

## ВІДГУК

офіційного опонента Пономаренко Ольги Іванівни на дисертаційну роботу Шалевської Інни Анатоліївни “**Комплекс технологічних процесів екологічно безпечного виробництва виливків з прогнозованими функціональними властивостями за моделями, що газифікуються**” за спеціальністю 05.16.04 – ливарне виробництво

### **Актуальність теми дисертації та відповідність роботи спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво**

Ливарне виробництво – галузь науки і техніки, яка займається комплексом питань для забезпечення промисловості заготовками у вигляді виливків високої якості. В сучасних умовах одержання конкурентоспроможної металопродукції основними показниками ливарного виробництва є складові економіки: якість литва, металоємність, вплив технологій на навколишнє середовище, можливість прогнозування цих показників та керування технологічним процесом.

Потреба у виливках з високими функціональними властивостями виникає в залежності від умов експлуатації машин та механізмів. Литі вироби повинні мати зносостійкість робочого шару у поєднанні з м'якою серцевиною, підвищені окалиностійкість, гідростійкість, гідроміцність, теплопровідність, тощо. Одним із ефективних методів одержання матеріалів зі спеціальними функціональними властивостями є армування необхідними компонентами сплавів у рідкофазному стані. В роботі досліджено вплив армуючих елементів на структуру та властивості литих конструкцій з кольорових та залізобуглецевих сплавів.

Застосування точних методів одержання виливків за моделями, що газифікуються, дозволяє підвищити вихід придатного литва при економному використанні матеріалів і енергоресурсів та отримати високі показники якості. Розроблення теоретичних і технологічних основ таких процесів відповідає сучасним тенденціям розвитку ливарного виробництва на даному етапі. Рішення поставленої задачі в умовах високих вимог до рівня науково-технічних

розробок визначає актуальність і доцільність використання вказаних способів для виробництва конкурентоспроможної металопродукції.

Тому створення науково обґрунтованих новітніх технологій виготовлення виливків з високими функціональними властивостями методом лиття за моделями, що газифікуються, з використанням армуючих елементів є актуальним і потребує додаткових досліджень процесів тепломасопереносу і газогідродинаміки та визначення оптимальних технологічних параметрів.

**Мета і завдання дослідження.** На основі розроблених наукових обґрунтувань тепломасообмінних та гідродинамічних процесів в ливарній формі створити технологію одержання виливків за моделями, що газифікуються, з підвищеними експлуатаційними характеристиками, прогнозованою якістю та моніторингом екологічного стану.

Для досягнення зазначеної мети необхідно було вирішити такі завдання:

1. Розробити фізичні моделі процесів масо- і теплообміну армуючих елементів з матричним сплавом при формуванні литих виробів.
2. Дослідити закономірності процесів тепломасопереносу і газогідродинаміки при литті виробів з орієнтованою макродисперсною структурою і підвищеними властивостями з використанням полістиролових моно- та армованих моделей.
3. Розробити фізичну та математичну моделі течії металу у просторі, який утворюється між армуючим елементом та пінополістиролом.
4. Розробити фізичну і математичну моделі процесів твердіння і охолодження в ливарній формі вилівка з армуючою фазою.
5. Визначити якісні та кількісні показники процесу теплової взаємодії між макроармуючими елементами та матричним сплавом.
6. Дослідити закономірності взаємодії матричного сплаву з пінополістироловою моделлю, продуктами її термодеструкції та армуючими елементами.
7. Розробити класифікатор для визначення оптимальних технологічних параметрів процесу лиття за моделями, що газифікуються, який забезпечує

одержання виливків з заданими структурою та властивостями.

8. Розробити методи розрахунку і оптимізації технологічних параметрів одержання армованих виливків з кольорових та залізовуглецевих сплавів з використанням моделей, що газифікуються.

9. Дослідити вплив технологічних параметрів процесів плавлення сплавів на кількість викидів шкідливих речовин.

10. За адаптованою методикою прогнозувати максимальну кількість викидів шкідливих речовин при виробництві виливків за моделями, що газифікуються, та розробити рекомендації для максимального зменшення їх об'ємів.

