

ВІДГУК

офіційного опонента Пономаренко Ольги Іванівни на дисертаційну роботу
Сіренко Катерини Адольфівни
**«Контроль і регулювання хімічного складу, прогнозування
властивостей сірого чавуну в процесі його плавки та лиття»**,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.16.04 – Ливарне виробництво

1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Литі вироби становлять значну частину за масою та трудомісткістю виготовлення будь-якого виду продукції машинобудування. Від якості відливок, їхньої точності та економічності в підсумку залежать якість і конкурентоспроможність кінцевої продукції – двигунів, верстатів, автомобілів. Як показує світовий досвід, удосконалення продукції машинобудування є неможливим без істотного підвищення складності, якості, експлуатаційних властивостей, точності та зменшення товщини стінок і маси литих заготовок.

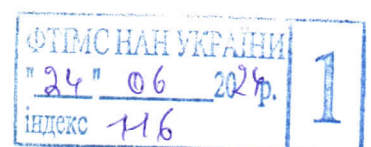
В умовах сучасної економіки особливо актуальними є впровадження технологічних рішень здатних забезпечити економію енергоресурсів, коштовних легувальних матеріалів та підвищення економічної ефективності виробництва.

При цьому першочергове завдання полягає у розробленні ефективних сучасних методик формування шихти для виплавлення чавуну, коригування його хімічного складу безпосередньо під час плавки, прогнозування структури і властивостей виливків шляхом термічного деривативного експрес-аналізу розплаву.

Актуальність цієї теми обумовлена необхідністю оптимізації контролю показників якості ливарної продукції за рахунок посилення надійності їх прогнозування.

Отже, розробка методик контролю і регулювання хімічного складу, прогнозування властивостей сірого чавуну в процесі його плавки та лиття для ливарного виробництва є актуальним.

Метою даної роботи є дослідження впливу хімічного складу на якісні характеристики сірого чавуну для прогнозування властивостей виливків та розроблення алгоритмів, методик та математичних моделей щодо контролю і регулювання хімічного складу сірого синтетичного чавуну на стадіях формування шихти, процесі плавки та лиття.



Для досягнення зазначеної мети необхідно було вирішити такі основні завдання:

- проаналізувати відомі підходи і методики розрахунку складу шихти для виплавлення сірого чавуну та регулювання його хімічного складу безпосередньо у процесі плавки;
- дослідити фактичні показники якості (хімічний склад і механічні властивості) сірого чавуну у промислових партіях ливарних виробів;
- проаналізувати відомі методики визначення величин вуглецевого еквівалента і ступеня евтектичності сірого чавуну, а також формули для розрахунку міцності і твердості виливків з чавуну;
- розробити і реалізувати підходи та методи врахування ймовірного характеру формування хімічного складу та властивостей чавуну у процесі виготовлення ливарних виробів;
- дослідити кореляційні залежності механічних властивостей виливків з сірого синтетичного чавуну від показників його хімічного складу;
- розробити формули, які дозволяють прогнозувати міцність і твердість виливків із сірого чавуну на основі визначених величин вуглецевого еквівалента і ступеня евтектичності його хімічного складу;
- розробити методологію, алгоритми, математичні моделі формування складу шихти і коригування хімічного складу розплаву чавуну безпосередньо у процесі плавки в індукційних печах, які будуть враховувати в ймовірнісному аспекті нестабільність хімічних елементів у складі модифікаторів та легувальних матеріалів (феросплавів тощо);
- розробити способи удосконалення методики термічного деривативного аналізу (ТДА) чавуну, для прогнозування якості готових виливків із сірого синтетичного чавуну до заливки ливарних форм та верифікувати її достовірність.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Доцільність та своєчасність дисертаційної роботи Сіренко К.А. підтверджує її взаємозв'язок із темами науково-дослідних робіт, які виконувались відділу безперервного лиття та деформаційних процесів Фізико-технологічного інституту металів та сплавів (ФТІМС) НАН України: НДР № 629 «Дослідити та розробити методи та засоби експресного комплексного контролю температури та хімічного складу чавунів та вуглецевих сталей», 2012–2014рр., номер держреєстрації 0112U001352; конкурсна інноваційна робота № 680 «Розробка та підготовка освоєння промислового виробництва прецизійних

2021); XIX міжнародній науково-практичній конференції «Литво. Металургія 2023», (Україна, Харків-Київ 2023); VIII International Conference of PhD Students in celebration of 2018 Steel worker's Day (м. Краків) (Стендова доповідь); Міжнародна науково-технічна конференція «Miningmetaltch 2023 – Гірничо-металургійний комплекс: інтеграція бізнесу, технологій та освіти». (Запоріжжя, 2023).

