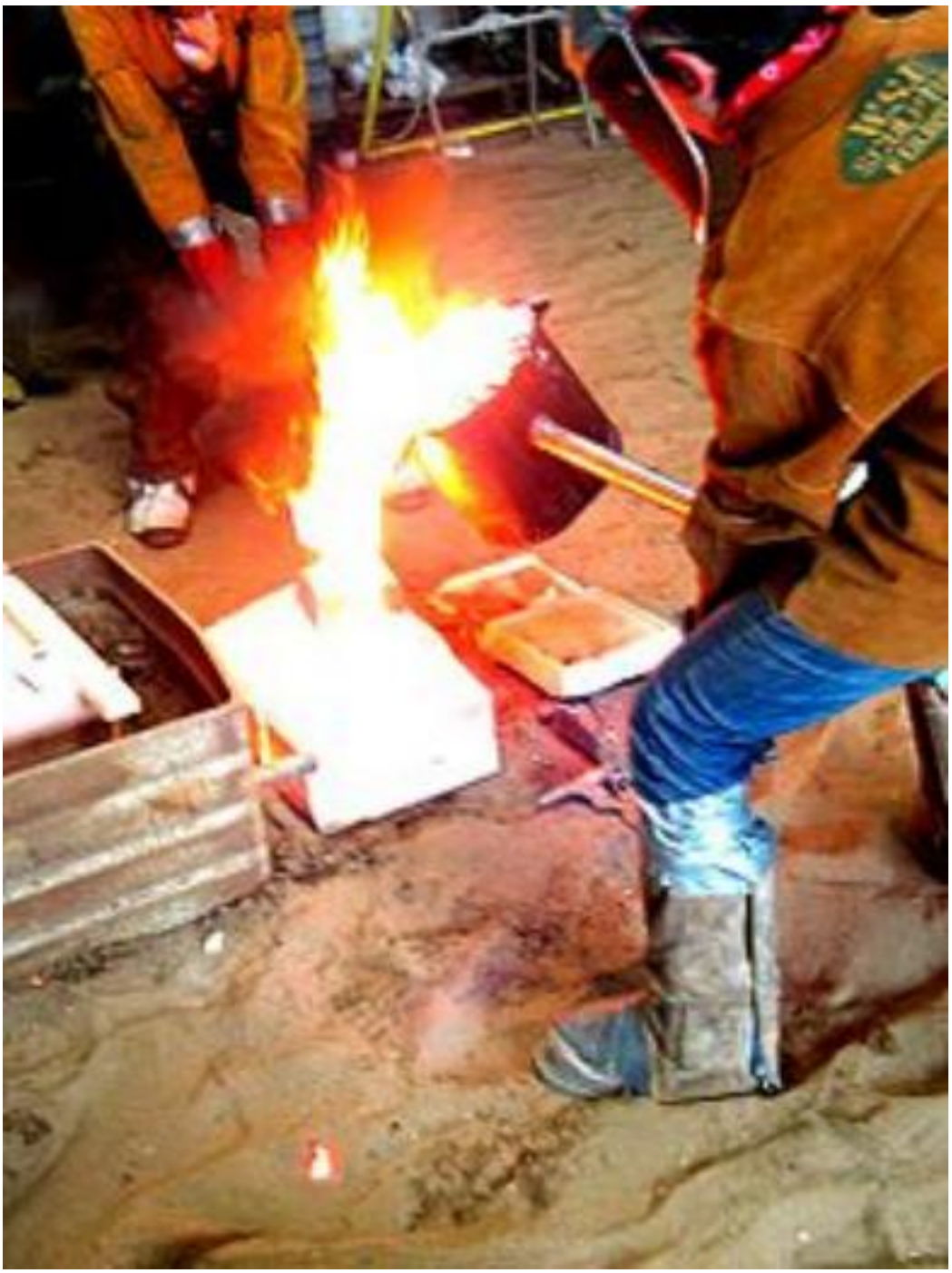






Рисунок 1.5 – Лиття в разові піщані форми [17]



Рисунок 1.6 – Лиття по виплавлюваних моделям [18]



Рисунок 1.7 – Лиття за газифікованими моделями

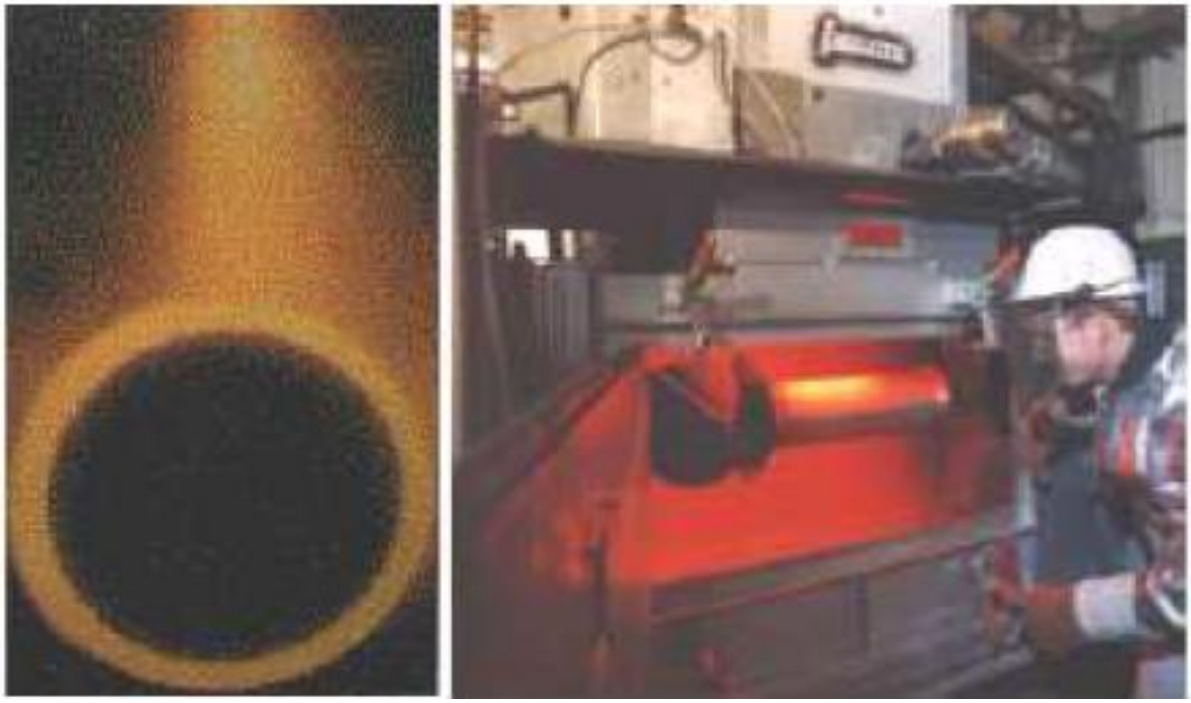


Рисунок 1.8 – Спрейне лиття трубчастої заготовки (а) і деталі складної форми (б)

1.5 Оцінка ливарного ринку України

Виробництво металевих виливків в Україні (згідно даних Держстату України) впродовж періоду 2017– 2021 р.р. коливалось в діапазоні від 46,4 до 80,4 тис. т. Після вторгнення у 2022р. Росії в Україну виробництво виливків в нашій країні скоротилось до 190 тис. т або на –57,8 % проти показника 2021 р. (рис. 1.9).

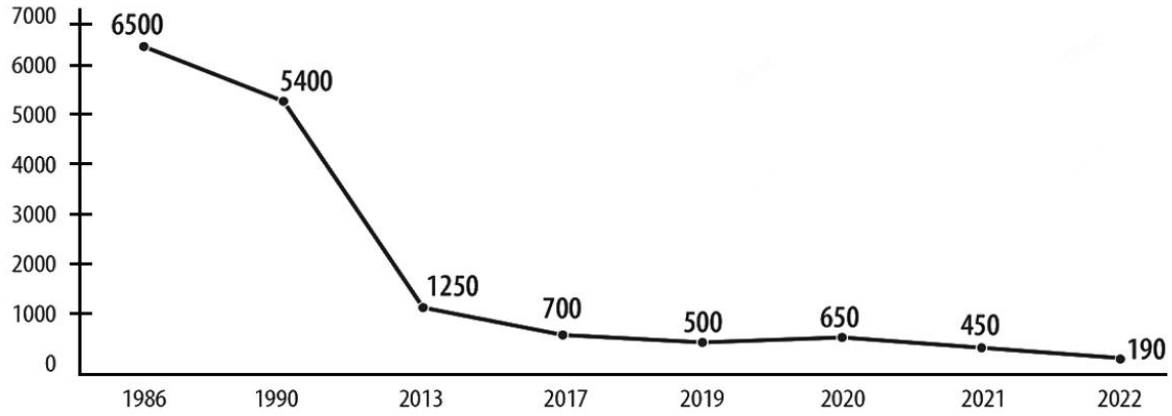


Рисунок 1.9 – Обсяги виробництва металевих виливків в Україні

Згідно даних [19] зазначається, що ливарна промисловість у 2024 р. продовжує стикатися з низкою викликів попереднього року: нестача кваліфікованої робочої сили, логістика, митні питання. При цьому очікується, що металургійним підприємствам все ж таки вдасться наростити об'єми виробництва у 2024 році, але темпи зростання будуть помірними і складуть лише 10– 15% у порівнянні з попереднім роком. Зростання буде стимулюватися завдяки попиту на ливарні вироби з боку таких галузей, як автомобільна, авіаційна, будівельна та виробництво для потреб ВПК.

Пошук резервів підвищення ефективності виробництва приводить до необхідності визначення ступеня розвитку і використання техніки, технології, організації виробництва й управління, соціальних і екологічних умов, тобто до оцінки та аналізу рівня розвитку виробництва [20].

2 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

2.1 CAD/CAM/CAE-технології та ливарне виробництво

Аналіз сьогоденних технологій ливарного виробництва та, в свою чергу, і факторів, що впливають на них, показав, що для інноваційного розвитку у галузі ливарного виробництва необхідне використання сучасних комп'ютерних технологій, нанотехнологій та технологій прототипування. Зокрема, використання адитивних технологій (або 3D–друку) в ливарному виробництві дозволяє «вирощувати» ливарні моделі та форми, які не можливо було виготовити традиційними способами (наприклад, механічним методом), а також значно скорочує терміни виготовлення модельної оснастки.

Використання в процесі вакуумного лиття форм і моделей, отриманих за допомогою 3D–друку, дає можливість зменшити час виготовлення пілотних, дослідних зразків, і в ряді випадків серійної продукції – в десятки разів.

В свою чергу сьогоденний перехід на цифровий опис виробів – CAD (Computer aided design) та адитивні технології призвели до кардинальних змін в ливарному виробництві.

Безпосередньо для «вирощування» деталі першим етапом є необхідність побудови його 3D-моделі. Для моделювання об'єкта використовують системи автоматизованого проєктування (САПР). Найчастіше для побудови 3D-моделі використовують програми, наприклад: Blender, SketchUp, AutoCAD, Maya, 3DS Max і Inventor. САПР зберігають модель у форматі, зрозумілому для принтера.

Слід зазначити, що є безліч різновидів 3D-друку: фотополімерування, екструзія матеріалу, струминне моделювання, нанесення зв'язувальної речовини, розтоплення порошків, розтоплення шару лазером або інфрачервоним випромінюванням.

Основною перевагою використання адитивних технологій перед іншими є короткий термін виготовлення виливків з моменту отримання креслення литої деталі. Виливок простої форми можна виготовити за 24 години і менше. Ці технології знаходять все більш широке використання в таких галузях промисловості, як авіація та машинобудування при виготовленні виливків з алюмінієвих та магнієвих сплавів.

Використання методів отримання ливарних синтез-форм та синтез-моделей за рахунок технологій пошарового синтезу дозволили радикально скоротити час створення нової продукції. Наприклад, для виготовлення першого дослідного зразка деталі, характерної для автомобілебудування – блоку циліндрів, – традиційними методами потрібно не менше 6 місяців, при цьому основні часові затрати йдуть на створення модельної оснастки для лиття.

Широкого розповсюдження набула технологія Quick-Cast (технологія лазерної стереолітографії (SLA)). Суть технології - «вирощування» ливарної моделі з фотополімеру на SLA-машині з наступним литтям по випалюваній моделі (рис. 2.1).

Використання технології Quick-Cast скоротило термін отримання першої виливки до 2 тижнів. Цю ж деталь можна отримати менш точною, але повністю придатною для використання за допомогою технології лиття в вирощувані піщані форми на машинах типу S-Max. Значна частина виливок, що не має спеціальних вимог до точності лиття чи структури, може бути отримана в вигляді готової продукції протягом 3–4 днів з врахуванням підготовчого часу: пряме вирощування воскової моделі (Quick-cast-моделі) (1 день); формування та сушіння форми (1 день); прокалювання форми та, власне, лиття (1 день).

На сьогодні розвиток тривимірних CAD/CAM/CAE-технологій (CAD – проєктування (computer-aided design), CAE – розроблення (computer-aided engineering) і CAM – виготовлення (computer-aided manufacturing)) призвів до суттєвої модернізації сучасного ливарного виробництва і, в першу чергу, дослідного виробництва. Ціль цієї модернізації – в створенні умов для

повноцінної реалізації принципу адитивних технологій протягом всього процесу створення нового виробу, від проєктування та розробки CAD-моделі, до кінцевого продукту, що є невід'ємною частиною проєктування та виготовлення виробів різноманітного призначення з широкою номенклатурою використовуваних матеріалів.



