

ВІДГУК

офіційного опонента Шинського Олега Йосиповича
на дисертаційну роботу

*Скідіна Ігоря Едуардовича «Технологічні основи поверхневого легування
випливів шляхом одержання функціональних шарів із термітних розплавів»,*
яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.16.04 – Ливарне виробництво

1. Актуальність теми дисертації та відповідність роботи спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво.

Актуальність теми дисертації. В сучасній техніці широко використовуються деталі з поєднанням функціональних властивостей, що дає змогу суттєво підвищити ресурс, надійність і економічну перевагу різновидів машин, механізмів та агрегатів в умовах екстремальної експлуатації, включаючи інтенсивне зношування, високі температури та агресивних середовищ (теплоенергетика, металургія, гірничо-збагачувальна й хімічна промисловість). Одним з надфективних і економічно доцільних методів одержання складних деталей з поверхневими функціональними прошарками є використання ливарних технологічних процесів.

Виробництво випливів з різними функціональними властивостями здійснюється різними способами: послідовного або одночасного заливання розплавів у ливарну форму. Більшість цих технологій потребує одночасного плавлення розплавів різного хімічного складу в окремих плавильних агрегатах і використання операцій додаткової обробки розплавів, що ускладнює технологічний процес виготовлення випливів з функціональними шарами.

Також значна увага дослідників приділяється розробці технологічних процесів виготовлення випливів з поверхневими функціональними шарами, зокрема зносостійкими, властивості яких надаються шляхом їх поверхневого легування, за цих умов не можливо отримати поверхневий прошарок з диференційними властивостями, що перевищує 10 мм, що в подальшому є

межею зростання ресурсу литих конструкцій.

Разом з тим, застосування методів металотермії для синтезу розплавів заданого хімічного складу і отримання виливків з легованими функціональними шарами та створення цих прошарків регульованої товщини і, відповідно, їх ресурсу і надійності є ефективним напрямом розвитку наявних технологій щодо одержання литих виробів з заданими функціональними характеристиками. Водночас даний процес не потребує потужних джерел електроенергії, складного технологічного обладнання і при цьому забезпечує високу продуктивність.

Проте проблема прогнозованості структур синтезованих сплавів та керуваності значною часткою їх фізичних, механічних та службових властивостей обмежує використання металотермічних процесів у промисловій практиці ливарників, а тому дисертаційна робота, що спрямована на розроблення технологічних основ поверхневого легування виливків шляхом одержання та лиття функціональних шарів із термітних розплавів є важливою та актуальною.

Зв'язок роботи з науковими планами, темами. Актуальність дисертаційної роботи підтверджується тим, що її виконання пов'язано з тематичними планами Криворізького національного університету, зокрема за темою «Дослідження технологій отримання ливарних сплавів з особливими властивостями» (держреєстрація № 0116U001857).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є обґрунтування технологічних параметрів одержання й лиття легованих хромом функціональних шарів із термітних розплавів для виготовлення та відтворення виливків.

Досягнення поставленої мети в дисертації передбачає вирішення наступних завдань:

- проаналізувати відомі способи, які забезпечують поверхневе легування в одержуваних з термітного розплаву функціональних шарах;
- виконати термодинамічний аналіз взаємодії компонентів термітної

шихти для визначення її оптимального складу, який дозволяє отримувати функціональний шар із заданими якісними параметрами;

– встановити оптимальні параметри підігрівання системи «вилівок – форма-реактор» для отримання якісної зони сплавлення при мінімальних витратах термітної суміші;

– встановити закономірності формування структури функціонального шару та зони сплавлення з тілом (основою) вилівка залежно від керованих технологічних параметрів;

– розробити рекомендації щодо технологічного процесу поверхневого легування вилівоків шляхом утворення функціонального шару із заданими властивостями.

2. Новизна наукових положень і результатів, отриманих особисто здобувачем і поданих на захист

Здобувачем одержано наступні важливі наукові результати:

1. Подальшого розвитку набули уявлення щодо калорійності алюмотерміту на основі окалини та порошку алюмінію: обґрунтовано доцільність використання надлишку тепла реакцій (448 кДж/кг) на плавлення додатково введених у шихту порошоків заліза та хрому, завдяки чому зменшуються втрати заліза через кипіння і стає можливим керування властивостями сформованого шару.