Також наукові положення і висновки дисертаційної роботи повно відображено у 34 наукових працях, з них 22 у наукових фахових виданнях України, 2 – що індексуються в міжнародних наукометричних базах Scopus, Web of Science, три патенти України та 7 тез доповідей в збірниках матеріалів міжнародних та українських конференцій.

Наукові положення, висновки та рекомендації є повною мірою достовірними та обґрунтованими.

4. Структура та зміст дисертації.

Дисертація складається із анотації, змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань із 172 найменувань і 10 додатків. Основна частина дисертації викладена на 175 сторінках, вміщує 53 рисунки, 16 таблиць. Загальний обсяг роботи 235 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність теми та доцільність дисертаційної роботи. Сформульовано мету і завдання виконаного дослідження, визначено об'єкт, предмет, методи дослідження, представлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про апробацію та публікації результатів роботи.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан методології систем і методів контролю та регулювання хімічного складу і властивостей сірого синтетичного чавуну. Розглянуто шляхи подальшого розвитку цього напрямку в теорії і технології ливарного виробництва. Проаналізовано існуючі рішення щодо розрахунку шихти.

Показано, що недолік відомих емпіричних формул, призначених для орієнтовного розрахунку міцності й твердості чавуну за даними його вуглецевого еквівалента і ступеня евтектичності полягає у невизначеності методики розрахунку цих показників. Запропоновано використовувати у відповідних формулах математичні очікування (середні значення) величин вуглецевого еквівалента, ступеня евтектичності й відношення вмісту вуглецю до вмісту кремнію, визначені у ймовірнісному підході із застосуванням методу Монте-Карло.

Зазначено можливість застосування термічного деривативного аналізу, як структурно-чуттєвого експрес-методу визначення якості рідкого чавуну. Даний підхід надає змогу прогнозувати структуру і властивості майбутнього вилівка ще на етапі розплаву, шляхом відбору проби рідкого металу, та оперативно скоригувати його хімічний склад у разі не відповідності вимогам.

У другому розділі представлені методики досліджень залежності механічних властивостей сірого чавуну від узагальнених показників його хімічного складу. Запропоновано і сформульовано методологію моделювання визначення складу шихти і коригування хімічного складу розплаву чавуну безпосередньо в процесі його виплавлення з позицій ймовірнісного підходу.

Дослідження проведені на прикладі сірого чавуну з пластинчастим графітом, який виплавляють згідно з вимогами ДСТУ 8833-2019.

В роботі представлено гістограми розподілу величини вуглецевого еквівалента хімічного складу чавуну марок СЧ100 і СЧ350, розраховані з використанням методу Монте-Карло для умов випадкових значень вмісту C, Si, Mn, P, S в межах діапазонів цих елементів у складі чавуну;

представлено залежності твердості HB і коефіцієнтів теплопровідності λ , за $20\text{ }^\circ\text{C}$, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ чавунів СЧ 100...СЧА400 від їх вуглецевого еквіваленту $C_{\text{екв}}$, залежності середньої величини вмісту кремнію \bar{Si} і відношення C/Si від середньої величини вмісту вуглецю \bar{C} у хімічному складі чавуну з пластинчастим графітом, залежності міцності σ_B , $\text{Н}/\text{мм}^2$ та твердості HB для товщини стінки виливків 50 мм (HB_{50}) і 30 мм (HB_{30}) від вуглецевого еквівалента $C_{\text{екв}}$, ступеня евтектичності $S_{\text{евт}}$ і відношення C/Si , розраховані з використанням ймовірнісного підходу при визначенні зазначених показників хімічного складу виливків з сірого чавуну.

Розроблені нові рішення і формули уточнюють аналогічні формули, що наведені у літературних джерелах, завдяки визначенню показників хімічного складу чавуну на основі ймовірнісного підходу.