11. Визначити основні характеристики технологічних процесів і обладнання та оцінити їх оптимальні параметри при виробництві виливків за моделями, що газифікуються.

12. Розробити новітні технології одержання армованих литих виробів з підвищеними функціональними властивостями з кольорових та залізовуглецевих сплавів за моделями, що газифікуються, для застосування їх у металургійній, оборонній промисловості та інших галузях і провести дослідно-промислові випробування.

13. Визначити економічну ефективність нових технологій виробництва виливків спеціального призначення литтям за моделями, що газифікуються

Згідно вищезазначеному, надана до розгляду дисертаційна робота є актуальною, а представлений матеріал наукових досліджень змістовно відповідає спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво.

Актуальність роботи підтверджується держбюджетними роботами, за якими виконувалась дисертаційна робота: № ДР 0112U003154 "Розробка наукових та технологічних засад комплексної взаємодії ливарних процесів для прогнозованого керування якістю литих конструкцій з залізовуглецевих сплавів на основі використання новітніх інформаційних технологій" (2012-2016 рр.); № ДР 0112U003155 „Розробка теоретичних та технологічних засад комплексного контролю, управління фізико-хімічними та технологічними

процесами формоутворення з використанням дистанційного комп'ютерного моніторингу характеристик виливків, стану обладнання та екологічної безпеки навколишнього середовища” (2012-2014); № ДР 0115U000693 „Розробка наукових та технологічних засад щодо створення литих конструкцій з залізовуглецевих й кольорових сплавів, оптимальних процесів їх одержання і автоматизованих методів проектування” (2015-2017); № НДР 0117U006754 „ФТІМС - 2017. Етап 2017 року” (2017); № НДР 0117U006754 „ФТІМС 2017/1. Етап 2018 року”(2018).

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі**

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Шалевської І.А. висока, оскільки:

– базується на комплексному критичному аналізі наявного в літературних та інформаційних джерелах матеріалу за даною проблемою;

– реалізує класичний підхід до наукового дослідження, який включає в себе постановку мети, визначення завдань дослідження (вступ), аналітичний огляд (розділ перший); результати досліджень тепломасообмінних та гідродинамічних процесів при виготовленні армованих виливків методом лиття за моделями, що газифікуються (розділ другий); результати класифікації та ідентифікації технологічних процесів, ливарних об'єктів, якості виливків повного циклу виготовлення литва з кольорових та залізовуглецевих сплавів за моделями, що газифікуються (розділ четвертий); результати досліджень з оцінки екологічної безпеки виробництва виливків за моделями, що газифікуються та визначено основні джерела викидів, наведено перелік шкідливих речовин та питомі показники викидів, проведено аналіз кількісного та якісного складу викидів шкідливих речовин від плавильних агрегатів для різних технологічних процесів (розділ п'ятий);

– дослідження макро- і мікроструктури сплавів проводились методами

фазово-структурного, металографічного та рентгеноструктурного аналізів; для вивчення закономірностей газогідродинаміки течії рідкого металу в формах, наповнених вертикальними металевими елементами, використано метод фізичного моделювання на холодних рідинах; фізико-механічні властивості сплавів визначали за допомогою стандартних та оригінальних методів відповідно діючих нормативних документів;

– для дослідження процесів гідродинаміки, тепломасопереносу та твердіння сплаві у формі з макроармуючими елементами, що орієнтовані в ній, використано методи комп'ютерного моделювання.

– наведено якісне узагальнення результатів досліджень і формулювання отриманих висновків.

### **Достовірність результатів досліджень**

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується:

– коректною постановкою завдань теоретичних та експериментальних досліджень;

– системною логікою аналізу досліджуваних процесів;

– застосуванням сучасних методів визначення фізико-механічних властивостей металів і кількісної металографії;

– наукова новизна отриманих результатів визначається одержаними експериментальними даними та встановленими закономірностями;

– системним підходом до досліджуваної проблеми через аналіз не тільки технологічних, але й економічних та екологічних показників;

– наявністю промислових актів апробації.