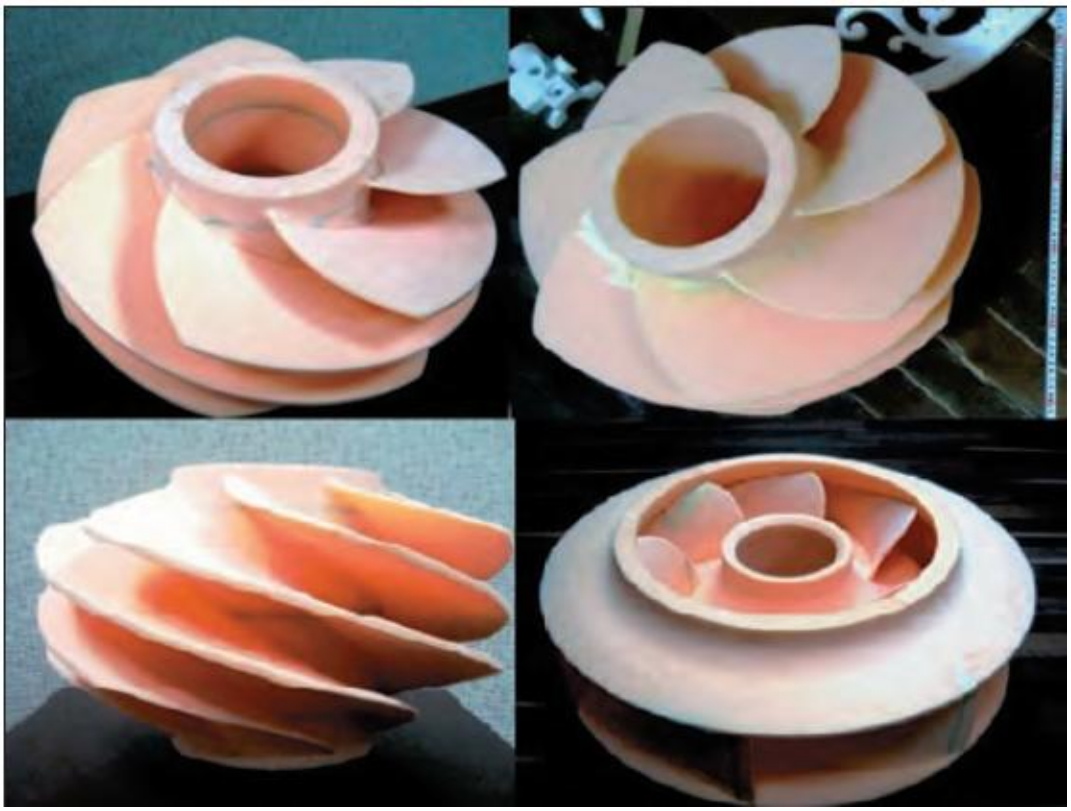
Рисунок 1.1 – «Вирощування» ливарної моделі з фотополімеру на SLA-машині з наступним литтям по випалюваній моделі

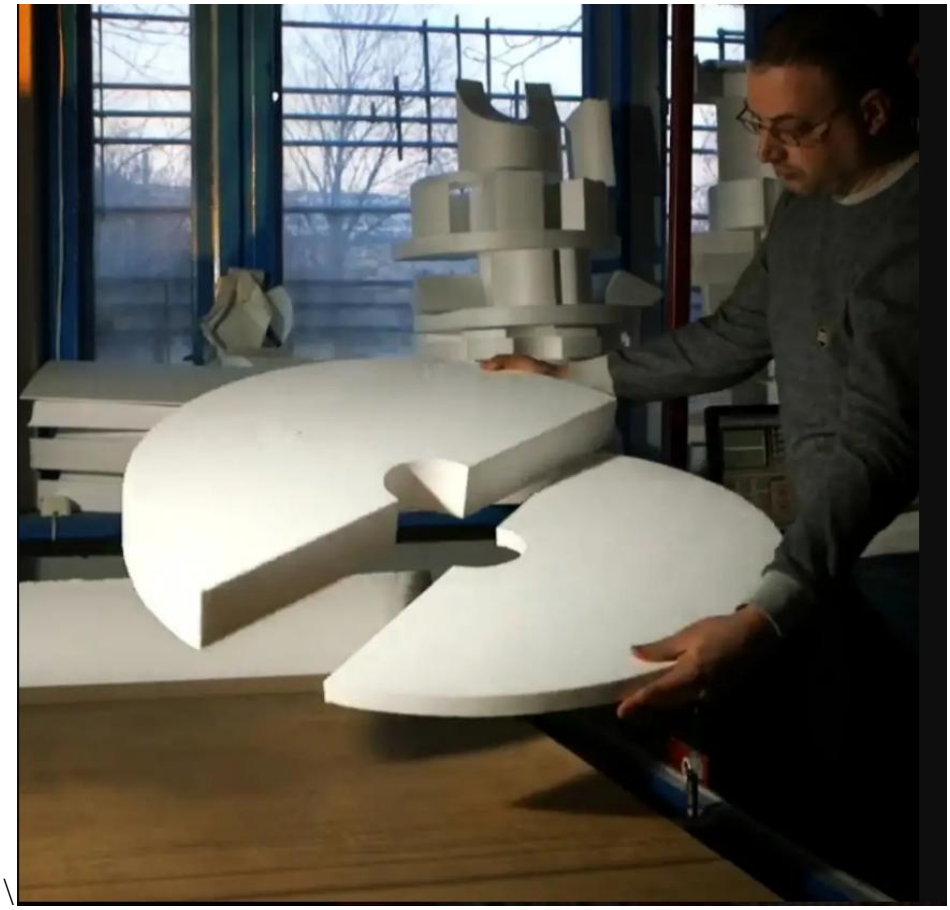
2.2 Лиття за газифікованими моделями та 3D–технології

В Україні в ливарній галузі 3D–технології, перш за все, використовуються для лиття за газифікованими моделями (ЛГМ (Lost Foam Casting)) (рис. 2.2) при виготовленні пінопластових моделей на 3D–фрезерах (рис. 2.3) за комп'ютерними програмами. Також для лиття запропоновано моделювання побудови найпростіших кристалічних ґраток із використанням

об’ємних збірних структур з повторюваними уніфікованими елементами, пінопластові моделі яких можна виготовити на пластавтоматах чи на 3D–фрезерах.







\





Рисунок 2.2 – Приклади лиття за газифікованими моделями

Великогабаритна модель для потреб художнього лиття зображена на рис. 2.4 (проєкт Herzog & de Meuron, колаж «Графіті», 2006). За допомогою 3D-технологій можливим стає отримання, наприклад, деталі cylinder head (рис. 2.5). Збірний. Приклад модельно-макетного виробу, вирощеного за допомогою 3D-друку зображено на рис. 2.6.

Приклади 3D– технологій для виробництва металевих виробів приведені на рис. 2.7.



Рисунок 2.3 – 3D–Фрезер Roland SRM-20

Отже, описані вище високотехнологічні 3D-процеси розширюють наявний спектр металовиробів і можливість їх виготовлення, як правило, в умовах, що суттєво кращі за екологічною чистотою і швидкістю виробництва, ніж традиційні умови ливарного цеху [21, 22].



a



б

а – модель воріт; б — секції алюмінієвих виливків колажу, зібраного вздовж великої будівлі Нью4Йорка

Рисунок 2.4 – Приклад художнього лиття

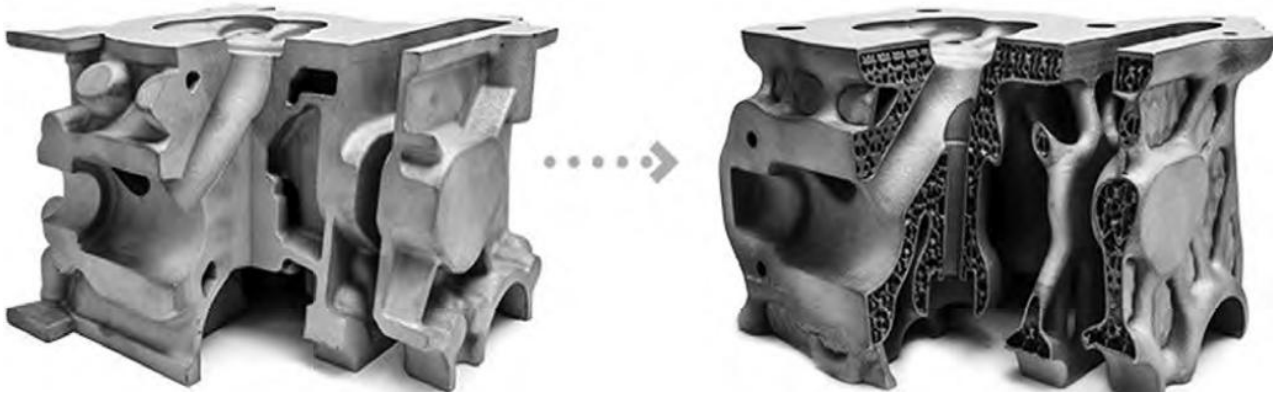


Рисунок 2.5 – Переведення литої деталі для автоспорту на адитивне виробництво

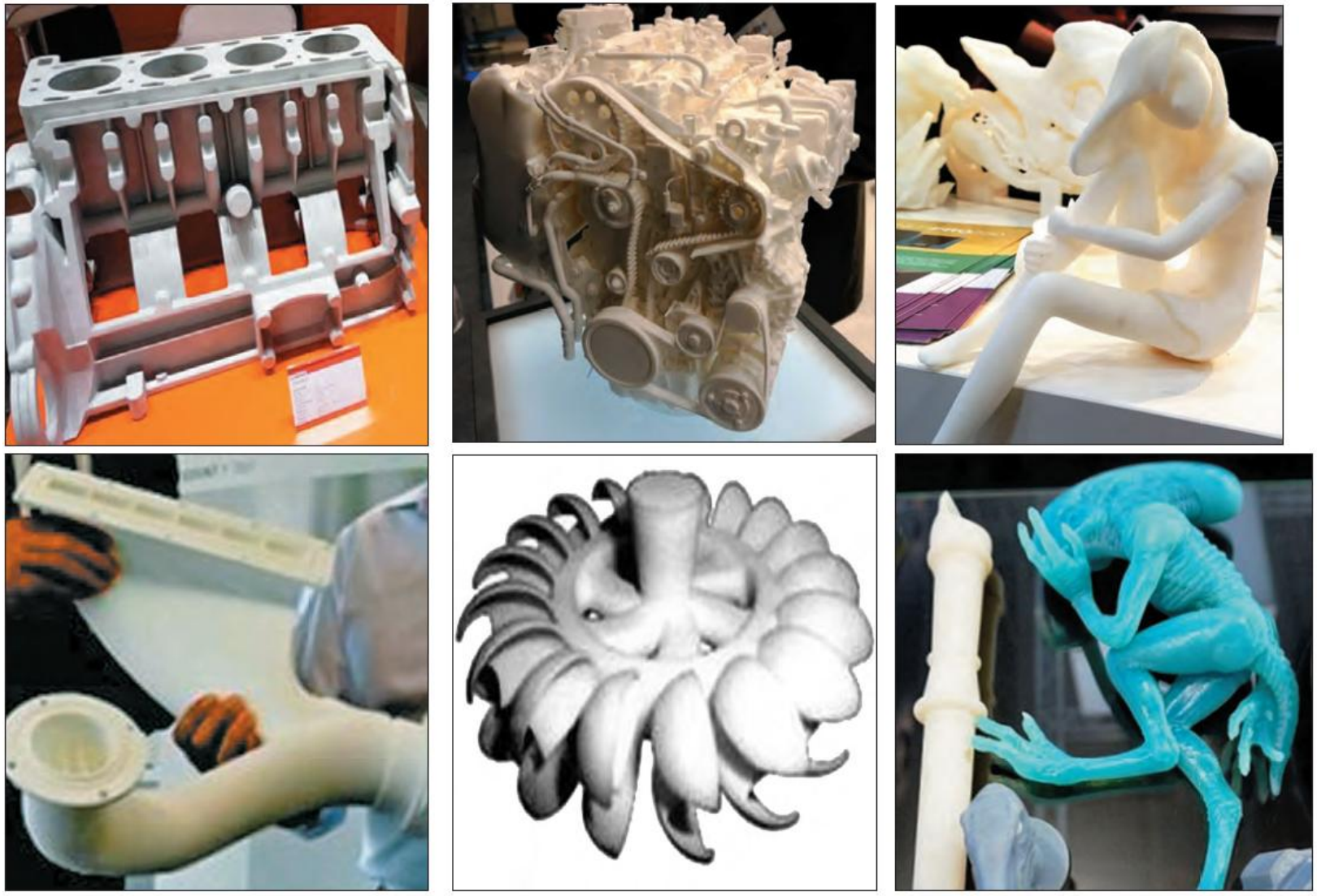


Рисунок 2.6 – Приклади модельно-макетних виробів за допомогою адитивного виробництва



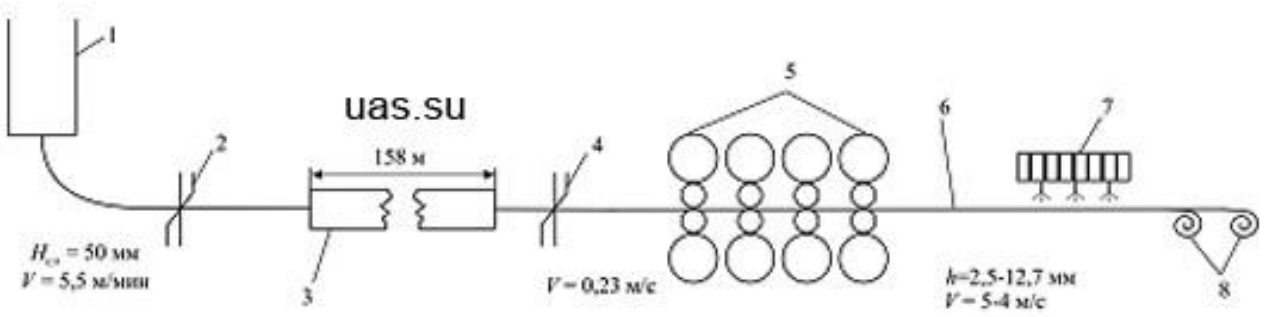
а – деталь бурового насоса для нафти і газу, що виготовлена з матеріалу BLDRmetal ™ J410;

б – лопатки турбіни; в – педалі; г – процес 3D– сканування поверхні виливки турбіни

Рисунок 2.7 – Приклади 3D– технологій для виробництва металевих виробів

3 ЛИВАРНО-ПРОКАТНІ МОДУЛІ: РІЗНОВИДИ, ПЕРСПЕКТИВИ

Ливарно-прокатний модуль (ЛПМ) (рис. 3.1) – це інтегрована система, яка поєднує процеси безперервного розливання розплавленого металу та гарячої прокатки виробленої литої заготовки в єдиному технологічному циклі. У цій системі рідкий метал безперервно заливається в проміжну ізотермічну ємність, охолоджується до напівтвердого стану та відразу надходить на прокатний стан, деформовується в кінцевий гарячекатаний продукт.



