

## ВІДГУК

офіційного опонента Лук'яненка Івана Віталійовича  
на дисертацію Небожака Івана Анатолійовича  
«Інокулювання ливарних сплавів з використанням  
дисперсно-наповненої моделі, що газифікується», подану на здобуття  
наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.16.04 – Ливарне виробництво

### Актуальність теми дисертації

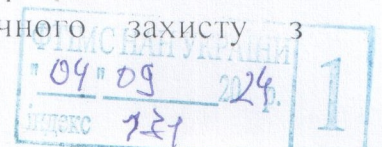
#### та відповідність роботи спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво

Для реалізації сучасних технологічних процесів промисловість потребує вироби із металу, фізико-механічні й спеціальні властивості яких були б неоднорідними по поверхні чи об'єму. Це зумовлено, перш за все, умовами експлуатації деталі, її собівартістю та деякими іншими чинниками. Такому комплексу різноманітних, а іноді й полярно протилежних вимог, відповідають лише вироби із диференційованими та спеціальними властивостями, оскільки одночасно усі ці властивості не може мати жодна монолітна деталь. Проте, виготовлення таких виробів традиційними методами (механічним з'єднанням, зварюванням, спаюванням, наплавленням, напиленням, термічним та хіміко-термічним обробленням, тощо) – у цілому процес тривалий та неекономічний.

Виробництво виробів із диференційованими та спеціальними властивостями литтям дозволяє уникнути вказаних недоліків. Найперспективнішим методом їх виготовлення є ЛГМ-процес. Крім того за такою технологією модель, що газифікується можна отримувати у порожнині прес-форми із гранульованого модельного матеріалу. Ці обставини дозволили вводити до складу моделі дисперсні присадки, і тим самим вирішити двоєдину задачу – здійснювати інокулювання матричного розплаву у «порожнині» ливарної форми та проводити утилізацію пиловидних відходів феросплавної галузі. Імпантування інокуляторів у модель на практиці зводиться до холодного плакування поверхні гранул модельного матеріалу дисперсними феросплавами перед їх задуванням або засипанням до порожнини прес-форми.

### Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами

Дисертація виконана відповідно до плану проведення науково-дослідних робіт у ФТІМС НАН України, а саме: № 1.6.5.480 «Розробка методів оптимізації і керування процесами структуроутворення і якістю виливків на базі методів імплантації модифікуючих, легуючих та армуючих компонентів у формі з газифікованою піномоделлю», 2001...2004 р.р. (№ ДР 0205U004497); № III-4-02.501 «Створення теоретичних основ і технологічних методів підвищення об'ємних і поверхневих властивостей литих виробів з чорних і кольорових сплавів», 2002...2006 р.р. (№ ДР 0207U006017); № III-17. 04.536 «Розробка теоретичних і технологічних основ одержання виливків з керованою структурою і властивостями у ливарних формах з диференційованими теплофізичними характеристиками», 2004...2008 р.р. (№ ДР 0209U008369); № III-32-07.568 «Теоретичні і технологічні основи одержання одно- і багат шарових литих армованих конструкцій біологічного захисту з



корозійностійких, високоміцних, легованих чавунів і сталей для атомних електростанцій, перевезення і захоронення радіоактивних відходів з використанням радіоактивного металу зони відчуження Чорнобильської АЕС», 2007...2009 р.р. (№ ДР 0212U005040); № III-19-18-683 «Наукові та технологічні засади створення високопродуктивних ливарних процесів одержання литих конструкцій із залізвуглецевих і кольорових сплавів та розробка концепції ливарних роторно-конвеєрних комплексів», 2018...2020 р.р. (№ ДР 0118U003787).

### **Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації**

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Небожака 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), опис та розроблення методологічного підґрунтя (розділ другий), обґрунтування та результати проведених досліджень (третій, четвертий та п'ятий розділи);

- оброблення даних з дослідно-експериментальної частини та побудова графіків отриманих результатів досліджень, комп'ютерне математичне моделювання здійснюються з використанням комп'ютерних програм;

- наведено якісне узагальнення результатів досліджень і формулювання отриманих висновків.

Достовірність результатів ДР була забезпечена застосуванням стандартних та оригінальних методик, реалізація яких здійснювалась завдяки використанню сучасного лабораторного обладнання та устаткування.

### **Наукові результати дисертації**

Під час виконання завдання досліджень здобувачем одержано результати, які мають практичне й науково-технічне значення:

1. Запропоновано комплексну методику дослідження впливу гідро-, газодинаміки ЛГМ-процесу на показники засвоєння  $Si$  рідким металом, доведено зміну параметрів мікроструктури сірого чавуну марки СЧ300 та його твердості у контрольній площині литих зразків, а також встановлено, що коефіцієнт засвоєння  $Si$  матричним розплавом менший за більшого вмісту дисперсного феросиліцію марки ФС75 у «тілі» моделі, що газифікується, що нівелюється тривалістю існування рідкої фази.