2. Уперше обґрунтовано вплив температури й кількості введених до алюмотермітної шихти порошоків заліза та хрому на якісно-кількісні показники сформованого із термітного розплаву функціонального шару вилівоків: при нагріванні системи «вилівок – форма-реактор» до 873 К і збільшенні в шихті порошку заліза з 20 до 40 % від маси терміту забезпечується підвищення густини сплаву на 33 % (до $7,05 \cdot 10^3$ кг/м³) та зменшення його пористості на 17,3 %; уведення порошку хрому в кількості 12,8 % від маси терміту забезпечує можливість отримання в сплаві 22,5 % хрому, а при заміщенні його кожної десятої частини порошком заліза – приріст кількості сплаву на 0,9 %.

3. Подальшого розвитку отримали уявлення про вплив температури системи «виливок – форма – реактор» на процес формування шару термітного розплаву та його сплавлення з поверхнею деталі: теоретично встановлено та експериментально підтверджено, що при граничній температурі 873 К у формі-реакторі реалізуються температуро-часові умови утворення розплаву у кількості, яка, залежно від поставлених завдань, забезпечує металевий зв'язок у перехідній зоні сплавлення, задану товщину функціонального шару, рівномірний розподіл легуючих елементів, вихід газових неметалевих включень та цілісність стінок виливка у разі його відновлення.

4. Подальшого розвитку отримали уявлення про структуроутворення алюмотермічного функціонального шару виливків: обґрунтовано якісно-кількісний склад зміцнювальних фаз залежно від складу компонентів шихти (для шихти на основі заліза – цементит – 47,5 % та корунд – 13,5 %; для шихти на основі хрому – легований хромом цементит – 33,0 % та корунд – 19,0 %).

5. Отримали подальшого розвитку уявлення щодо утворення неметалевих включень у сплавах на основі заліза, одержаних із використанням алюмотермії: теоретично встановлено та експериментально підтверджено, що переважно всі первинні включення корунду ($r_k=2,095 \cdot 10^{-8}$ см), які спливають зі швидкістю 1,69 см/с, концентруються на поверхні термітного розплаву, а вторинні включення через низьку швидкість спливання $1,59e^{-3}$ см/с – залишаються в розплаві й слугують центрами для гетерогенного зародження включень карбиду хрому ($r_k=4,032 \cdot 10^{-8}$ см) і відіграють роль інокулюючого модифікатора.

Особистий внесок здобувача. Дисертація виконана автором самостійно. Усі наукові і практичні результати базуються на дослідженнях, що проведені особисто здобувачем. Здобувач безпосередньо є розробником технології поверхневого легування виливків, одержаних із термітного розплаву функціональним шаром. Особистий внесок здобувача в роботах, що

опубліковані у співавторстві, полягає у виборі об'єкта досліджень, обробленні та аналізі одержаних даних [1, 4, 6]; розробленні методики проведення експериментів та участі у лабораторних дослідженнях [2, 5]; участі у проведенні експериментів, здійсненні аналізу результатів [3, 8]; проведенні досліджень на підприємствах та визначенні основних параметрів технологічного процесу [4, 7].

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення і результати, що представлені в дисертації, пройшли апробацію на конференціях за участю Здобувача: Міжнародна науково-технічна конференція «Нові матеріали і технології в машинобудуванні» (м. Київ, 2012 р., 2017 р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток промисловості та суспільства» (м. Кривий Ріг, 2015 р., 2017 р.); XII Міжнародна науково-практична конференція «Литво» (м. Запоріжжя, 2016 р., 2017 р.); VI Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології промислового комплексу – 2020» (м. Херсон, 2020 р.); Міжнародна науково-практична конференція «Біоекономіка як ключовий фактор розвитку виробництва та екологізації промислового регіону» (м. Запоріжжя, 2020 р.).

3. Обґрунтованість і достовірність наукових результатів і рекомендацій, що сформульовані у роботі, забезпечуються науковим підходом до проведення експериментів і досліджень з використанням сучасних методик, математичних методів і комп'ютерних програм. Застосування сучасних методів дослідження та узгодження розрахункових даних з експериментальними гарантує достовірність наукових результатів, яка підтверджена успішною дослідно-промисловою перевіркою розроблених технологій. За науковим вмістом, достовірністю та обґрунтованістю основних положень робота Скідіна Ігоря Едуардовича «Технологічні основи поверхневого легування виливків шляхом одержання функціональних шарів із термітних розплавів» повністю відповідає вимогам до кандидатських дисертацій.

4. Практичні результати роботи, їх рівень і ступінь використання

На основі досліджень закономірностей та особливостей впливу основних технологічних факторів на експлуатаційні характеристики литих виробів з поверхневим зносостійким прошарком реалізовано новий технологічний процес та при цьому визначено:

1. Граничні температуро-часові умови утворення розплаву з термітної шихти, при яких, залежно від поставлених завдань, забезпечується металевий зв'язок у перехідній зоні сплавлення, задана товщина функціонального шару, рівномірний розподіл легуючих елементів, видалення газових включень, цілісність відновлюваного виливка.