Зазначене свідчить про достовірність результатів, наведених у дисертації Шалевської І.А.

### **До основних наукових результатів дисертації слід віднести наступне**

1. Вперше для технології лиття за моделями, що газифікуються,

розроблено фізичні моделі масо- і теплообміну рідкого і тверднучого матричного сплаву з армуючими елементами в багатокомпонентних системах «метал – модель – макроармуючий елемент – форма» при формуванні литих армованих виробів з кольорових та залізовуглецевих сплавів.

2. З використанням фізичної та гідрогазодинамічної моделі досліджено газогідродинаміку процесів видалення з піщаних форм з макроармуючими елементами в них або у полістиролових моделях твердих, рідких та парогазових продуктів термодеструкції пінополістиролу при різних режимах заповнення форми сплавом з подальшим його твердінням. При заповненні форми рідким матричним сплавом навколо кожного з армуючих елементів утворюються порові канали, які збільшують поле фільтрації і масопереносу парогазових і рідких продуктів, що видозмінює газодинаміку процесу, а також умови формування якості виливків.

3. Визначено закономірності тепломасообмінних процесів при взаємодії матричного сплаву з армуючими елементами, що розміщені у пінополістироловій моделі або в порожнині форми. На основі результатів досліджень цієї взаємодії, а також з продуктами термодеструкції полістиролу створено методику для розрахунку інтенсивності тепломасообмінних процесів у системі «матричний сплав – армуючий елемент – порові канали – протипригарне покриття – форма» та визначено коефіцієнт теплообміну з використанням критеріїв Нуссельта, Прандтля і Рейнольдса.

4. Вперше досліджено процеси тепломасообміну в новій для теорії ливарного виробництва системі «метал – армована фаза – форма» з використанням армуючих стрижнів, що орієнтовані в формі, та визначено кількісні характеристики їх взаємодії з металом:

- наявність армуючих елементів збільшує швидкості твердіння сплаву пропорційно своїй масі та об'єму в формі. При цьому значно впливають армуючі фази на процес зняття температури перегріву сплавів зі швидкістю 100 - 400 °C/c, яка у 2 - 10 разів перевищує аналогічну при охолодженні виливка в порожнистій формі (для мідних сплавів), та істотно змінюють гідродинаміку

лиття та умови формування властивостей армованих виробів;

- на процес охолодження вилівка наявність армуючої фази у формі впливає в меншій мірі. Так, співвідношення між швидкостями охолодження латунних зразків в порожнистій формі та з армуючими елементами становить 1 до (2,5 - 3,0).

5. Вперше з використанням систем комп'ютерного моделювання ливарних процесів встановлено:

- процес заповнення форм металом під надлишковим тиском носить пульсуючий характер незалежно від кількості армуючих фаз, наявність яких впливає на швидкість течії. При заповненні металом форм з армуючими елементами, які займають 20% площі перерізу вилівка, швидкість складає 0,75 - 2,0 м/с. Заповнення металом форм з армуючими елементами, площа яких складає половину перерізу вилівка, відбувається зі швидкістю 0,5 - 1,35 м/с;

- через високу інтенсивність охолодження розплаву в формі з армуючими елементами, які займають половину об'єму вилівка, швидкість конвекційних потоків за 20 с знижується до 0,12 см/с. За цей час в центрі порожнистої форми швидкість потоків становить 2,0 см/с.

6. Побудовано регресійні моделі, які встановлюють залежність кількості викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище від технологічних параметрів процесу плавлення сплавів.

7. Вперше для ливарного виробництва розроблено систему моніторингу повного циклу виробництва литих виробів з кольорових і залізовуглецевих сплавів та екології навколишнього середовища при використанні технології лиття за моделями, що газифікуються.

### **Практичне значення результатів роботи**

Створено технології та методи розрахунку їх оптимальних параметрів для одержання підвищених характеристик литих деталей. Визначено доцільне використання нових технологій, які пройшли лабораторні та дослідно-

промислові перевірки і впроваджені у виробництво ФТІМС НАН України та інших ливарних підприємств України.