1 – МБЛЗ; 2 – ножиці; 3 – прохідна роликова піч; 4 – ножиці аварійного різу; 5 – безперервна група клітей; 6 – відвідний рольганг; 7 – встановлення прискореного охолодження металу; 8 – моталки

Рисунок 3.1 – Схема розташування обладнання ЛПМ фірми SMS на заводі фірми «Ньюкор»

Об'єднання процесів лиття та прокатки в одному агрегаті забезпечує низку істотних переваг порівняно з традиційними роздільними технологіями:

– Економія виробничих площ та капітальних витрат через компактність обладнання.

– Підвищення продуктивності праці та зменшення трудовитрат.

– Скорочення енергетичних витрат на підігрів заготовок.

– Можливість отримання металопродукції більш високої якості.

– Мінімізація втрат металу через усунення проміжних переділів.

Технологічна система ливарно-прокатних модулів або ливарно-прокатних агрегатів (ЛПА) може бути представлена наступним чином:

– виплавка сталі в сталеплавильному агрегаті (наприклад, дуговій сталеплавильній печі або конвертері);

– доведення сталі на установці «ківш-піч»;

– розливка сталі на сляб (товщина сляба 50–70 мм);

– гаряча прокатка в технологічному ланцюжку ЛПМ;

– прокатка на станах холодної прокатки.

На сьогодні лідером в створенні ливарно-прокатних модулів (за обсягом розробок і кількістю реалізованих агрегатів) є фірма «SMS-Demag» (Німеччина). Власну концепцію ЛПМ розробила фірма «Mannesmann Demag» і дала їй назву ISP (Inline Strip Production).

Одним з останніх зданих в експлуатацію ливарно-прокатних модулів для виробництва круглих і квадратних профілів є ЛПМ, розроблений фірмою «Danieli» (Італія) і побудований на заводі «Luna» фірми «Acciaierie Bertoli Safau» («ABS») в Удіне (Італія). ЛПМ виробляє: круглі профілі діаметром 2–100 мм і квадратні зі стороною 40–100 мм – в прутках; круглі профілі діаметром 15–50 мм – в бунтах. Річна продуктивність становить 500 тис. т.

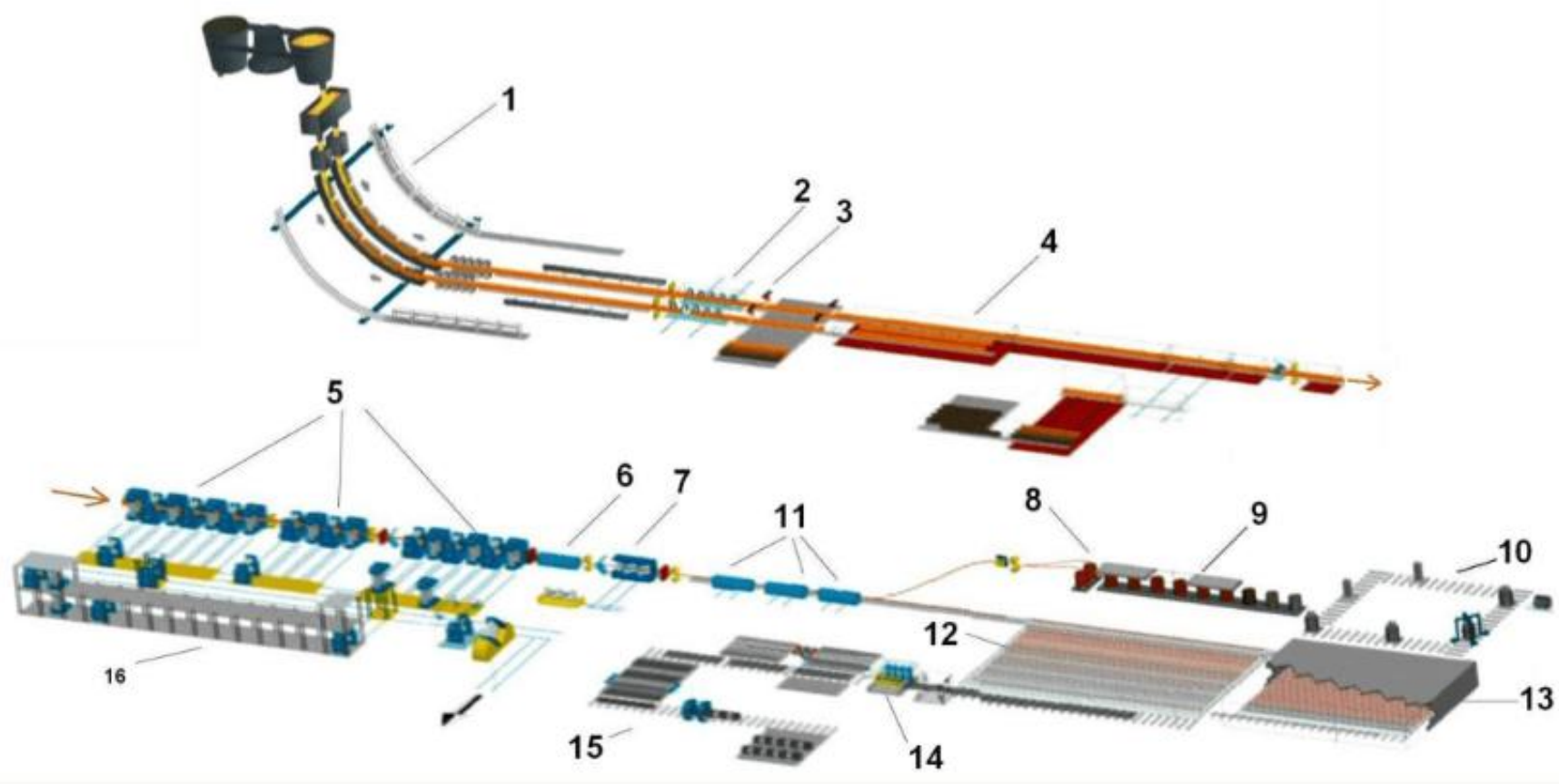
Схема розташування обладнання ливарно-прокатних модулів показана на рис. 3.2. У ливарно-прокатному модулі використовується двухструменева МБЛЗ. Перетин заготовок, що відливаються, становить 200х160 мм.

Також існує велика кількість конструкцій листових ливарно-прокатних модулів, які отримали суттєво більшого поширення ніж сортові ЛПМ. Вони відрізняються як за складом обладнання, так і по товщині сляба.

Фірма «Schloemann Siemag» розробила технологію CSP (Compact Strip Production» компактне виробництво смуги), яка вже успішно впроваджена на близько тридцяти ЛПМ по всьому світу.

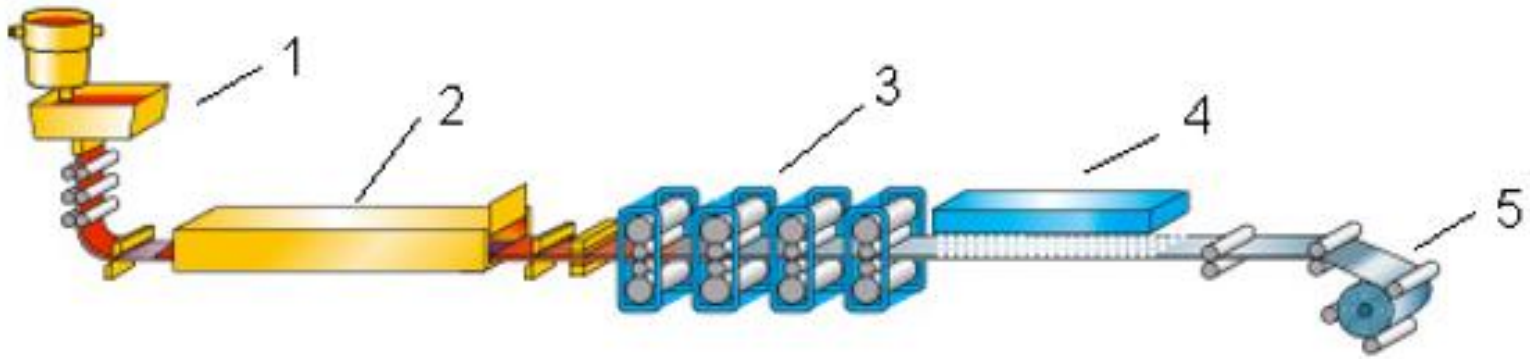
Одно-та двохструменевий агрегат CSP приведений на рис. 3.3 та 3.4.

Ще одним варіантом ЛПМ є агрегат ISP (In-line Strip Production). В



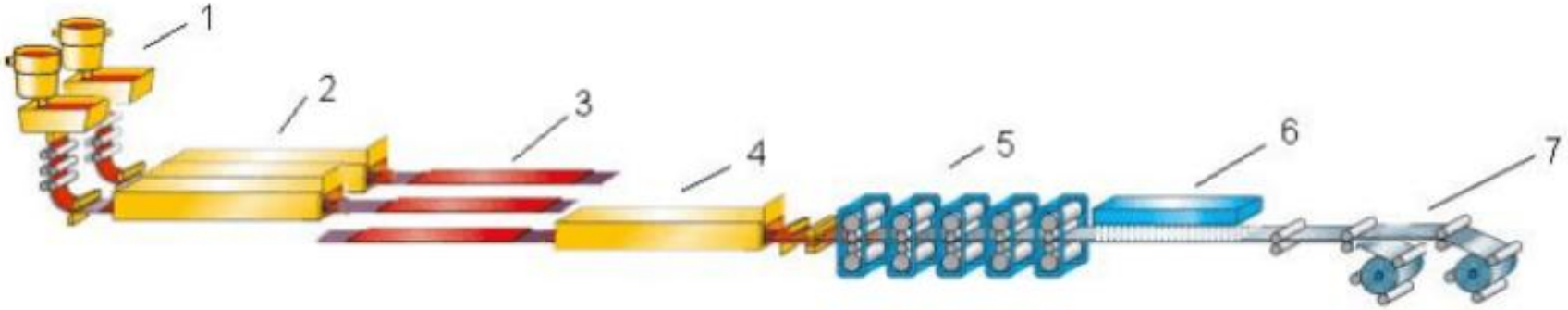
1 – МБЛЗ; 2 – гартівні камери; 3 – ножиці; 4 – тунельна піч; 5 – чорнова, проміжна та чистова групи клітей прокатного стану; 6 – лінія охолодження; 7 – редукційно-калібрувальний блок; 8 – моталки; 9 – піч відпалу бунтів; 10 – ділянка обробки бунтів; 11 – ділянка остаточного охолодження; 12 – холодильник; 13 – піч відпалу; 14 – установка механічного видалення окалини; 15 – ділянка обробки прутків, 16 – ділянку зміни і обслуговування клітей

Рисунок 3.2 – Схема розташування обладнання ливарно-прокатних модулів фірми «ABS» в Удіне



1 – машина безперервного лиття заготовок; 2 – прохідна піч; 3 – прокатний стан; 4 – ділянка охолодження; 5 – моталка

Рисунок 3.3 – Одноструменевий агрегат CSP прямої прокатки смуги



1 – двохструменева МБЛЗ; 2 – прохідна піч; 3 – пристрій поперечного транспортування; 4 – піч витримки; 5 – прокатний стан; 6 – ділянка охолодження; 7 – моталки

Рисунок 3.4 – Двохструменевий агрегат CSP з пристроєм поперечного транспортування

цілому компоновка його обладнання схожа на агрегат CSP, але має кілька особливостей, які дозволять виробляти більш тонку смугу.

Сьогодні ливарно-прокатні модулі широко використовуються в чорній та кольоровій металургії для виробництва сталевих та алюмінієвих штаб, стрічок, фольги та інших плоских напівфабрикатів. Вони є складовою сучасних високоефективних мініміліцехів, призначених для масового випуску гарячекатаних металевих продуктів.

Загальна схема роботи ливарно-прокатного модуля передбачає безперервну розливку розплавленого металу та безпосередню гарячу прокатку виробленої литої заготовки в єдиному технологічному циклі. Модуль складається з двох основних секцій: ділянки безперервного лиття та ділянки гарячої прокатки.