2. Експериментально підтверджено склади шихти для одержання в реакційній формі необхідної кількості перегрітих розплавів заданого хімічного складу, що формують функціональний шар на поверхні виливка.

3. Показано можливість отримання функціонального шару, мікроструктура якого представлена ферито-перлітною матрицею із зміцнювальними фазами у вигляді карбіду заліза (цементит), глинозему (корунд) та легованого хромом цементиту залежно від складу компонентів шихти.

4. Розроблено методику розрахунку термодинамічних особливостей утворення неметалевих включень у сплавах на основі заліза, одержуваних із використанням алюмотермії, на підставі якої вивчено механізм структуроутворення.

5. Розроблено універсальну технологію поверхневого легування виливків та відновлення їх робочих зон, яка ґрунтується на литті термітного розплаву, який отримується позапічним методом, на поверхню різного профілю й дозволяє сформувати на ній легований хромом функціональний шар різної товщини.

Результати роботи пройшли промислові випробування на підприємстві ТОВ «Гормашремонт», м. Кривий Ріг (акт від 20.09.2020 р.) та ПП «Колбі» м. Кривий Ріг (акт від 22.05.2019 р.). Підтверджено переваги розробленого технологічного процесу виготовлення литих деталей з вуглецевих сталей та

легованою хромом поверхнею, яка утворюється внаслідок формування з термітного розплаву функціонального шару із заданими фізико-механічними властивостями.

Запропоновані методики й теоретичні напрацювання впроваджено в навчальний процес Криворізького національного університету під час оновлення змісту освітніх компонентів: «Моделювання ливарних процесів», «Спеціальні види литва», «Сталеве литво».

Основні положення дисертаційної роботи викладені в 19 друкованих працях, з них 7 статей у наукових фахових виданнях, 1 у виданні, що входить до наукометричної бази Scopus, 11 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, викладених на 135 сторінках, загальних висновків, списку літературних джерел із 106 найменувань, 1 додатку. Робота містить 44 рисунки і 21 таблицю.

Аналіз друкованих праць в фахових журналах та доповідей на вітчизняних і міжнародних конференціях дають підставу вважати, що наукові положення, висновки та рекомендації, які отримані в дисертаційній роботі Скідіна Ігоря Едуардовича, повністю висвітлено в наукових працях.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації та достатньо повно відбиває основні наукові результати, отримані здобувачем.

Рекомендації щодо використання результатів дослідження.

Результати досліджень, наведених у дисертації *Скідіна Ігоря Едуардовича* щодо створення технологічних процесів поверхневого легування виливків шляхом одержання функціональних шарів із термітних розплавів, а також досвід дисертанта практичного використання своїх розробок у виробництві доцільно у подальшому використати при виготовленні литих деталей на вітчизняних ливарних підприємствах, в першу чергу, для створення та ремонту техніки гірничо-збагачувального комплексу України.

Результати досліджень щодо створення технології та досвід практичного використання виробництва литих виробів з функціональними шарами із термітних сплавів можуть бути рекомендовані для використання науковими працівниками спеціалізованих кафедр і наукових установ, інженерно-технічними спеціалістами підприємств, які займаються виробництвом виливків із зносостійких сплавів, а також в навчальному процесі під час вивчення дисциплін: «Моделювання ливарних процесів», «Спеціальні види литва», «Сталеве литво».

За матеріалами дисертаційної роботи можна зробити наступні зауваження

1. Деякі пункти розділу « Наукова новизна» носять декларативний характер і не відтворюють суть новизни особистих досліджень, принаймні, п.1 (стор. 19 дисертації): « Подальшого розвитку набули уявлення щодо калорійності алюмотерміту на основі окалини та порошку алюмінію...: завдяки чому зменшуються втрати заліза через кипіння і стає можливим керування властивостями сформованого шару».
2. Дисертант не визначився і не обґрунтував вибір сплавів, зокрема дослідницького для функціонального шару виливка, принаймні, потрібно було зосередитись на групі зносостійких легованих чавунів з різним вмістом хрому відповідно ДСТУ 8851:2019, що дало б автору змогу встановити переваги над монолітими аналогами і створити привабливі умови для споживача високоякісної та конкурентно спроможної продукції для європейського ринку.
3. В розділі 2.2.3 «Методики досліджень» надто велику увагу автор приділяє опису методики 2.2.3. «Модель визначення температурних полів в основному та функціональному шарі виливка» (стор.52...60), при цьому відсутні посилання щодо визначення експлуатаційних характеристик безпосередньо литої двошарової конструкції, як кінцевого продукту, що надається споживачеві.