У третьому розділі представлено результати дослідження залежності механічних властивостей сірого чавуну промислових партій від вуглецевого еквівалента $C_{\text{екв}}$, ступеня евтектичності $S_{\text{евт}}$, відношення вмісту вуглецю до вмісту кремнію C/Si у його хімічному складі.

У третьому розділі представлено також розроблені методику, алгоритм і комп'ютерну програму, що дозволяють враховувати нестабільність хімічного складу матеріалів, які використовують при формуванні шихти та регулюванні хімічного складу розплаву чавуну під час плавки.

У четвертому розділі представлені результати досліджень адаптивного методу термічного деривативного експрес-аналізу (ТДА) властивостей розплавів чавуну на основі розпізнавання форми кривих його охолодження (РФКО). Розроблено новий критерій порівняння кривої охолодження (РКО) та термічної кривої охолодження (ТКО). Також удосконалено конструкцію теплоізованого сталевго пробовідбірника занурення із термопарним пакетом і колінчастий зонд для занурення пробовідбірника в розплавлений метал при проведенні ТДА.

Розроблені науково-технічні рішення в напрямі розвитку ТДА суттєво посилюють можливості цього методу щодо прогнозу властивостей чавунних виливків. Новизна розроблених способів термічного аналізу рідкого чавуну захищена патентами України на винахід (№ 113333) і корисну модель № 99968 та свідоцтвом № 17697 на авторське право.

Висновки, сформульовані за проведеними Сіренко К.А. дослідженнями, відображають весь обсяг представленої інформації, відповідають завданням роботи і доповнюють пояснення наукової новизни.

Список використаних джерел містить із 172 найменувань, значну кількість із яких представлено сучасними публікаціями, зокрема іноземними статтями та патентами.

В цілому за змістом дисертація є завершеною роботою, яка вирішує важливі теоретичні та практичні проблеми впливу хімічного складу на якісні характеристики сірого чавуну для прогнозування властивостей виливків та розроблення алгоритмів, методик та математичних моделей щодо контролю і регулювання хімічного складу сірого синтетичного чавуну на стадіях формування шихти, процесі плавки та лиття.

Тема та зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.16.04 – «Ливарне виробництво». Оформлення дисертації відповідає чинним вимогам.

5. Наукова новизна отриманих в роботі результатів, сформульованих положень і висновків.

Наукова новизна отриманих результатів теоретичних та експериментальних досліджень:

1. Вперше розроблено алгоритм моделювання процесу визначення маси компонентів шихти для корекції хімічного складу розплаву із застосуванням методу Монте-Карло. *Відомі методи і алгоритми,*

призначені для моделювання процедури вибору шихти і регулювання хімічного складу розплаву чавуну чи сталі, в більшості не враховують нестабільність хімічного складу шихтових матеріалів.

2. Набуло подальший розвиток математичне моделювання визначення вуглецевого еквівалента, ступеня евтектичності, відношення вмісту вуглецю до вмісту кремнію в межах діапазонів вмісту хімічного складу сірого чавуну, шляхом застосування методу Монте-Карло. *Отримані результати дають змогу посилити достовірність прогнозування механічних властивостей виливків з чавуну залежно від узагальнених показників його хімічного складу. Відомі методи розрахунків не враховують діапазони вмісту хімічних елементів у складі чавуну.*

3. Удосконалено залежності механічних властивостей виливків різної товщини від діапазонів показників хімічного складу сірого чавуну. Встановлені кореляційні зв'язки і коефіцієнти кореляції з позицій теорії ймовірності та розроблено емпіричні формули залежностей механічних властивостей виливків різної товщини від діапазонів значень вуглецевого еквівалента, ступеня евтектичності, відношення вмісту вуглецю до вмісту кремнію, визначених методом Монте-Карло. *Раніше з позицій ймовірнісного підходу такі зв'язки і коефіцієнти не були виявлені. Використання цієї розробки дозволяє більш надійно визначати аргументи у задачах хімічний склад-властивості виливків з чавуну.*

4. Вперше сформовано бази промислових даних чавунних виливків, встановлено поля і параметри розподілів хімічних елементів, вуглецевого еквіваленту, ступеня евтектичності, відношення вмісту вуглецю до вмісту кремнію та їх зв'язок з механічними властивостями литва. *Ця розробка обтрунковує доцільність і надає можливість удосконалити стандарти і технічні умови на ливарну продукцію із сірого синтетичного чавуну. Зокрема регламентувати вміст сірки у складі чавуну на рівні не більше 0,05 %*

5. Розвинуто методику термічного деривативного аналізу рідкого чавуну у процесі литва шляхом уточнення визначення форми термічних кривих охолодження розплаву і порівняння їх з референсними кривими охолодження. *Новизна розробок захищена патентом України на винахід і патентом України на корисну модель.*

6. Практичне значення одержаних результатів.