Ділянка безперервного лиття складається з:

– Проміжної ізотермічної ємності для безперервного приймання розплаву з розливального ковша.

– Охолоджуючої системи для формування твердої кірки на поверхні литої заготовки.

– Витягувального механізму для рівномірного просування литої заготовки

Ділянка гарячої прокатки складається з:

– Потужного нагрівального пристрою для підігріву литої заготовки до оптимальної температури прокатування.

– Прокатний стан (реверсивний чи безперервний) для гарячої деформації та остаточного формування заготовки у плоский напівфабрикат

– Петлеутворюючого пристрою для компенсації різниці швидкостей лиття та прокатки.

– Моталки або іншого пристрою для намотування та/або різання гарячекатаної продукції

Основні вузли та механізми:

1. Проміжна ізотермічна ємність - утримує розплав при постійній температурі для рівномірної подачі на розливання.

2. Кристалізатор - формує твердий корковий шар на поверхні литої заготовки.

3. Витягувальний механізм - забезпечує рівномірне просування заготовки з кристалізатора.

4. Петлеобразувальний механізм - компенсує різницю швидкостей між литтям та прокатуванням.

5. Нагрівальний пристрій - розігріває литу заготовку до температури прокатування.

6. Прокатний стан - деформує заготовку в гарячекатаний плоский напівфабрикат.

7. Моталка або різальний механізм - збирає готову продукцію.

Усі ці вузли узгоджено функціонують в єдиному циклі, забезпечуючи безперервний процес від заливання металу до виходу готової гарячекатаної продукції.

Особливості технології:

1. Контроль температурного режиму.

Підтримка оптимального температурного режиму на всіх етапах процесу є критично важливим для забезпечення якості кінцевої продукції. Температура металу в проміжній ізотермічній ємності контролюється та підтримується в заданому діапазоні за допомогою системи нагріву/охолодження. Під час лиття швидкість охолодження заготовки регулюється для формування необхідної товщини твердої кірки. Перед прокатуванням заготовка нагрівається до оптимальної температури деформації.

2. Охолодження литої заготовки перед прокатуванням.

Після виходу з кристалізатора лита заготовка піддається контрольованому охолодженню за допомогою систем вторинного охолодження (водяні форсунки, вентилятори). Це дозволяє сформувати необхідну товщину

твердої кірки та внутрішню структуру заготовки, оптимальні для подальшої гарячої деформації на прокатному стані. Інтенсивність охолодження регулюється відповідно до хімічного складу сталі, геометрії заготовки тощо.

3. Прокатні стани.

У ливарно-прокатних модулях можуть використовуватися різні типи прокатних станів:

– Реверсивні стани гарячої прокатки - класичні стани, на яких прокатка здійснюється за рахунок почергового зворотно-поступального руху валків. Забезпечують високу якість прокату.

– Неперервні стани гарячої прокатки - валки обертаються лише в одному напрямку, забезпечуючи неперервний гарячий прокат заготовки.

– Стани холодної прокатки » можуть бути включені в модуль для додаткової холодної деформації підкату.

Вибір типу прокатного стану залежить від виду продукції, продуктивності, необхідної товщини готового напівфабрикату.

Між ділянкою безперервного лиття та прокатним станом наявна проміжна ізотермічна зона, де відбувається підігрів заготовки до температури прокатки. Щоб компенсувати різницю швидкостей лиття та прокатки, в конструкції передбачений петлеобразувальний механізм. Він забезпечує безперервну подачу заготовки до прокатних валків без утворення тягнучих зусиль. Конструкція вузла підтримки та передачі заготовки має бути ретельно розраховане на температурні деформації та рівномірне переміщення вздовж усього шляху заготовки.

Переваги ливарно-прокатних модулів:

– Економія виробничих площ та енергоресурсів

Завдяки компактності та інтеграції процесів лиття та прокатки в єдиному агрегаті ЛПМ займають менше виробничих площ порівняно з роздільними потоками. Це зменшує капітальні витрати на будівництво. Крім того,

відсутність необхідності транспортування та проміжного нагріву заготовок між переділами забезпечує значну економію енергоресурсів.

– Можливість виробництва високоякісної металопродукції

Безперервність процесу від розливання до гарячої деформації створює сприятливі умови для отримання металу високої якості. Відсутність проміжних нагрівів знижує окалиноутворення. Контрольоване охолодження литої заготовки забезпечує бажану внутрішню структуру для гарячої деформації. Це дозволяє досягти кращих механічних властивостей кінцевої продукції.

Недоліки ливарно-прокатних модулів:

– Технологічні складнощі процесу

Узгодження швидкостей та режимів різних технологічних ділянок в єдиному модулі є нетривіальною задачею. Потрібен ретельний контроль температурних режимів, компенсація деформацій, точне позиціонування заготовки. Будь-які відхилення можуть призвести до браку продукції.

– Висока вартість обладнання та капітальних витрат

Ливарно-прокатні модулі є досить складними високотехнологічними агрегатами. Їх проектування та виготовлення вимагає залучення провідних світових постачальників металургійного обладнання. Відповідно, початкові капітальні витрати на ЛПМ є дуже високими, що може бути бар'єром для невеликих підприємств.

Незважаючи на певні недоліки, ливарно-прокатні модулі є сучасним та перспективним рішенням у металургійній галузі, здатним підвищити ефективність виробництва та отримувати якісні плоскі напівфабрикати з мінімальними втратами металу та енергоресурсів.

Галузі промисловості, де використовуються ливарно-прокатні модулі:

– Чорна металургія – виробництво гарячекатаних сталевих штаб, стрічок, листів.

– Кольорова металургія – випуск алюмінієвих та мідних штаб, фольги, стрічок.

– Виробництво нержавіючих та спеціальних сталей і сплавів.

ЛПМ активно використовуються при будівництві мінізаводів та компактних міні-міліцехів для випуску металевої продукції в межах локального виробництва.

Тенденції розробок нових технологій та вдосконалення існуючих. Постійно відбувається вдосконалення конструкцій ЛПМ відповідно до вимог замовників:

– Оптимізація геометрії проміжної ізотермічної ємності та систем подачі металу.

– Розробка більш ефективних систем індукційного нагріву заготовок.

– Впровадження нових матеріалів для футерівки кристалізаторів та вогнетривів.

– Використання новітніх високопродуктивних типів прокатних станів.

– Автоматизація та роботизація окремих вузлів і механізмів.

– Підвищення рівня діагностики та моніторингу параметрів процесу.

Також розробляються оригінальні концепції типу сполучених ливарно-прокатних модулів і тандемних модулів із послідовним з'єднанням декількох ліній [23, 24].

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИВАРНИХ МОДЕЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ ДЕРЕВООБРОБНОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ЕНЕРГО-ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

4.1 Матеріали та методика дослідження

Нині «Класичною» сировиною для виготовлення дерев'яної моделі залишається сосна (згідно з ДСТУ EN 1927-2:2019). При виготовленні ливарної моделі з відходів деревообробного виробництва – тирси (згідно з ДСТУ 2034-92) як матеріал, що пов'язує, використовували смолу марки БС-40 (згідно з ТУ 2223-016-58948815-2004), рідке скло ($Na_2O(SiO_2)n$) (згідно з ГОСТ 13078-2021) та гіпс марки Г-10 (згідно з ДСТУ Б В.2.7-82:2010) (табл. 4.1). У якості каталізатора для смоли обрали ортофосфорну кислоту (H_3PO_4)), для рідкого скла – ферохромовий шлак (48–54 % CaO; 20–30 % SiO_2; 4–8 % Al_2O_3; 7–12 % MgO; 2–12 % Cr_2O_3; 0,1–2 % FeO) та для гіпсу – комплексний модифікатор гіпсу КМГ-25 (згідно з ТУ У В-2.7-19266746.001-96).

Виготовлення комплекту модельного виконували згідно з ГОСТ 13354-91 та згідно з ГОСТ 3212-92. Для зниження адгезії поверхню моделей просочували (модифікували) гідрофобною рідиною на основі трансформаторного масла з додаванням парафіну, розчиненого в ефірі. Це сприяє позбавленню прилипання формувальної піщано-глинистої суміші до модельного комплекту.

Для підготовки модельних сумішей використовували змішувач чашковий катковий LM-2e. Зерновий склад тирси визначався за допомогою гранулометричного аналізу згідно загальноприйнятої методики. Навіска 50 ± 0,01 г піддавалася розсіюванню на ротапі АС-200У. Вологість тирси перевіряли за стандартною методикою. Для сушки використовували муфельну лабораторну шафу типу СНОЛ-7,2/1300. Висушування навіски деревини (близько 1 г) у скляному бюксі проводили до постійної маси за температури

100–105 °С.

Таблиця 4.1 – Склад модельної суміші та характеристики міцності дослідних зразків

№ зразка	Склад модельної суміші	Співвідношення компонентів модельної суміші	Міцність на стискання, кгс/см^2	Межа міцності на стискання, кгс/см^2
Вихідний	сосна		49,8	0,0253
Режим №1				
1	рідке скло:тирса	2,0:1,0	11,0	0,0056
2	рідке скло:тирса	1,75:1	6,5	0,0033
3	рідке скло:тирса	1,5:1	4,5	0,0021
Режим №2				
4	рідке скло:тирса:гіпс	2:1:0,25	4,3	0,0022
5	рідке скло:тирса:гіпс	1,75:1:0,2	4,0	0,0020
6	рідке скло:тирса:гіпс	1,5:1:0,2	3,7	0,0017
Режим №3				
7	смола:тирса	1,5:1	32,4	0,0174
8	смола:тирса	1,25:1	30,1	0,0153
9	смола:тирса	0,65:1	20,0	0,0102

Питому поверхню деревини досліджували методом сорбції. Враховуючи, що обсяг зразків у ході сорбції не змінювався, розраховували значення питомої поверхні деревини згідно з формулою:

$$S_{пит} = \frac{\Delta m \ 10^{-3}}{m_0 g M_r} N_A S,$$

де Δm – різниця між масою зразка в час сорбційної рівноваги та вихідною

масою зразка, г; m_0 – вихідна маса зразка, г; g – щільність сорбату, води, г/см^3; M_r – молярна маса адсорбату, г/моль; N_A – число Авогадро, моль$^{-1}$; S – площа поперечного перерізу молекули адсорбату, м^2.

Крайовий кут змочування (Θ) знаходився за допомогою пристрою, що дозволяє проєктувати зображення краплі на підкладці на екран у вигляді аркуша міліметрового паперу. Для обчислення крайового кута замірялася висота краплі r та її основа h . Тангенс крайового кута, коли крапля змочує поверхню субстрату, визначається згідно з формулою:

$$tg\Theta = \frac{2rh}{r^2 - h^2}$$

Значення крайового кута Θ або $\cos\Theta$ обчислювалися з допомогою таблиці тригонометричних величин.

Водопоглинення деревини (W) досліджували згідно з ГОСТ 16483.20-72. Зразки для визначення водопоглинання мали розміри 30х30х10 мм (останній розмір – по довжині волокон). Зразки зважували перший раз через 2 години після початку витримування у воді, а потім кожні дві доби на протязі 30 днів. З отриманих даних будували діаграму водопоглинання та визначали максимальну вологість деревини.

При дослідженні фізико-механічних властивостей ливарних моделей були виготовлені зразки у вигляді циліндра діаметром 50 мм та висотою 40 мм. Для виготовлення брикету на гідравлічному брикет-пресі типу TH-514Weima застосовувалася проста прес-форма з одностороннім пресуванням. Фізико-механічні випробування деревини проводилися згідно з ДСТУ ISO 3129:2015. Усі моделі піддавалися перевірці на вміст формальдегіду згідно з ДСанПіН 8.2.1-181-2012, в якому встановлено рівень виділення формальдегіду для деревини в межах 0,01 мг/м³.

4.2 Схема технологічного циклу виготовлення ливарних моделей з відходів деревообробного виробництва

Враховуючи теоретичний та практичний досвід ливарного виробництва, у роботі запропонована схема технологічного циклу виготовлення ливарних моделей з відходів деревообробного виробництва (рис. 4.1), яка починається від підготовки сировини та закінчується отриманням готової моделі. Ретельна робота і початковий контроль всіх вихідних матеріалів (рис. 4.2) є обов'язковими для ливарних форм, що забезпечують подальше отримання високоточних та якісних виливків.

4.3 Оцінка гранулометричного складу та фізико-механічних властивостей ливарних моделей з відходів деревообробного виробництва

Як майстер-модель використовується вже існуюче модельне оснащення. По майстер-моделі виготовляється промислова модель (форма), яка заповнюється методом ущільнення з навантаженням 2 МПа модельною сумішшю. Після запресування суміші в порожнину форми суміш обробляють каталізатором, щоб прискорити процес затвердівання смоли.