2. Проведено регресійний аналіз результатів повнофакторного експерименту, на основі якого вперше встановлено функціональний зв'язок технологічних параметрів ЛГМ-процесу з показниками засвоєння  $Si$  матричним розплавом, параметрами мікроструктури сірого чавуну марки СЧ300 та його твердістю.

3. Удосконалено методику процесів графітизуючого й сфероїдизуючого модифікування чавуну, легування матричного розплаву дисперсним ферохромом марки ФХ650А, порошками міді марки ПМС-К, ферованадію

марки ФВд40У0,75 та феротитану марки ФТи70С1, що дозволило розширити уявлення про особливості структуроутворення сірого й високоміцного чавунів марок СЧ250 й ВЧ500-7, відлити жаростійкий *Cr*-чавун марки ЧХ1, сірий чавун марки СЧ200 з перлітно-феритною основою та зносостійку складнолеговану сталь марки 75ХФТЛ, відповідно, а також визначити їх механічні й триботехнічні характеристики.

4. Виявлено перехідну зону товщиною 0,15...0,18 мм між функціональними шарами двомірного литого композиційного матеріалу системи СЧ300-См3-ЧХ3, встановлено раніше невідомі залежності макро-, мікроструктури і твердості композитного вилівка від гідро-, газодинаміки ЛГМ-процесу, що дало змогу констатувати дифузійний характер зв'язку між армуючою фазою й *Fe*-матрицею, обґрунтувати його структуру та властивості.

5. Вперше розкрито механізм композиційного зміцнення поршневого *Al*-сплаву марки АК12М2МгН та силуміну евтектичного складу марки АК12 дисперсним інтерметалідом *FeCr*, який базується на адгезійно-механічному типі зв'язку АФ з *Al*-матрицею, що забезпечує оптимальну мікроструктуру та високі механічні й триботехнічні характеристики нульмірного ЛКМ системи *Al-FeCr*.

6. Доведено можливість армування ливарної *Si*-латуні марки ЛЦ16К4 дисперсним інтерметалідом *FeCr*, що дозволило вперше отримати нульмірний ЛКМ системи *Cu-FeCr*, який має оптимальну мікроструктуру, номінальну твердість та вищі чим у контрольного вилівка триботехнічні властивості.

### Практичне значення результатів роботи

Одержані ливарні сплави та композити у машинобудуванні можуть бути використані як конструкційні матеріали. Область їх можливого застосування наведена нижче:

1. СЧ300 + ФС75, СЧ250 + ФС75: деталі машин і механізмів загального призначення (корпусні деталі); декоративно-прикладне й художнє литво.

2. СЧ200 + ПМС-К: елементи гідравлічних систем, що працюють в умовах надлишкового тиску (корпуси насосів, клапанів, гідророзподілювачів, гідрозамків); деталі машин і механізмів, які експлуатують при підвищених динамічних навантаженнях (канатні блоки, намоточні барабани, шківни, шестерні, зірочки).

3. ЧХ1 ДСТУ 8851:2019: у теплотехніці для виготовлення елементів пічної апаратури, що знаходиться під впливом підвищених температур (дверцята твердопаливних котлів, колосникові решітки, футерівка камер згорання).

4. ВЧ500-7 ДСТУ 3925:1999: деталі машин та механізмів, які працюють в умовах високих механічних навантажень [корпуси підшипників, колінчаті вали, шатуни, штоки двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) й поршневих компресорів].

5. 75ХФТЛ ТУ 4112-78269737-001-2005: зносостійкі елементи бетонозмішувачів, млинів, дробарок (лопатки, скребки, футерівка, розмельні тіла, бронеплити).

6. ЛКМ системи *Al-FeCr*: деталі машин й механізмів, які працюють в умовах абразивного зношування й сухого тертя (корпуси і робочі колеса

насосів та вентиляторів для, відповідно, перекачування й вентиляції абразивного середовища; вузли тертя; захисні покриття з підвищеною зносостійкістю; ведучі і ведені колеса стрічкових пилорам), а також високих контактних навантажень (зірочки ланцюгових передач, шестерні шестерних насосів й зубчастих передач, поршні ДВЗ і компресорів).

7. ЛКМ системи *СЧ300-Сm3-ЧХ3*: деталі машин та механізмів, у яких в умовах сухого тертя й абразивного зношування працює лише одна поверхня (форми для виготовлення цегли, циліндри ДВЗ і компресорів, борошномельні валки).