У виробничих умовах ТОВ «Ливарна інженерна компанія» проведено дослідно-промислово перевірку розроблених технологій одержання виливків з підвищеними функціональними властивостями. За результатами перевірки визначено, що використання нових технологій дозволило виготовляти якісні моно- та армовано- литі виливки зі зносостійких сталей для металургійного обладнання та військової техніки, що мають високі експлуатаційні характеристики (Акт дослідно-промислової перевірки від 23.05.2018 р.).

Проведено дослідно-промислово перевірку розроблених технологій спеціальних виробів за проектом «Організація виробництва металеві частини корпусу виробів М1, М2, М3» для ТОВ «Ар.Джи.Сі», визначено рівень технологічної готовності проекту та підтверджено, що процеси одержання вказаних виробів повністю готові для освоєння на промислових підприємствах (Акт дослідно-промислової перевірки від 17.12.2019 р.). Реалізація нових технологій дозволить відмовитись від імпорту спеціальної продукції.

Результатом роботи стало створення екологічно безпечних процесів виготовлення виливків з функціональними властивостями технологією лиття за моделями, що газифікується, з використанням моно- та армованих моделей. За адаптованою методикою розрахунку економічної ефективності визначено техніко-економічні показники проекту щодо організації виготовлення виливків з функціональними властивостями методом лиття за моделями, що газифікуються, які при річній програмі визначеної номенклатури виливків 1500 тонн складають: чистий річний прибуток – 26 400 000 грн., чистий дисконтний дохід – 34 550 000 грн., терміні окупності – не більше 2 років.

### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях**

Основні наукові положення і результати, що представлені в дисертації, пройшли апробацію на конференціях: IV, IX і XI - XV міжнародних науково-практичних конференціях «Литво 2008, 2013, 2015 - 2019», (м. Запоріжжя 2008,



2013, 2015 – 2019); Міжнародній науково-технічній конференції «50 лет в Академии наук Украины: «ИЛП, ИПЛ, ФТИМС – прошлое, настоящее, будущее», (м. Київ, 2008); VI міжнародній науково-практичній конференції «Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейной индустрии», (м. Київ, 2010); I, II Міжнародних науково-практичних конференціях-виставках «Литейное производство: технологии, материалы, оборудование, экономика и экология», (м. Київ, 2011, 2012); міжнародній науково-технічній конференції «Технологія-2015», (м. Сєвєродонецьк, 2015); VII, VIII, IX міжнародних науково-технічних конференціях «Нові матеріали і технології в машинобудуванні» (м. Київ, 2015, 2016, 2017); XIV Всеукраїнській науково-практичній конференції «Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра», (м. Київ, 2016); міжнародній науково-практичній конференції «Університетська наука. Проблеми міжнародної інтеграції», (м. Сєвєродонецьк, 2017); VIII міжнародній науково-технічній конференції «Перспективні технології, матеріали та обладнання у ливарному виробництві» (м. Краматорськ, 2019); III міжнародній щорічній конференції «Fundamental Principles and Innovative Technical Solutions», (Естонія, м. Таллінн, 2019); міжгалузевій науково-практичній конференції «Проблеми якості оборонної продукції: організаційні, технічні та фінансово-економічні аспекти», (м. Київ, 2019).

За результатами дисертації опубліковано 1 монографія та 29 статей у періодичних виданнях, що входять до Переліку наукових фахових видань, затверджених МОН України, з яких 8 у виданнях іноземних держав, 1 стаття – у базі Scopus; 8 – одноосібні. Здобувач брав участь у 20 науково-технічних конференціях, результати яких опубліковані у 20 тезах і матеріалах конференцій.

Їх аналіз дає підставу вважати, що наукові положення, висновки та рекомендації, які отримані в дисертаційній роботі, повністю висвітлено в наукових працях.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації

й достатньо повно відбиває основні наукові результати, отримані здобувачем.

### **Рекомендації щодо використання результатів дослідження**

Результати досліджень: технологія та досвід практичного використання можуть бути рекомендовані для використання науковими працівниками, які спеціалізуються в галузі виробництва лиття за моделями, що газифікуються, науково-дослідними організаціями та інститутами, технологам ливарних цехів, а також використанні в навчальному процесі під час вивчення дисциплін: «Теорія ливарних процесів», «Теоретичні основи формування виливків» «Технологія спеціальних способів лиття».