З метою збільшення характеристик міцності моделі можна використовувати металевий каркас з стального неіржавіючого дроту. Каркас встановлюється в порожнину форми, а потім запресовується сумішшю з тирси. Запресування суміші в порожнину форми виконується вібротрамбуванням або ручним трамбуванням. Після повної кристалізації суміші в порожнині форми модель виймають з форми. Для подальшого використання моделі її необхідно облицювати шпаклівкою і зачистити наждачним папером різної зернистості (згідно з ISO 6344-2:2021). Після цього перевіряються усі розміри і якщо розміри відповідають заданим, то модель можна використовувати за призначенням. Були проведені дослідження процесу адгезії глинястої суспензії

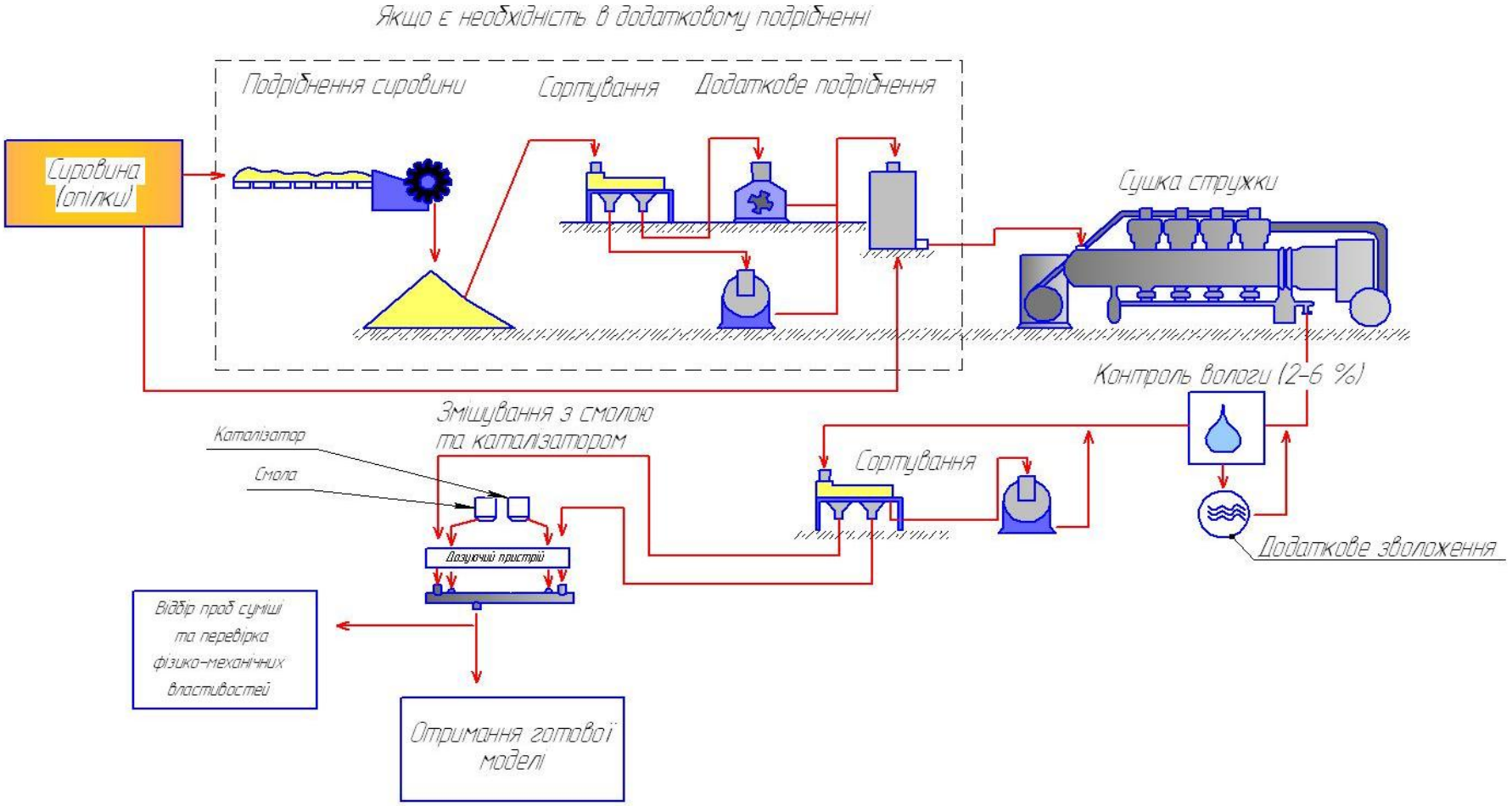


Рисунок 4.1 – Принципова схема технологічного циклу виготовлення ливарних моделей з відходів деревообробного виробництва

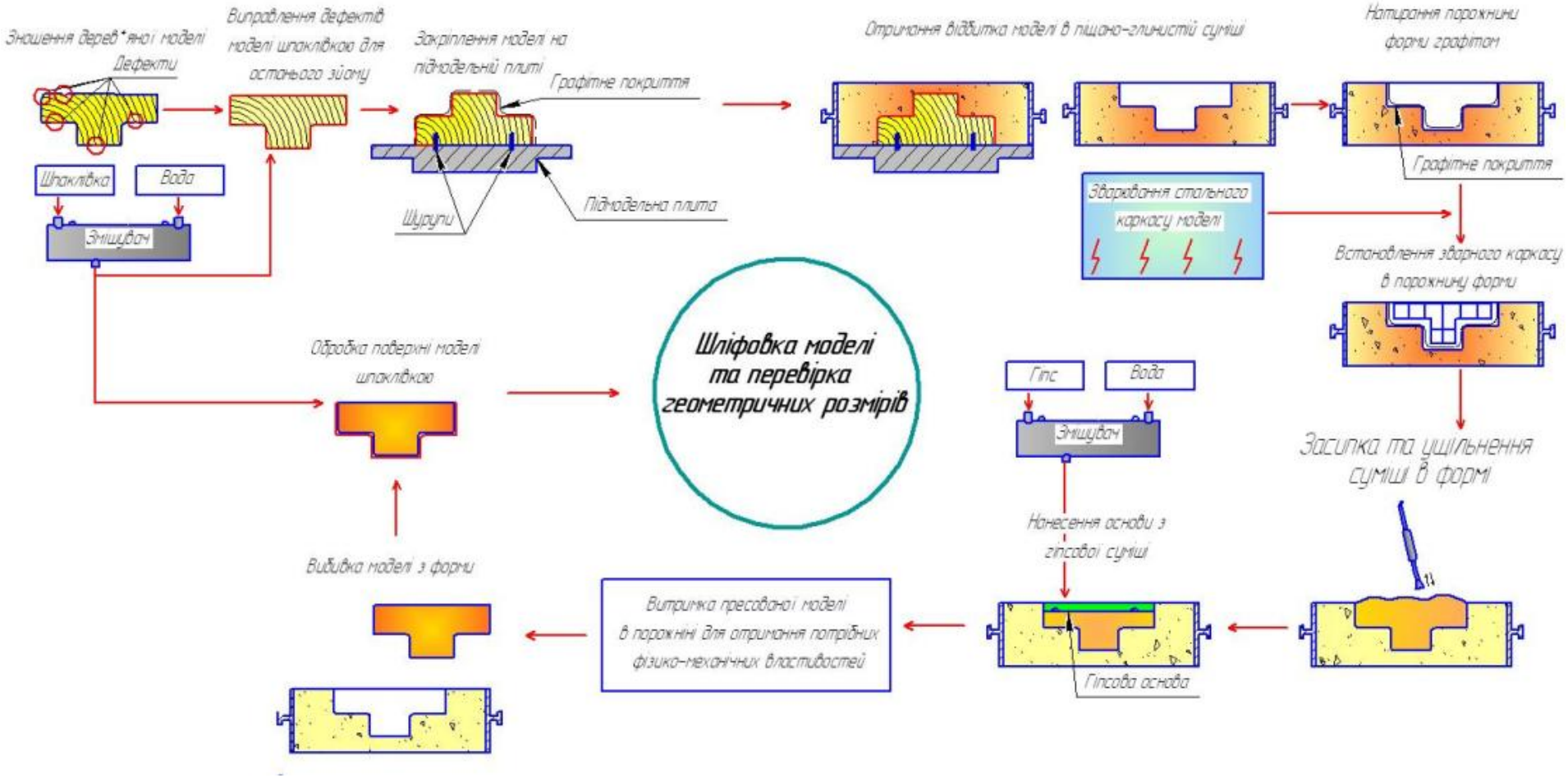


Рисунок 4.2 – Принципова схема отримання готової моделі для ливарного виробництва

до модельного комплекту, просоченого (модифікованого) покриттям на основі гідрофобної рідини. Покриття знижує крайовий кут змочування до краплі глинистої суспензії, яка присутня в формувальній суміші, що дозволить зменшити прилипаність формувальної суміші до модельного комплекту та поліпшить якість ливарної форми.

При приведенні досліджень водопоглинення слід відзначити, що краплі води, нанесені на поверхню немодифікованої деревини, зберігали свої контури протягом тривалого періоду, хоча крайовий кут змочування у разі був менше 90°. Краплі води, нанесені на поверхню модифікованих зразків не розтікалися тривалий час, що свідчить про зменшення полярності поверхні підкладки. Тобто встановлено, що водопоглинення зразків з відходів деревообробного виробництва менше, ніж вихідного зразка з сосни, для якого величина водопоглинання на протязі 30 діб збільшувалася до значень 135 %.

Порівняння крайового кута змочування немодифікованої деревини та модифікованої деревини показало на його зменшення зі значень $\cos\Theta = 0{,}9344$ (для вихідного зразка з сосни) до значень $\cos\Theta = 0{,}9256$ (для модельної суміші смола та тирса у співвідношенні 1,5:1).

Додатково досліджувався вплив виду та кількості матеріалу, що пов’язує, на фізико-механічні властивості ливарних моделей. Так аналіз технологічного процесу випробувань міцності на стискання зразків №1–№9 (рис. 3) показав, що руйнування зразків відбувається не однаково, що зумовлено насамперед співвідношенням кількості тирси до кількості матеріалу, що пов’язує. Зі збільшення кількості рідкого скла в суміші – збільшується міцність зразка, а також здатність до меншого тріщиноутворення (рис. 4.4).

При використанні смоли як матеріалу, що пов’язує, (зразки №7–№9) міцність на стискання та межа міцності на стискання зростають і становить до 32,4 кгс/см^2 та 0,0174 кгс/см^2 відповідно (табл. 4.1, рис. 4.5). Це обумовлено тим, що в результаті використання смоли, утворюється більш міцний каркас моделі, що майже не поступається за міцністю сосні.

Дослідним шляхом встановлено, що максимальна кількість матеріалу, що пов’язую, досягає 48,3 % для модельної суміші смола та тирса у співвідношенні 1,5:1 (рис. 4.5, зразок №7), а мінімальна – 10,9 % для модельної суміші рідке скло, тирса та гіпс у співвідношенні 1,5:1:0,2 (рис. 4.5, зразок №6).



Рисунок 4.3 – Технологічний процес випробувань міцності на стискання зразків з відходів деревообробного виробництва

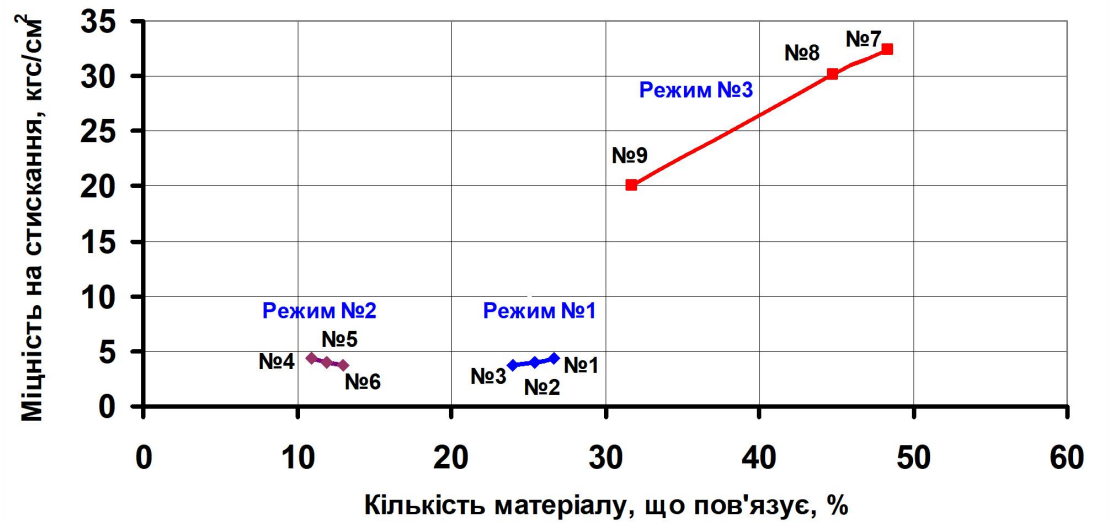


зразок №6 зразок №3 зразок №7 вихідний зразок

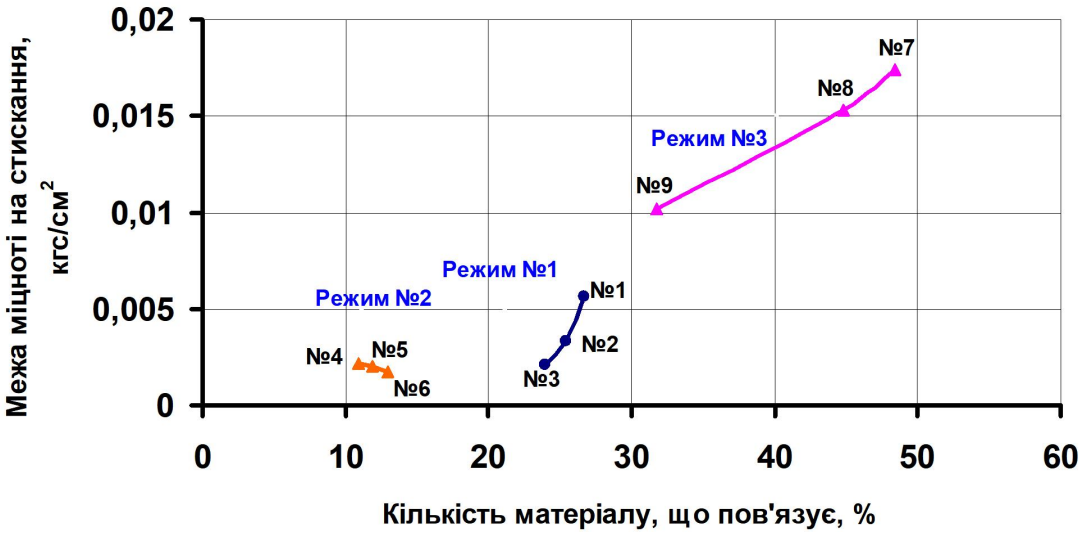
Рисунок 4.4 – Загальний вигляд зруйнованих зразків з відходів деревообробного виробництва в залежності від складу модельної суміші

Слід зазначити, що для виробництва моделей використовують дерев’яні частки різної форми і розмірів. Характеристики міцності моделей із спеціально виготовленої (різаною) стружки дещо вище, ніж моделей зі стружки-відходів

від стругальних верстатів і тирси при одній і тій же щільності і однаковій кількості доданого матеріалу, що пов’язує.