4. В розділі 3.3. Температуро-часові параметри у системі «виливок – форма-реактор» (стор.80..83) автор дисертації велику увагу надав вивченню формування температурного поля на межі «поверхневий шар- виливок», що є основою двошарової литої конструкції і сприймає весь комплекс навантажень при експлуатації таких конструкцій, але відсутні данні щодо масштабного фактору, як співвідношення «функціональний прошарок-основа конструкції» і, особливо, зміни в структурі та механічних властивостей при таких високотемпературних навантаженнях при утворенні поверхневого навантаження понад 2000 К (рис.3.7).

5. При вивченні контактного прошарку з термітного хромистого сплаву насторожує високий рівень поруватості (до 20%, рис.13...рис.19, стор. 88...92), що зазвичай цілковито впливає на ресурс такого функціонального шару у біметалевому виливку, а тому потрібно було більш детально пошарово визначити межі робочого зносостійкого сплаву, що контактує з конструкційною основою і визначити граничну межу (товщину) суцільного шару для подальших рекомендацій щодо конструкції двошарових виливків з високим рівнем ресурсу і надійності.

6. У п'ятому розділі, який є заключним та спрямований на створення доказової бази щодо готовності роботи до практичного використання наукової частини дисертації, досить обмежено наведені данні щодо промислових перевірок створених технологічних процесів одержання двошарових виливків з зносостійким шаром з хромистого чавуну на сталевій конструкційній основі, а це не дає можливості визначитись з напрямком використання та привабливості нової продукції для споживача, де одним з перспективних є гірничо збагачувальний комплекс України.

7. Відсутність у роботі техніко-економічного обґрунтування реалізації нової технології та різновидів конструкцій біметалевих виливків на сталевій основі не визначили переваги її перед вже відомими аналогами, які широко використовуються у ливарній практиці для створення високоефективних литих конструкцій складного профілю з поверхневим функціональним

прошарком, що дає змогу суттєво підвищити ресурс і надійність машин і агрегатів, які працюють в екстремальних умовах.

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 Скідіна Ігоря Едуардовича «Технологічні основи поверхневого легування виливків шляхом одержання функціональних шарів із термітних розплавів» за своїм змістом та напрямом досліджень відповідає паспорту спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво.

В дисертації Скідіна Ігоря Едуардовича на тему «Технологічні основи поверхневого легування виливків шляхом одержання функціональних шарів із термітних розплавів» вирішено актуальну та важливу науково-технічну проблему щодо створення енергозберігаючої технології одержання сталевих виливків з функціональними поверхневими прошарками з зносостійких хромистих сплавів для серійного та масового виробництва литих конструкцій, що працюють в екстремальних умовах для потреб гірничо-збагачувального комплексу, військової техніки, машин і агрегатів агропромислового комплексу та загального машинобудування на основі розробленого дисертантом нового технологічного напрямку *щодо поверхневого легування виливків шляхом одержання функціональних шарів із термітних розплавів*. Весь технологічний цикл пройшов апробацію при відновленні та виробництві литих деталей взамін монолітичних з традиційних легованих чавунів і високо марганцевистих сталей, що дає змогу суттєво підвищити ресурс обладнання, яке широко використовується у гірничо-збагачувальному комплексі, що дало змогу дисертанту доказово і об'єктивно встановити переваги створеної ним технології одержання двошарових виливків із поверхневим зносостійким шаром на основі створеної дисертантом технології поверхневого легування шляхом одержання

функціональних шарів із термітних розплавів.

Тому вважаю, що дисертаційна робота *«Технологічні основи поверхневого легування виливків шляхом одержання функціональних шарів із термітних розплавів»* за своєю вагомістю, новизною наукових результатів, їх практичним значенням, кількістю та обсягом публікацій відповідає вимогам п. 9, 11, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567 (зі змінами), щодо кандидатських дисертацій, а її автор, *Скідін Ігор Едуардович*, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.04 – ливарне виробництво.

Офіційний опонент
д.т.н. проф., завідувач
відділом фізико-хімії ливарних процесів
Фізико-технологічного інституту
металів та сплавів НАН України

Шинський О.Й.

Підпис д. т. н, проф. Шинського О.Й. засвідчую:
вчений секретар ФТІМС НАН України, к.т.н., с.п.с.



В. Л. Лахненко