На замовлення ТОВ «НВК «Агропромдеталь» відпрацьовано технологію інокулювання ливарних сплавів і впроваджено у промислове виробництво дослідно-експериментальну партію реальних виливків із сірого чавуну марки СЧ300 ДСТУ 8833: 2019, жаро-, зносостійкого *Cr*-чавуну марки ЧХ3 ДСТУ 8851:2019, а також нульмірного ЛКМ системи *Al-FeCr*. Механічна обробка придатного литва та виробничі випробування готових деталей були здійснені на потужностях ПП «НТП «Кварц», які потім були реалізовані ТОВ «Українська спецкомпанія». Впровадження результатів дисертаційної роботи у виробництво підтверджено відповідними актами.

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

Основні положення та результати досліджень дисертації Небожака І. А. викладено у 32 наукових роботах, з них 15 – у наукових фахових виданнях, 1 – у виданні, що індексується в міжнародних наукометричних базах Scopus, Web of Science, 15 – у збірниках матеріалів міжнародних та українських конференцій, 1 – патент України на корисну модель.

Зміст автореферату повністю ідентичний основним положенням дисертації і відображає основні її наукові результати, що отримані здобувачем.

#### **Апробація результатів дисертації**

Результати виконаної роботи доповідалися та / або були представлені здобувачем на: Міжнародному науково-технічному конгресі «Литейное производство в новом веке – как победить в конкуренции». Київ, 2002; Міжнародному науково-технічному конгресі «Литейное производство: высококачественные отливки на основе эффективных технологий». Київ, 2004; III Міжнародному конгресі по трибології «WTC-2005». Вашингтон, 2005; Міжнародному науково-технічному конгресі «Экономический путь к высококачественному литью». Київ, 2005; XII Міжнародній науково-практичній конференції «Литьє-2016». Запоріжжя, 2016; XIV Міжнародній науково-практичній конференції «Литво. Металургія. 2018». Запоріжжя, 2018; XVII Міжнародній науково-практичній конференції «Литво. Металургія. 2021». Запоріжжя, 2021; XV Міжнародній науково-технічній конференції «Нові матеріали і технології в машинобудуванні». Київ, 2023; XIX Міжнародній науково-практичній конференції «Литво. Металургія. 2023». Харків, 2023; XII Всеукраїнській науково-технічній конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент: збірник наукових праць». Житомир, 2023; XX Міжнародній науково-практичній конференції «Литво. Металургія. 2024». Харків, 2024.

### Зауваження по дисертаційній роботі.

За дисертаційною роботою можна зробити наступні зауваження:

1. «Перелік скорочень, умовних позначок, одиниць і термінів» містить елементи, які не зустрічаються у тексті роботи, наприклад, ВАК – вища атестаційна комісія. Або скорочення, яке позначають два терміни одночасно, наприклад, КВ – композиційний вилівок, конусна воронка.

2. Матеріал досліджень перевантажений надлишковою інформацією, що ускладнює його сприйняття.

3. Останній рисунок четвертого розділу роботи має номер 4.15, хоча у тексті останнім у цьому розділі згадується рисунок із номером 4.18.

4. Використано нормативні документи, що втратили чинність в Україні, наприклад, замість ГОСТ 4960:2017 слід застосовувати ДСТУ ГОСТ 4960:2019, замість ГОСТ 1778-70 – ДСТУ ISO 4967:2017, замість ГОСТ 8233-56 – ДСТУ 9074:2021, замість ГОСТ 5639-82 – ДСТУ 8972:2019, замість ГОСТ 9450-76 – ДСТУ ISO 6507-1:2007, замість ГОСТ 28033-89 – ДСТУ 8899:2019, замість ГОСТ 1497-84 – ДСТУ EN ISO 6892-1:2022, замість ГОСТ 9012-59 – ДСТУ ISO 6506-1:2019.

5. В огляді літератури нерозкриті існуючі технології виготовлення біметалічних та шаруватих виливків, їх переваги та недоліки, хоча це напряду стосується тематики роботи.

6. У другому розділі на ст. 89 автор не наводить методику виготовлення моделей, що газифікуються, а посилається на літературні джерела, хоча вона є важливим аспектом для досліджень, відображених у роботі: «Методика виготовлення ГМ з імплантованими дисперсними феросплавами (ФС75, ФХ650А, ФСМг7, ФВд40У0,75, ФТи70С1), Си-порошком марки ПМС-К й дисперсним інтерметалідом  $FeCr$  є аналогічною тій, яка описана у роботах [230, 233, 245]».

7. Окремі елементи роботи, що стосуються винятково методики проведення досліджень наведені у експериментальних розділах.