а



б

а – міцність на стискання; б – межа міцності на стискання;
режим №1 – модельна суміш рідке скло та тирса (зразки №1–№3); режим №2 – модельна суміш рідке скло, тирса та гіпс (зразки №4–№6); режим №3 – модельна суміш
смола та тирса (зразки №7–№9)

Рисунок 4.5 – Залежність характеристик міцності модельної суміші від кількості матеріалу, що пов’язує

Зі збільшенням довжини стружки до 30–50 мм міцність моделі збільшується, при подальшому збільшенні довжини інтенсивність підвищення міцності різко падає. Однак довга стружка викликає труднощі при транспортуванні, змішуванні з матеріалом, що пов’язує, тому при виробництві моделей довжина стружки, як правило, не перевищує 2–4 мм. Із збільшенням ширини стружки міцність моделі падає, тому в практиці використовують стружку шириною до 5 мм. Ширина стружки має велике значення для отримання необхідного класу шорсткості поверхні моделі.

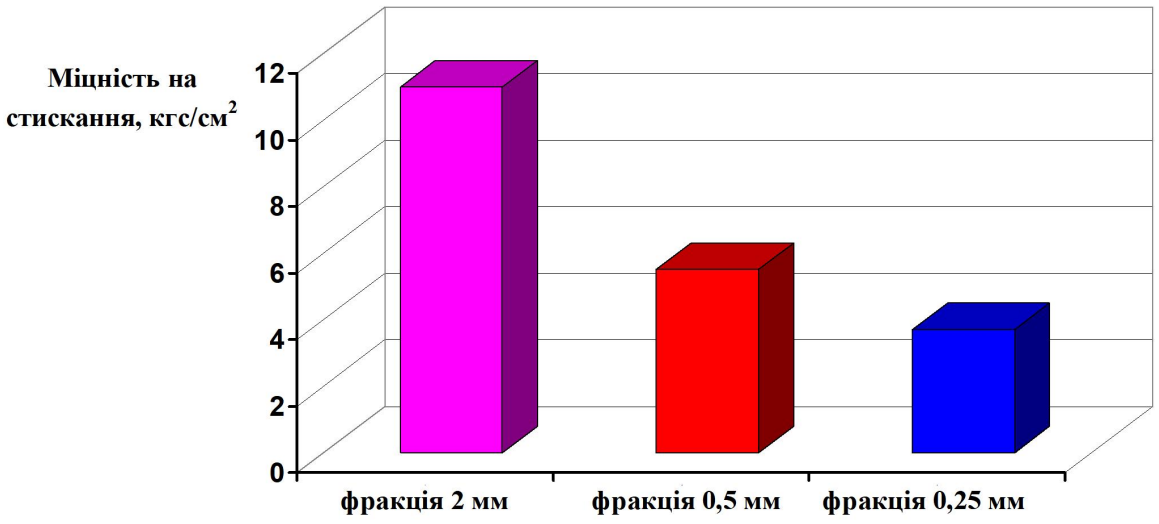
Таблиця 4.2 – Гранулометричний склад відходів деревообробного виробництва (тирси)

Фракція тирси, мм	Маса тирси, г	Кількість тирси, %
+1,0	2,915	5,83
-1,0+0,5	17,515	35,03
-0,5+0,25	20,225	40,45
-0,25+0,16	5,840	11,68
-0,16+0,1	1,930	3,86
-0,1+0,071	1,005	2,01
-0,071+0,04	0,485	0,97
-0,04+0	0,085	0,17
Всього :	50,000	100,00

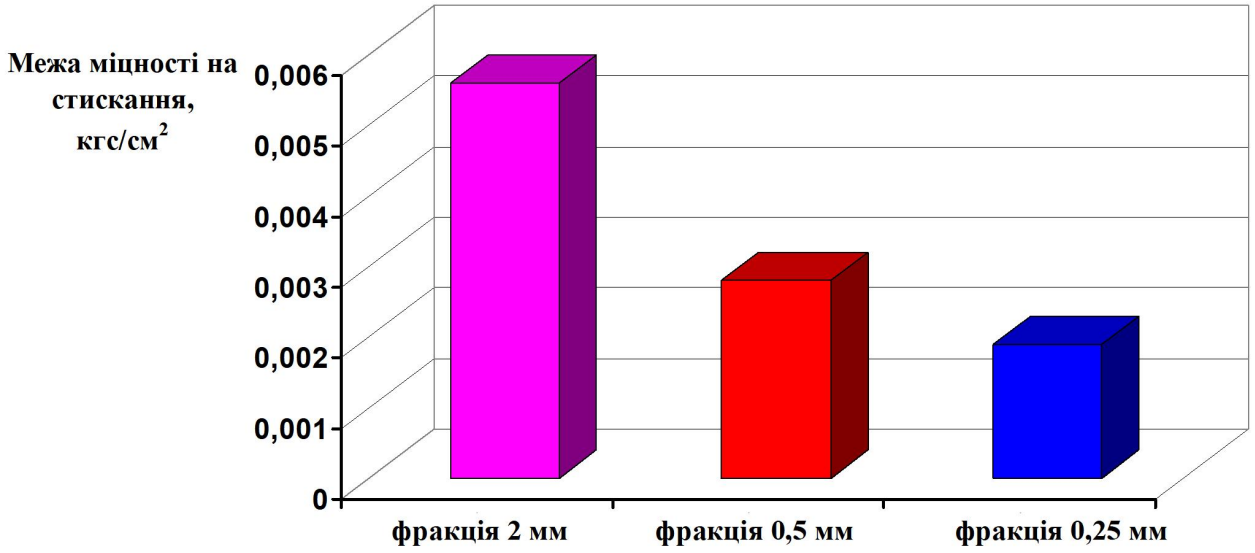
Таким чином, порівняльний аналіз межі міцності зразків з деревини та зразків з відходів деревообробного виробництва показали, що останні мають межу міцності в 1,65 – 4,5 рази нижче, ніж у вихідному зразку з деревини.

При дослідженні гранулометричного складу деревини та моделей з відходів деревообробного виробництва (табл. 4.2) було встановлено, що

основна маса тирси складається зі фракції –1+0,5 мм та –0,5+0,25 мм, що становить відповідно 35,03 % та 40,45 % від загальної маси зразка. Збільшення фракції тирси з 0,25 до 2 мм призводить до збільшення межі міцності до 3-х разів.



а



б

а – міцність на стискання; б – межа міцності на стискання

Рисунок 4.6 – Залежність характеристик міцності модельної суміші рідке скло та тирса у співвідношенні 2:1 від її фракції

Аналіз впливу гранулометричного складу компонентів формувальної суміші рідке скло та тирса у співвідношенні 2:1 (зразок №1) на фізико-механічні властивості готових моделей показав, що збільшення фракції суміші з 0,25 до 2 мм збільшує міцність на стискання та межу міцності на стискання в 3 рази (рис.4. 6).

Таким чином, застосування моделей з відходів деревообробного виробництва в порівнянні з традиційними (дерев'яною, металевою, пластиковою моделями) має ряд істотних переваг:

– виготовлення модельних комплектів у найкоротші терміни з мінімальними витратами на механічну обробку та без використання додаткового обладнання;

– нижча вартість порівняно з металевим оснащенням (за рахунок більш раціонального витрачання матеріалів та мінімальної трудомісткості виготовлення);

– висока зносостійкість, що не поступається пластиковим моделям;

– висока ремонтопридатність (тріщини, відколи та інше відновлюється тим же матеріалом, з якого виготовляється модель);

– точність, стабільність розмірів та конфігурації моделі протягом тривалого терміну служби;

– мінімальне зусилля знімання при формуванні, завдяки унікальним протиадгезійним властивостям за рахунок суміші для просочення, практично виключає необхідність використання розділових покриттів як при формуванні піщано-глинистих сумішей, так і при виготовленні форм і стрижнів сумішей;

– можливість тиражувати по одній майстер-моделі необмежену кількість моделей з абсолютно точним відтворенням еталона [25].

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

5.1 Заходи щодо захисту навколишнього середовища при проєктуванні ливарних цехів

Відомо, що будь-який проєкт пристрою або технології обов'язково повинен бути екологічним, в ньому слід обґрунтувати технічні рішення з позицій охорони довкілля й зв'язати їх із загальними природоохоронними та технологічними задачами. При цьому необхідно обрати ефективні засоби захисту оточуючого середовища, що дозволять виключити або знизити викиди шкідливих речовин. На сьогодні відповідними діючими нормативними документами з проєктування споруд передбачено, що проєкти повинні бути спрямовані на розв'язання наступних задач:

– реалізацію у проектах досягнень науки, техніки й передового вітчизняного й зарубіжного досвіду з тим, щоб побудовані або реконструйовані підприємства до моменту їхнього введення в експлуатацію були технічно передовими й забезпечували випуск продукції високої якості у відповідності до науково обґрунтованих нормативів щодо витрат праці, сировини, матеріалів та паливно-енергетичних ресурсів, які затверджені для галузей промисловості;

– впровадження високопродуктивного обладнання, механізація й автоматизація виробничих процесів та подальше скорочення ручної праці, використання найбільш екологічних схем та рішень при проєктуванні й модернізації обладнання, ділянок і цехів. Саме з цих позицій необхідно обґрунтовувати вибір технологічних схем, обладнання, технічних рішень, що використано у проєкті.

При оцінці технічних рішень щодо захисту атмосфери при проєктуванні ливарних цехів (рис. 5.1) й ділянок необхідно виходити з того, що зниженню викидів шкідливих речовин сприяє:

– заміна лиття у разові піщані форми на спеціальні засоби лиття (зокрема,

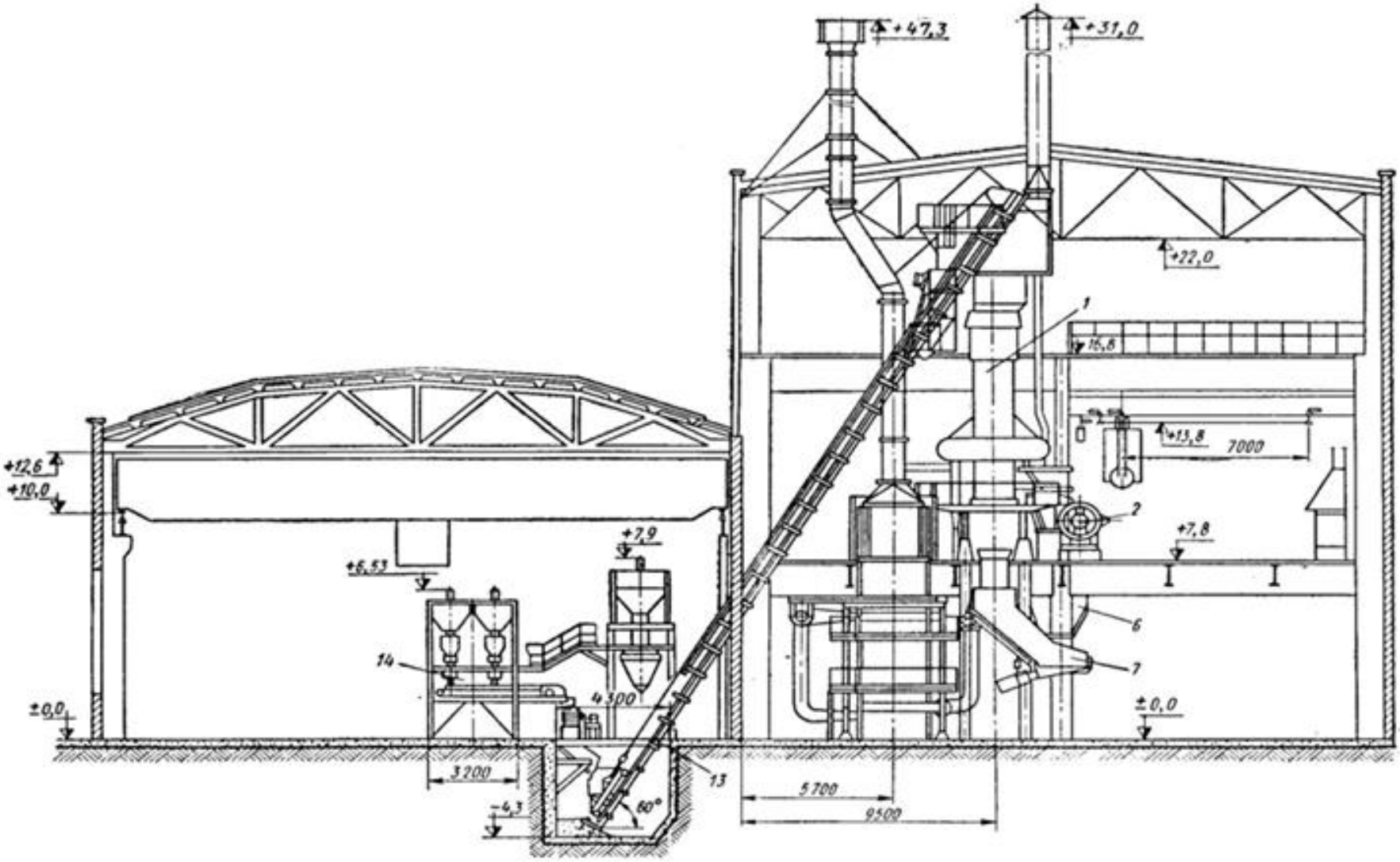


Рисунок 5.1 – Поперечний розріз вагранкового і шихтового прольотів чавуноливарного цеху

в металічні форми, лиття під тиском, лиття за виплавними моделями);

– автоматизація процесів, що супроводжуються виділенням пилу (виготовлення формувальної суміші, розподіл її за бункерами, приймання й відведення оброблюваної суміші з-під вибивних решіток та інші), котра дозволяє частково або повністю герметизувати дані ділянки;

– використання гідравлічного та електрогідравлічного очищення лиття;

– впровадження для пересування пилоподібних й порохоподібних матеріалів пневматичного транспорту;

– використання у сушилах, печах, горнах замість твердого й рідкого видів палива природного газу;

– застосування самотвердіючих сумішей, замість пісшано-глинистих для виготовлення форм і стрижнів;

– використання закріплювачів з мінімальним вмістом сірки та інших шкідливих компонентів;

– заміна вагранок на індукційні печі та інші.