**За матеріалами дисертаційної роботи можна зробити наступні зауваження:**

1. На мій погляд літературний огляд (розділ 1.4) можна було дещо скоротити, оскільки лиття в керамічні форми за моделями, що витоплюються, не є темою дисертації.

2. У розділі 2 (рис. 2.1 стор. 82) приведено схему формування поверхневих і об'ємних властивостей литих армованих конструкцій з використанням макроармуючої фази. Однак автор не обґрунтувала, чому в роботі було вибрано саме такий спосіб підведення метала.

3. У розділі 2.3 автор не пояснила чому в якості сплаву було вибрано латунь ЛЦ14КЗС3, а армуючою фазою Сталь20. Тут же не приведено розшифровки позначень  $T_1$ ,  $T_s$  та чисельні значення вихідні параметрів процесу при моделюванні в ProCast, що не дозволяє оцінити адекватність цих процесів.

4. У розділі 2.5 при моделюванні в системі LVM Flow не вказані вихідні параметри процесу.

5. У формулах 2.10, 2.13 використовується позначення діаметр армуючої фази та порового каналу, чи можна використати ці рівняння для іншої форми армуючих елементів?

6. У розділі 3 на стор. 179 наведено системні зв'язки та точки знімання параметрів від устаткування формувальньо-заливального, модельного та плавильного відділень, у додатку Б - точки знімання інформації, параметри роботи устаткування і технологічних операцій плавильного та формувальньо-заливального відділень. Вважаю, що доцільно було б розробити систему системи збору інформації для всього ливарного комплексу, включаючи фінішні операції.

7. З тексту розділу 3.2 не ясно які параметри управління якістю Ви оптимізуєте. При проведенні оптимізації необхідно перш за все поставити критерій ефективності процесу. На рис. 3.2 немає розшифровок основних характеристик якості литих конструкцій.

8. Розділ 4. Не вказано в яких умовах було проведено дослідження утворення викидів забруднюючих речовин від плавильних печей (стор. 207), а також не наведено методики визначення кількості шкідливих речовин та технологічних параметрів плавлення. З тексту розділу 4 не зрозуміло, як визначалась кількість шкідливих викидів при заливці і охолодженні виливків з форм при ЛГМ процесі.

9. Бажано було б у розділі 5 привести перелік показників функціональних властивостей для виробів М1, М2, М3. Вважаю, розділ 5 декілька перевантажений знімками обладнання, що не несуть вагомої інформації.

Наведені зауваження не мають принципового значення для загальної позитивної оцінки розглянутої дисертаційної роботи.

Дисертація відповідає вимогам Департаменту атестації кадрів МОН України.

### **Загальні висновки**

Дисертаційна робота Шалевської Інни Анатоліївни “Комплекс технологічних процесів екологічно безпечного виробництва виливків з прогнозованими функціональними властивостями за моделями, що газифікуються” за своїм змістом та напрямом досліджень відповідає паспорту

спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво.

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка надає нове рішення науково-технічної проблеми обґрунтування та удосконалення технології одержання виливків за моделями, що газифікуються, з підвищеними експлуатаційними характеристиками, прогнозованою якістю та моніторингом екологічного стану на основі розроблених наукових обґрунтувань тепломасообмінних та гідродинамічних процесів в ливарній формі.

Дисертаційна робота містить раніше не захищені наукові положення і одержані автором нові науково обґрунтовані результати з теорії та практики ливарного виробництва, які в сукупності вирішують важливу науково-прикладну задачу підвищення якості литих виробів.

Дисертаційна робота відповідає вимогам п. 9, 10, 13 Постанови Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р., № 567 «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а також нормативним документам ДАК України щодо докторських дисертацій, а здобувачка Шалевська Інна Анатоліївна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.04 – ливарне виробництво.

Офіційний опонент,  
професор кафедри «Ливарне виробництво»  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»  
доктор технічних наук, професор