Одержані в роботі наукові результати відкривають нові можливості посилення надійності регулювання хімічного складу і властивостей

виливків з чавуну та інших сплавів. Розроблено основні положення типової технологічної інструкції щодо контролю і регулювання хімічного складу сірого чавуну в процесі його виплавлення в індукційних печах і виготовлення з нього литва. Типова технологічна інструкція запропонована Міністерством стратегічних галузей промисловості України для опрацювання в промисловій практиці ливарних підприємств (лист Мінстратегпрому №1.2-11.1/5740 від 21.12.2022).

Результати дисертаційної роботи, а також рекомендації, надані авторкою дисертації, використовуються у практиці ливарного виробництва заводу ТОВ «М-ЛІТ». Розроблена інструкція найшла застосування на цьому заводі при виготовленні ливарних виробів для залізничного рухомого транспорту.

Удосконалено метод самоадаптивного термічного деривативного експрес-аналізу чавунів, який дозволяє оперативно прогнозувати якість виливків, хімічний склад чавунів на етапі розплаву. Спосіб захищений патентом на корисну модель № 99968 та патентом на винахід № 113333.

Створену комплексну методологію запропоновано як науково-прикладну основу для підвищення ефективності технологічного процесу виробництва і якості литва.

7. Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 34 наукових працях, з них 22 у наукових фахових виданнях України, 2 – що індексуються в міжнародних наукометричних базах Scopus, Web of Science, три патенти України та 7 тез доповідей в збірниках матеріалів міжнародних та українських конференцій.

Аналіз друкованих праць дає змогу зробити висновок, що результати дисертації опубліковано повністю.

8. Мова та стиль дисертації.

Дисертаційну роботу викладено державною мовою, текст логічно та обґрунтовано поділено на структурні елементи (розділи, підрозділи, пункти, додатки тощо). В роботі використано загальноприйнятту термінологію. Стиль викладення наукових результатів, висновків та рекомендацій забезпечує їх доступне сприйняття. Представлені рисунки,

графіки, гістограми тощо мають високу якість та містять необхідні пояснення.

Дисертацію оформлено на високому науковому рівні.

9. Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційної роботи.

1. На стор.24. у Розділі «Вступ». Актуальність роботи не викликає сумнівів, однак, вважаю, що представлення цієї проблеми потрібно було б зробити більш ширше ніж один абзац.

2. Вважаю, що Розділ 1.1 «Шляхи розвитку теорії і технології ливарного виробництва» (стор. 31-39) не повністю розкриває тему розділу. Недоліком викладення даного розділу є те, що аналіз наведено лише обмежуючись описом технологічного процесу виплавки чавуну на заводі ТОВ «М-ЛИТ».

3. У розділі 1.3 дисертації, на стор. 50 – 54 представлено результати розрахунків вуглецевого еквівалента $C_{екв}$ чавунів за різними відомими формулами. В дисертації не надано пояснень відносно вибору конкретної формули, використаної для розрахунків вуглецевого еквівалента сірого чавуну з пластинчастим графітом.

4. Розділ 1. Стор.56. Рис.1.4. Рис.1.5, Рис.1.6. Залежності твердості НВ чавуну від вуглецевого еквівалента $C_{екв}$ його хімічного складу для кращого сприйняття матеріалу, бажано навести в одному масштабі.

5. На рис. 2.2, що на стор. 83 дисертації представлені залежності твердості НВ і міцності σ_B від величин вуглецевого еквівалента $C_{екв}$, ступеня евтектичності $S_{евт}$ і відношення C/Si вмісту вуглецю до вмісту кремнію у хімічному складі сірого чавуну з пластинчастим графітом згідно з ДСТУ 8833:2019. Залежності розроблено для товщин виливків не більше 30 мм і не більше 50 мм. Авторка у роботі не обґрунтувала чому були вибрані саме ці товщини. Крім того, бажано було б зазначити, як отримані рішення можна застосувати також для чавунних виливків інших товщин.