У ливарному виробництві вода використовується на операціях гідравлічного вибивання стрижнів, транспортування й промивання формувальної землі у відділенні регенерації, а також при гідротранспортуванні відходів горілої землі, в системах знепилюючої вентиляції. Стічні води, що утворюються при виконанні цих операцій, забруднюються глиною, піском, зольними залишками від частини стрижньової суміші, що вигоріла, зв’язуючими додатками формувальної суміші. Концентрація цих речовин змінюється в широких межах в залежності від обладнання, що використовується, вихідних матеріалів й може досягати значень – 5000 $м^3$ /л.

Найбільш радикальним й прогресивним рішенням проблеми запобігання забруднення водоймищ стічними водами є використання безвідходних (маловідходних) технологічних процесів. Перспективним є впровадження безстічних технологічних систем й водозабірних циклів на базі існуючих й тих, що підлягають вдосконаленню, засобів очищення й доочищення промислових й

господарсько-побутових стоків. Тверді відходи ливарного виробництва посідають особливе місце у схемі утилізації відходів машинобудівних заводів. Ливарне виробництво характеризується одночасним переміщенням багатьох тон металу, піску, глини та інших компонентів, що входять до пісчано-глинистих та інших сумішей у якості основних або допоміжних матеріалів. Абсолютна кількість допоміжних матеріалів може бути використана багатократно, хоч і підпадає під категорію відходів одного ливарного циклу. Тому можливо розглядати утилізацію твердих ливарних відходів в залежності від їх виду й стану, використовуючи при цьому методи переплаву й регенерації. Наприклад, ливники, ливарний брак, застиглі розплески розплавленого металу після відповідного очищення й роздрібнення є повноцінним матеріалом, що використовується в певному співвідношенні (не більше 40%) у складі шихти для вторинного використання. Усі формувальні й стрижньові суміші можливо піддавати регенерації, яка забезпечує, поряд з іншими заходами, економічну конкурентноздатність ливарного виробництва та сприяє зниженню забруднення оточуючого середовища за рахунок більш досконалої технології. До числа інших твердих відходів ливарного виробництва відносяться продукти згоряння технологічного палива й пічного переплаву, тобто попіл і шлаки. Переробка цих відходів безпосередньо на машинобудівному заводі техніко-економічно не виправдана, тому їх збирають у спеціальну тару й відправляють централізовано на підприємства, де виробляються будівельні матеріали: цемент, цегла, мінеральна вата, теплоізолюючі плити та інші.

5.2 Вимоги щодо безпеки до виробничого обладнання та технологічних процесів ливарних цехів

У даному підрозділі необхідно розглянути вимоги безпеки до конкретних видів обладнання та конкретних технологічних процесів. Звернути увагу на те, які саме конструктивні рішення забезпечують безпеку працівників, що

здійснюють певні операції у відповідному технологічному процесі, яким чином можна досягти нормалізації умов праці та оточуючого середовища. Розглянути все, що допомагає відвернути вплив на працюючих постійно діючих небезпечних чинників, усунути чи зменшити вплив шкідливих виробничих чинників, а також запропонувати заходи, які дозволяють уникнути ураження людини внаслідок виникнення надзвичайної ситуації, що характеризується виникненням тимчасових небезпечних чинників. Наприклад, для усунення впливу на працюючих небезпечних чинників, що виникають при експлуатації електродугової печі, у проєкті необхідно передбачити: влаштування спеціальних площадок та сходин з перилами висотою 1 м із суцільною обшивкою знизу висотою 200 мм, захист гідравлічних пристроїв від потрапляння рідкого металу або шлаку, установлення обмежувачів електродів з десятикратним запасом, огородження небезпечних зон для запобігання попадання працюючих у зону підіймання електродів, підіймання та повороту склепіння печі, нахилу печі, механізація процесів завантаження шихти, перемішування металу, надійне заземлення конструкцій та корпуса печі, огородження струмопідвідних шин, постійне спостерігання за станом кладки печі. Для досягнення санітарних норм щодо вмісту шкідливих газів у робочій зоні піч забезпечується примусовою витяжною вентиляцією для відводу газів, що виділяються з печі через вікно склепіння та витяжний ліхтар у даху цеху. Окрім того, робоче місце оператора організується у спеціальному ізольованому приміщення з примусовою вентиляцією й подаванням очищеного й охолодженого повітря. Для зниження шкідливого впливу шуму спеціальне приміщення, в якому розташовують робоче місце оператора обладнують відповідною звуковою ізоляцією, а інші робітники, що обслуговують піч, забезпечуються захисними навушниками. Для зменшення температури повітря будівля цеху проєктується із розрахунку ефективного природного провітрювання (аерації). Корпус печі обладнують тепловою ізоляцією, а місця, що характеризуються найбільш високим тепловипромінюванням, – тепловими

екранами. Сходи та конструкції, що розташовані над склепінням печі, теплоізолюють. Крім того робітники, що обслуговують піч, забезпечуються спецодягом згідно з ГОСТ 12.4.045-78 та спецвзуттям згідно з ГОСТ 12.4.050-78. 110 4.4.2 Вимоги до організації вентиляції виробничих приміщень. Розрахунок місцевої витяжної вентиляції Для створення умов праці, що відповідають санітарно-гігієнічним вимогам, у ливарних цехах повинна бути передбачена припливно-витяжна вентиляція з термовентиляційними установками, що включають агрегати кондиціювання повітря, яке надається до цеху, й витяжними системами, які обладнують конструкціями для очищення повітря перед викидом у довкілля. В усіх точках виділення шкідливих домішок окрім витяжок повинне бути передбачено компенсуюче подавання свіжого повітря, що виключає неорганізовані потоки повітря у цеху із супутніми їм протягами й пересуванням пилу та інших шкідливих речовин. Для приблизної оцінки необхідно знати, що за даними практики у плавильному відділенні чавуноливарного цеху кількість повітрообмінів на годину складає від 17 (у взимку) та до 34 (літом), у формувальному й стрижньовому відділеннях – 11–13, а у термообрубному відділенні – 8. Загальні вимоги й конкретні рекомендації з організації повітрообміну у ливарних цехах викладено у праці.

Окрім зальної припливно-витяжної вентиляції у ливарних цехах повинно відбуватися інтенсивне видалення запиленого повітря від машин та апаратів, робота яких призводить до пилоутворення. До механічного обладнання, яке характеризується великим виділенням пилу, у ливарних цехах відносять машини, що утворюють суміші, конвеєри, агрегати, що переробляють й транспортують відроблену суху формувальну або стрижньову суміш, подрібнювачі та млини для вугілля й глини, робочі місця, що обладнані для очищення виливків. Від плавильних, сушильних та відпалюючих печей, а також від площадок для заливання і охолоджувальних кожухів ливарних конвеєрів повинно бути передбачено видалення газів, щоб запобігти їхньому розповсюдженню у приміщенні. Так, наприклад, у землепідготовчому

відділенні повітря видаляють від місць пересипання на конвеєрах, від дробівок, бункерів для піску й горілої землі, елеваторів, бігунів, полігональних сит, плужкових скидачів, шарових млинів та із верхньої зони приміщення. Повітря, що видаляється від місцевих відсмоктувачів, перед викидом в атмосферу проходить сухе або мокре очищення. У стрижньовому відділенні повітря видаляють від верстатів для зачищення й шліфування стрижнів, пульверизаційних камер фарбування, сушильних камер, автоматичних верстатів для виготовлення напівформ, верстатів й робочих столів для склеювання напівформ. Повітря з відділення для заливання металу видаляють через місцеві відсмоктувачі від стендів для просушування ковшів, влаштувань для розливання металу, місць заливання металу у форми, від охолоджувальних конвеєрів та із верхньої зони приміщення. У відділенні для вибивання форм та стрижнів повітря видаляється через місцеві відсмоктувачі від решіток для вибивання форм, верстатів для вибивання стрижнів, від місць пересипання горілої землі з конвеєра на конвеєр, бункерів горілої землі, піску, сухої глини, від ковшових елеваторів, магнітних сепараторів, барабанних сит й із верхньої зони приміщення. З відділення обрублення та очищення лиття повітря видаляється через місцеві відсмоктувачі від обрубувальних столів, очисних барабанів, гідропіскоструминних, дробоструминних й дробометних камер, точильнообдирних й наждачних верстатів та з верхньої зони приміщення. Запилене повітря від очисних барабанів дробоструминних й дробометних камер перед викиданням в атмосферу підлягає одноступінчатому очищенню у рукавних фільтрах. Запилене повітря від іншого обладнання проходить двоступінчасте очищення – сухим (циклони) й мокрим (скрубери) засобами [26–29].

Гранично-допустимі концентрації речовин у повітрі робочої зони, норми температури повітря та нормовані значення штучної освітленості приведені в додатках А–В [30].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Високотехнологічні 3D–процеси розширюють наявний спектр металовиробів і можливість їх виготовлення, як правило, в умовах, що суттєво кращі за екологічною чистотою і швидкістю виробництва, ніж традиційні умови ливарного цеху.

2. Спостерігається тенденція скорочення виробництва виливків зі сталі і сірого чавуну з одночасним збільшенням частки виливків з високоміцного чавуну та алюмінієвих сплавів.

3. Впровадження нових матеріалів і технологій для виготовлення комплектів модельного оснащення, ливарних форм і стрижнів дозволить значно підвищити якість виливок і їх точність. Перехід на цифровий опис виробів (CAD) і, відповідно, 3D–друку зробили – майбутнє в ливарній галузі. Відхід від традиційних технологій і використання нових методів отримання ливарних форм і моделей із застосуванням технологій пошарового синтезу дасть можливість радикально скоротити час запуску литих заготовок в серійне виробництво, зменшити їх собівартість за рахунок підвищення точності геометрії лиття та зменшення припуску на механічну обробку, а головне – поліпшити якість металопродукції, що випускається.

4. Одним з сучасних та перспективних направлень розвитку металургійного виробництва є ливарно-прокатні модулі (агрегати), які в свою чергу забезпечують: економію металу, збільшення продуктивності роботи машин, зменшення виробничих площин, скорочення чисельності робітників цеху, покращення якості металовиробів за рахунок отриманню більш однорідної структури сталі, можливість автоматизації та механізації процесу, зменшення терміну окупності при впровадженні нових підприємств та зменшення витрат енергії на виготовлення металовиробів.

5. Розглянуто як альтернатива енерго-та ресурсозбереження застосування ливарних моделей з використанням відходів деревообробного виробництва (наприклад, тирси) з доданням матеріалів, що пов’язують (наприклад, смоли марки БС-40, рідкого скла та гіпсу марки Г-10) з застосуванням вже існуючого модельне оснащення. Встановлено, що виготовлення ливарних моделей з відходів деревообробного виробництва дозволяє зменшити витрати на виготовлення моделей з первинної деревини; зменшити енергозатрати виробництва; зменшити трудомісткість виготовлення моделі; автоматизувати виробництво ливарних моделей.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Зенкін А. С., Коваль В. О. Оцінка якості продукції ливарного виробництва. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. 2/10 (62). С. 21–23.

2. Брюховецька Н. Ю., Черних О. В. Індустрія 4.0 та цифровізація економіки : можливості використання зарубіжного досвіду на промислових підприємствах України. *Економіка промисловості*. 2020. С. 33–40.

3. Вишневський В. П., Вєцька О. В., Гаркушенко О. М. Розумна індустрія в цифровій економіці : перспективи, напрямки та механізми розвитку. Київ : Інститут економіки промисловості НАН України, 2021. С. 192.