8. В методиці одержання експериментальних виливків не зазначено їх геометричні розміри, що ускладнює розуміння їх габаритних розмірів.

9. У другому розділі зазначено, що зразки вирізали за допомогою ручної кутової електрошліфувальної машинки. Однак такий спосіб підготовки зразків для подальших досліджень може спотворювати кінцеві результати, що обумовлено перегріванням зразків у місці різання.

10. Наявність структурно вільного цементиту у виливку з модифікованого дисперсним феросиліцієм чавуну в області контакту із живильником не дозволяє отримати виливки без вибілення у литому стані і потребує додаткового термічного оброблення.

11. На рис. 3.6, б, г побудовані криві виходять на поле графіку.

12. У роботі не наведено пояснення причин зміни твердості у контрольній площині литих зразків із білого чавуну (рис. 3.7, б).

13. На наведених у роботі зображеннях мікроструктур доречно було б додати шкалу для кращого сприйняття розмірів окремих структурних складових.

14. Для представлення результатів вимірювання твердості за Брінеллем у роботі використовуються позасистемні одиниці.

15. Для сфероїдизувального модифікування та отримання вилівка із чавуну ВЧ 500-7 застосовано чавун із вмістом сірки 0,12 %, хоча рекомендований вміст сірки не повинен перевищувати 0,02 %.

16. У третьому висновку до третього розділу сказано, що мікроструктура у вилівку залежить від місця підведення матричного розплаву, хоча із тексту роботи не зрозуміло чи проводились дослідження, які пов'язані із зміною місця підведення.

17. На рисунках, які ілюструють результати досліджень у вигляді залежностей відсутні довірчі інтервали.

18. У тексті роботи не наведено обґрунтування вибору дисперсного інтерметаліду FeCr для нульмірного армування литих композиційних матеріалів на основі алюмінію.

19. Відсутність порівняння властивостей, отриманих за розробленими дисертантом технологіями, композиційних матеріалів із властивостями існуючих на сьогодні аналогів дещо знижує значимість результатів роботи.

#### **Рекомендації щодо подальшого використання результатів роботи**

Результати дисертаційної роботи Небожака І. А. можуть бути рекомендовані працівникам ливарних цехів, центральних заводських лабораторій, відділам головного металурга профільних підприємств з виробництва чавунних виливків загальномашинобудівного призначення, аспірантам і докторантам зі спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво, науковцям, а також викладачам коледжів та вищих навчальних закладів для використання у навчальному процесі для викладання відповідних розділів освітніх компонентів.

#### **Оцінка мови, стилю й оформлення дисертації**

Дисертація написана державною мовою, витримано науковий стиль мовлення, що забезпечує доступність і легкість сприйняття викладених в ній матеріалів досліджень, наукових положень, висновків, розробок, рекомендацій тощо.

Дисертація та автореферат оформлені відповідно до вимог щодо кандидатських дисертацій.

#### **Відповідність змісту дисертації спеціальності**

Дисертаційна робота Небожака Івана Анатолійовича на тему «Інокулювання ливарних сплавів з використанням дисперсно-наповненої моделі, що газифікується» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво.

#### **Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам**

Дисертація Небожака Івана Анатолійовича є завершеною кваліфікаційною науковою роботою, що має внутрішню єдність, характеризується системністю нових знань щодо об'єктивних законів природи, базується на фундаментальних положеннях сучасної науки і свідчить про особистий внесок автора в науку,

містить нові науково обґрунтовані результати, які не викликають сумніву.

Отримані в дисертаційній роботі результати у сукупності розв'язують актуальну науково-технічну проблему, яка полягає утилізації дисперсних частинок інокуляторів та модифікаторів, які утворюються у процесі їх подрібнення, створенні та науковому обґрунтуванні технологій виготовлення литих композиційних матеріалів на основі алюмінії та міді.

Зроблені зауваження та побажання не мають принципового характеру до суті дисертації і не знижують її загальної позитивної оцінки.

Наукові положення дисертації, висновки та рекомендації є достовірними та відповідають об'єктивній дійсності.

Мова та стиль дисертації відповідають вимогам до науково-технічних текстів та публікацій.

Зміст автореферату повністю відповідає тексту дисертації, а основні наукові положення, що містяться в них, ідентичні.

Дисертаційна робота відповідає всім вимогам пунктів 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого Постановою КМУ № 567 від 24.07.2013 року, а також іншим вимогам МОН України щодо кандидатських дисертацій є закінченою кваліфікаційною науковою роботою, а її автор Небожак Іван Анатолійович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.04 – Ливарне виробництво.

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук  
доцент кафедри ливарного виробництва  
Навчально-наукового інституту  
матеріалознавства та зварювання  
ім. Є.О. Патона,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

*І.В. Яценко*