6. В різних розділах дисертації К.А. Сіренко неодноразово акцентує увагу, що об'єктами дослідження в роботі були чавуни, призначені для виготовлення гальмівних колодок і «кліну Ханіна» рухомого залізничного транспорту. Вибір чавунів таких марок для дослідження, на думку автора даного відгуку, недостатньо обґрунтований, бо зазначена ливарна продукція не є масовою.

7. Для характеристики межі міцності σ_B чавуну в дисертації, зокрема в її другому розділі, використовується розмірність Н/мм². При тому, що у

деяких стандартах, наприклад у ДСТУ 3925-99 «Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки», тимчасовий опір під час розтягання (розтягування) σ_B представлено у МПа (кгс/мм²). Безумовно, що використання обох цих розмірностей Н/мм² і МПа не є помилкою. Але з методичної точки зору треба було визначитися, яка розмірність більш логічна для застосування у випадках, що розглядаються в дисертації.

8. Потрібно зазначити достатньо незручну структурну будову роботи. Так, наприклад, вже у літературному огляді (Розділ 1) представлено 16 робіт автора.

9. В дисертації наведені посилання на літературні джерела, наприклад, [4-8 та ін] або [1,9-23 та ін], що є помилкою. Є також посилання на застарілі ГОСТи.

10. Нажаль, у дисертаційній роботі нема техніко-економічного обґрунтування, що надало б роботі більшої ґрунтовності.

Відмічені дискусійні положення та зауваження не зменшують високої теоретичної та науково-практичної цінності дисертаційної роботи.

10. Відповідність автореферату змісту дисертаційної роботи.

Автореферат за структурою та технічним оформленням відповідає встановленим чинним вимогам. В ньому повною мірою відображено основні наукові та практичні здобутки автора роботи. За змістом автореферат ідентичний змісту дисертації. Текст викладено якісно, державною мовою, з дотриманням наукової термінології.

11. Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам.

Дисертаційна робота **Сіренко Катерини Адольфівни «Контроль і регулювання хімічного складу, прогнозування властивостей сірого чавуну в процесі його плавки та лиття»**, є завершеною науковою працею, в якій вирішено актуальну науково-прикладну задачу, а саме розвинуто методологію контролю і регулювання хімічного складу і властивостей сірого синтетичного чавуну в процесі його плавки в індукційних тигельних печах.

Дисертаційна робота **Сіренко Катерини Адольфівни «Контроль і регулювання хімічного складу, прогнозування властивостей сірого чавуну в процесі його плавки та лиття»** за своїм змістом і повнотою викладення

наукових результатів, їх новизною відповідає паспорту спеціальності 05.16.04 – ливарне виробництво.

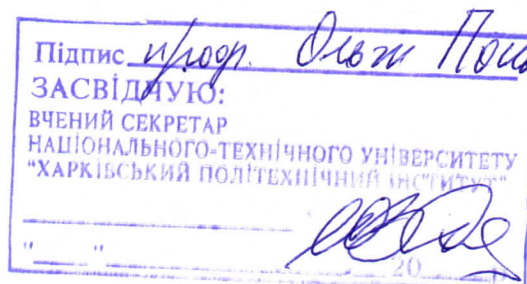
Дисертаційна робота містить раніш не захищені наукові положення і одержані автором нові науково обґрунтовані результати в області теорії та практики ливарного виробництва.

Дисертаційна робота Сіренко К.А. за своєю актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю та достовірністю наукових положень, висновків і рекомендацій, сприяє вирішенню всіх поставлених завдань та можливості практичної реалізації результатів.

Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567 що до кандидатських дисертацій, а також вимогам Міністерства освіти і науки України щодо кандидатських дисертацій, а здобувач **Сіренко Катерини Адольфівни**, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.04 – ливарне виробництво.

Офіційний опонент:
доктор технічних наук,
професор кафедри ливарного виробництва
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»

Ольга ПОНОМАРЕНКО



ЗАЙЦЕВ Ю. І.