4. Гобахлоу М. Унікальні і прогресивні технології як передумова четвертої промислової революції. *Сучасні тенденції в економіці та управлінні* : новий погляд. 2022. С. 273–275/

5. Індустрія 4.0. Промисловий Інтернет Речей. UPL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://e-tk.lntu.edu.ua/pluginfile.php/20327/mod_resource/content/0/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%B0%2010.%20%D0%86%D0%BD%D0%B4%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D1%96%D1%8F%204.0.%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B8%CC%86%20%D0%86%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82%20%D0%A0%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%B8%CC%86.pdf (дата звернення: 01.02.2025)

6. Industry 4.0. UPL: https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/industry-4 (дата звернення: 01.02.2025)

7. Що таке Індустрія 4.0? Все, що вам потрібно. UPL: https://fiberroad.com/uk/resources/new-trends/what-is-industry-4-0/ (дата звернення: 01.02.2025)

8. Сигида Л. О. Індустрія 4.0 та її вплив на країни світу. *Економіка і*

суспільство. 2018. Вип. 17. С. 58–64. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-17-9

9. Копитко М. І., Зеверуха Д. А. Ключеві аспекти впливу Індустрії 4.0 на економічну безпеку держави. *Соціально-правові студії*. 2021. Вип. 4 (14). С. 117–122.

10. Ноджак Л. С, Паращич, М. І. Розвиток 4.0 Індустрії в Україні : проблеми, перспективи. *Економіка та суспільство*. 2022. Вип. 45. С. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-45-2

11. Скіцько В. І. Індустрія 4.0 як промислове виробництво майбутнього. Інвестиції : практика та досвід. 2016. №5. С. 33–40.

12. Mark Lewis Industry 4.0 and what it means to the FOUNDRY INDUSTRY. http://www.foundrytradejournal.com/features/industry-40-and-what-it-means-to-the-foundry-industry- (дата звернення: 01.02.2025)

13. Фіщук В. Цифрова економіка – це реально. Ресурс - http://biz.nv.ua/ukr/experts/fichuk/tsifrova-ekonomika-tse-realno-1001102.html.

14. Дорошенко В. С., Янченко О. Б. Передумови впровадження 3D-технології для виготовлення металовиробів та приклади її застосування. *Науково-технічний журнал «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*». 2023. С. 35–41. DOI 10.31649/2311-1429-2023-2-35-41

15. Гнатуш В. А., Дорошенко В. С., Клименко С. І. Тренди ливарного ринку України в першій чверті XXI століття. *Метал та лиття України*. 2023. №2(33). Вип. 31. С. 83–90.

16. Кирилюк В. С., Семенова Т. В., Семенов О. Д. Дослідження технічного рівня ливарного виробництва. *Економіка і суспільство*. 2018. Вип. 15. С. 322–326.

17. Лиття в разові піщані форми. UPL: https://vlkz.com.ua/?p=284 (дата звернення: 01.02.2025)

18. Лиття по виплавлюваних моделях (ЛПВМ). UPL: https://vlkz.com.ua/?p=291 (дата звернення: 01.02.2025)

19. Хричиков В. Е., Меняйло О. В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів : навч. посібник ; видання друге, доопрацьоване. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2015. 89с.

20. Адитивне виробництво: технологія, матеріали та переваги 3D–друку. UPL: https://3dprint.infomir.eu/adytyvne-vyrobnycztvo-tehnologiya-materialy-ta-perevagy-3d-druku/ (дата звернення: 01.02.2025)

21. Поліщук М. М. Ткач М. М. CAD–системи та мультимедія [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 112 с.

22. Дорошенко В. 3D-процеси в ливарному виробництві: прообрази технологій майбутнього. *Світогляд*. 2016. №3 (59). С. 39–43.

23. Воденнікова О. С. Розливка сталі та спеціальні модифікатори, лігатури: конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. 156 с.

24. Чубенко В. А., Хіноцька А. А. Дослідження ефективності суспензійної розливки рідкої сталі у ливарно-прокатні кліті для виготовлення тонких смуг. *Гірничий вісник*. 2016. Вип. 101. С. 183–187.

25. Воденнікова О. С., Скідін І. Е., Воденнікова Л. В. Технологія виготовлення ливарної моделі з використанням відходів деревообробного виробництва. *Металургія*. 2023. № 1. С. 73–84. DOI: https://doi.org/10.26661/2071-3789-2023-1-10.

26. Глиняна Н. М. Охорона праці у ливарному виробництві : курс лекцій для студентів вищих навчальних закладів напряму 0904 «Металургія». Краматорськ : ДДМА, 2009. 184 с.

27. Охорона праці на металургійних підприємствах. UPL: https://ips.ligazakon.net/document/situation-doc/SX190026b (дата звернення: 01.02.2025)

28. Охорона праці на підприємствах чорної металургії. UPL:

https://www.fort.kharkiv.com/news/ohorona-pratsi-metalurgii (дата звернення: 01.02.2025)

29. Наказ № 569 від 19.03.2021 Про затвердження Мінімальних вимог щодо безпеки та здоров'я на роботі в металургійній промисловості. UPL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0606-21#Text (дата звернення: 01.02.2025)

30. Румянцев В. Р. Охорона праці в металургійному виробництві : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 263 «Цивільна безпека» освітньо-професійної програми «Охорона праці». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2024. 44 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМІ КОНЦЕНТРАЦІЇ РЕЧОВИН У ПОВІТРІ РОБОЧОЇ ЗОНИ

Речовина	Формула	ГДК, мг/м^3
Азоту діоксид	NO_2	2,000
Аміак	NH_3	20,00
Ангідрид сірчистий	SO_2	10,00
Ангідрид сірчаний	SO_3	1,000
Берилій	Be	0,001
Бром	Br_2	0,500
Водень хлористий	HCl	5,000
Вапняк	$CaCO_3$	6,000
Кремнію діоксид	SiO_2	1,000
Мідь	Cu	0,500
Метан	CH_4	300,0
Натрію гідроксид	$NaOH$	0,500
Озон	O_3	0,100
Пентан	C_5H_{12}	300,0
Ртуть	Hg	0,005
Свинець	Pb	0,005
Тальк	$3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	4,000
Вуглецю оксид	CO	20,00
Фреон 22	CF_2Cl_2	3000
Фреон 113	$C_2F_3Cl_3$	5000
Фреон 12В1	CF_2ClBr	1000
Хлор	Cl_2	1,000
Цемент	-	6,000
Етан	C_2H_6	300,0

ДОДАТОК Б
ПРИПУСТИМІ НОРМИ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ

Період року	Категорія робіт	Температура повітря на постійних робочих місцях, °С	Температура повітря на непостійних робочих місцях, °С
Холодний	Іа	21 – 25	18 – 26
	Іб	20 – 24	17 – 25
	ІІа	17 – 23	15 – 24
	ІІб	15 – 21	13 – 23
	ІІІ	13 – 19	12 – 20
Теплий	Іа	22 – 28	20 – 30
	Іб	21 – 28	19 – 30
	ІІа	18 – 27	17 - 29
	ІІб	16 – 27	15 – 29
	ІІІ	15 – 26	13 – 28

Примітка: Холодним вважається період року із середньодобовою температурою ≤ 10°С, а теплим – з температурою > 10°С.

ДОДАТОК В
НОРМОВАНІ ЗНАЧЕННЯ ШТУЧНОЇ ОСВІТЛЕНОСТІ НА РОБОЧИХ ПОВЕРХНЯХ ДЛЯ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Освітленість за комбінованою системою, лк	Освітленість за загальною системою, лк
Найвищої точності	<0,15	1	2500	750
Дуже високої точності	0,15 - 0,3	2	2000	500
Високої точності	0,3 - 0,5	3	750	300
Середньої точності	0,5 - 1	4	400	200
Малої точності	1 - 5	5	-	150
Груба	>5	6	-	150
Робота зі світними Матеріалами	>0,5	7	-	200
Загальне постійне спостереження за ходом виробничого процесу	-	8а	-	75
Періодичне спостереження за ходом виробничого процесу при постійному перебуванні людей у приміщенні	-	8б	-	50
Те ж при періодичному перебуванні людей у приміщенні	-	8в	-	30

ДОДАТОК Г
НАУКОВІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий
інститут ім. Ю. М. Потебні

ІНЖЕНЕРНІ ІННОВАЦІЇ ТА РОЗБУДОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ

Матеріали
І Міжнародної науково-практичної конференції
Інженерного навчально-наукового інституту
ім. Ю. М. Потебні

09–10 травня 2024 року

Видавничий дім
«Гельветика»
2024

УДК 669.046.582.2

Харченко Олександр Вікторович
к. т. н., с. н. с., доцент кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету

Гром Віталій Вікторович
магістрант кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету

АНАЛІЗ СВІТОВИХ ТРЕНДІВ ЛИВАРНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Представлено аналіз світового ринку металевих виливків у 2018–2023 рр., а також прогноз виробництва на короткотермінову перспективу. Форс-мажорна ситуація внаслідок пандемії COVID-19 негативно вплинула на світове ливарне виробництво через зменшення попиту на виливки у кінцевих виробників. Проте в найближчій перспективі виробники висловлюють позитивне очікування. Розглянуто стан ливарної промисловості в країнах-лідерах світового ливарного рейтингу. Глобальним лідером світового ринку виливків є Китай з часткою 44,4 % в 2019 р. Друге місце займає Індія (10,5 %), а третє – США (10,3 %). Разом ці три країни виробили за 2019 р. 65,2 % металевих виливків в світі. Всі топ-10 країн в 2019 р. отримали 95,8 млн т литва або 87,3 % загальносвітового виробництва. При цьому порівняно з 2018 р. обсяг їх виробництва виливків скоротився на 2,9 %. Виходячи з аналізу ситуації, розрахунку, світове виробництво виливок в 2020 р. може становити близько 90...94 млн т. Ринок вимагає від постачальників і, відповідно, від виробників інноваційної гнучкості та швидкості. Успішними будуть тільки такі ливарні компанії, які виробляти-муть виливки за інноваційними технологіями з високою доданою вартістю. Одночасно таким компаніям слід інвестувати в кваліфікованих фахівців, які здатні просувати компанію в перспективному напрямку. До пріоритетних напрямків діяльності ливарних підприємств та науковців, які не мають оптимального вирішення, слід віднести: екологія ливарного виробництва; виробництво більш складних і менш металоємних виливків; поверхневе зміцнення виливків; виготовлення композитних виливків.

Експерти вважають, що в найближчі роки виробники виливків будуть впроваджувати промисловий інтернет речей (Internet of Things, IoT).

Це обумовлено потребою підвищити ефективність виробництва шляхом комплексного контролю та управління технологічними процесами, простоями обладнання та ресурсами.

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні ЗНУ



МАТЕРІАЛИ

Міжнародної науково-практичної конференції
Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету

«Сучасні перспективи розвитку обліку, фінансів, економіки, управління, права та інженерії»

5 – 6 грудня 2024 року

Запоріжжя
2024

- удосконалення термодинамічної моделі роботи мартенівської печі і двохванного сталеплавильного агрегату (далі – ДСПА) і відповідного алгоритму для ПК «Майстер»;
- удосконалення і реалізація блоку прогнозування стану сталеплавильної ванни за даними, отриманими з датчиків реального часу;
- удосконалення і реалізація блоку видачі рекомендацій майстру по оптимальному завершенню процесу доведення сталі в мартенівській печі і ДСПА;
- адаптація параметрів математичної моделі роботи мартенівської печі і ДСПА;
- удосконалення і реалізація алгоритму адаптації параметрів математичної моделі для ПК «Майстер»;
- удосконалення головної та другорядних форм програми.

Отже, удосконалення інтегрованої системи управління і контролю сталеплавильного виробництва ПК «Майстер» в умовах існуючого сталеплавильного виробництва дасть змогу підвищити якість продукції та рівень продуктивності праці, забезпечить економію дорогих матеріалів, та зменшення кількості браку при виробництві сталі.

УДК 621.74(100)

Харченко О.В., к.т.н., старший науковий співробітник, доцент кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, м. Запоріжжя.

Гром В.В., магістрант 2 курсу спеціальності 136 «Металургія» Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, м. Запоріжжя

АНАЛІЗ СВІТОВИХ ТРЕНДІВ ЛИВАРНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Форс-мажорна ситуація внаслідок пандемії COVID-19 негативно вплинула на світове ливарне виробництво через зменшення попиту на виливки у кінцевих виробників. Проте в найближчій перспективі очікування виробників ливарної продукції мають позитивний тренд. Аналіз світового ринку металевих виливків у 2018-2023 рр. засвідчив, що глобальним лідером світового ринку виливків є Китай з часткою 44,4 % в 2019 р. Друге місце займає Індія (10,5 %), а третє – США (10,3 %). Разом ці три країни виробили за 2019 р. 65,2 % металевих виливків в світі. Всі топ-10 країн в 2019 р. отримали 95,8 млн. т литва або 87,3 % загальносвітового виробництва. При цьому порівняно з 2018 р. обсяг виробництва виливків

скоротився на 2,9 %. Виходячи з аналізу ситуації, розрахунку, світове виробництво виливок в 2024 р. може становити близько 90…94 млн т. Ринок вимагає від постачальників і, відповідно, від виробників інноваційної гнучкості та швидкості. Успішними будуть тільки такі ливарні компанії, які вироблятимуть виливки за інноваційними технологіями з високою доданою вартістю. Одночасно таким компаніям слід інвестувати в кваліфікованих фахівців, які здатні просувати компанію в перспективному напрямку. До пріоритетних напрямків діяльності ливарних підприємств та наукових досліджень слід віднести: екологію ливарного виробництва; виробництво більш складних і менш металоємних виливків; поверхневе зміцнення виливків; виготовлення композитних виливків.

Також експерти вважають, що в найближчі роки виробники виливків будуть впроваджувати промисловий Інтернет речей (Internet of Things, IoT), що обумовлено потребами підвищення ефективності ливарного виробництва, зокрема шляхом комплексного контролю та управління технологічними процесами та ресурсами.