

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

СКІДІН ІГОР ЕДУАРДОВИЧ

УДК 669.15:621.746.2

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ
ПОВЕРХНЕВОГО ЛЕГУВАННЯ ВИЛИВКІВ
ШЛЯХОМ ОДЕРЖАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ШАРІВ
ІЗ ТЕРМІТНИХ РОЗПЛАВІВ**

Спеціальність 05.16.04 – ливарне виробництво

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Криворізькому національному університеті Міністерства освіти і науки України, м. Кривий Ріг, 2021.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Саїтгарєєв Леван Наїльєвич,
Криворізький національний університет
МОН України, м. Кривий Ріг,
доцент кафедри металургії чорних
металів і ливарного виробництва.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Шинський Олег Йосипович,
Фізико-технологічний інститут
металів та сплавів НАН України, м. Київ,
завідувач відділу фізико-хімії ливарних процесів;

доктор технічних наук, доцент
Ямшинський Михайло Михайлович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського» МОН України, м. Київ,
завідувач кафедри ливарного виробництва
чорних і кольорових металів.

Захист відбудеться “13” травня 2021 року о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.232.01 Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України за адресою: 03142, м. Київ, бульвар Вернадського, 34/1.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України, м. Київ, бульвар Вернадського, 34/1.

Автореферат розісланий “29” березня 2021 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.232.01
доктор технічних наук
старший науковий співробітник



М. І. Тарасевич

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. При виробництві значної кількості литих деталей, які працюють в умовах інтенсивного зношування, високих температур та агресивних середовищ (теплоенергетика, металургія, гірничо-збагачувальна й хімічна промисловість), переважно застосовуються технології їх виготовлення з використанням об'ємного легування металу, що часто не є ефективним, оскільки лише невелика товщина таких деталей є робочою і зношується. Це призводить до невиправданих витрат дорогих високолегованих сплавів і збільшення собівартості лиття.

Виробництво виливків з різними властивостями окремих частин здійснюється різними способами: послідовного або одночасного заливання розплавів у ливарну форму, заливання розплаву на тверду заготовку тощо. 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 виливків з функціональними шарами.

Також значна увага дослідників приділяється розробці технологічних процесів виготовлення виливків з поверхневими функціональними шарами, зокрема зносостійкими, властивості яких надаються шляхом їх легування. Поверхнєве легування виливків шляхом нанесення на внутрішню поверхню форми легувальних покриттів дозволяє отримувати поверхневий шар з диференційними властивостями не більше 10 мм. Нанесення поверхневого легованого шару на виливки екзотермічним наплавленням у полі відцентрових сил або електрошлаковим наплавленням дозволяє отримувати функціональний шар будь-якого розміру, проте, для здійснення цих способів необхідне складне обладнання.

Застосування методів металотермії для синтезу розплавів заданого хімічного складу та отримання виливків з легованими функціональними шарами є перспективним напрямом розвитку наявних технологій, оскільки при цьому забезпечується певна автономність, відсутність потреби в потужних джерелах електроенергії, простота й дешевизна технологічного обладнання, висока продуктивність тощо. Проте проблема прогнозованості структур синтезованих сплавів та керованості значною часткою їх фізичних, механічних та службових властивостей обмежує використання металотермічних процесів у промисловій практиці ливарників.

Отже, дисертаційна робота, що спрямована на розроблення теоретичних і технологічних основ поверхневого легування виливків шляхом одержання та лиття функціональних шарів із термітних розплавів, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в Криворізькому національному університеті відповідно до планів науково-дослідних робіт, зокрема «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 й відтворення виливків.

Досягнення поставленої мети передбачає таких завдань дослідження:

– 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 вилівок шляхом утворення функціонального шару із заданими властивостями.

Об’єкт дослідження – процес формування на поверхні вилівок функціонального шару із термітних розплавів.

Предмет дослідження – хімічний склад, технологічні параметри процесів поверхневого легування вилівок, структура, механічні властивості сплавів та експлуатаційні властивості вилівок

Методи дослідження. Окреслені в роботі завдання обумовили проведення комплексних теоретичних та експериментальних досліджень із використанням сучасних методів і устаткування для визначення механічних та експлуатаційних властивостей зносостійких сплавів на основі заліза з високою достовірністю й відтворюваністю результатів.

Наукова новизна отриманих результатів.

У результаті виконання дисертаційної роботи здобувачем одержано нові та 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 вилівок: 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 «вилівок – 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 карбїду хрому ($r_k=4,032 \cdot 10^{-8}$ см) і відіграють роль інокулюючого модифікатора.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Визначено 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 карбїду заліза (цементит), глинозему (корунд) та легованого хромом цементиту залежно від складу компонентів шихти.

4. Розроблено методику розрахунку термокінетичних 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 отриманого позапічним методом термітного розплаву 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 рядових сталей та леговою 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», «Стале литво».

Особистий внесок здобувача. Дисертація виконана автором самостійно. Усі наукові і практичні результати базуються на дослідженнях, що проведені особисто здобувачем. У дисертації не використані ідеї співробітників, які сприяли виконанню роботи. Публікації відображають дослідження, виконані здобувачем. Здобувач безпосередньо є розробником технології поверхневого легування виливків одержаним із термітного розплаву функціональним шаром. Автором проведено комплекс досліджень, аналіз та оброблення експериментальних даних. Особистий внесок здобувача в роботах, що опубліковані у співавторстві, полягає у виборі об'єкта досліджень, обробленні та аналізі одержаних даних аналізу [1, 4, 6]; розробленні методики проведення експериментів та участі у лабораторних дослідженнях [2, 5]; участі у проведенні експериментів, здійсненні аналізу результатів [3]; 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 таких конференціях: 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 «Литьє» (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.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 18 друкованих праць, з них 7 статей у наукових фахових виданнях та 11 праць – тези 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи та доцільність її виконання, сформульовано мету та завдання роботи, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, викладено основні наукові положення, що виносяться на захист, представлено наукову новизну отриманих результатів і обґрунтовано їх практичне значення, наведено дані про апробацію та публікацію основних результатів роботи.

У **першому розділі** «Аналіз технологій поверхневого легування виливків» наведено опис та аналіз сучасних технологій і матеріалів, які застосовуються для надання виливкам диференційних властивостей.

Проаналізовано чинники, які впливають на зносостійкість виливків, а також світові досягнення та напрацювання українських дослідників щодо формування поверхневих зносостійких шарів виливків.

Зазначено, що більшістю з відомих методів не вдається одержати шар з потрібними властивостями товщиною більше 0,3 мм, що є недостатнім для тривалої експлуатації виливків. Технологія має забезпечувати легування на товщині не менше 10 мм.

Показано, що при виборі складів для покриттів, перш за все, необхідно керуватися такими чинниками, як температура розплаву, що заливається, температура нагрівання нижньої частини вилівка, температура нагрівання термітної шихти, швидкість кристалізації утворюваного розплаву. Від цих параметрів залежить формування структури поверхневого шару, його товщина та властивості. Для зносостійкого поверхневого легування доцільно використовувати порошки, до складу яких входять карбідоутворюючі елементи й окремі хімічні сполуки легуючих елементів.

Показано, що визначення однієї твердості не завжди може характеризувати зносостійкість матеріалу. Мікробудова та властивості структурних складових разом із твердістю дозволяють зробити висновки щодо механічних та експлуатаційних властивостей виливків.

Розглянуто можливість утворення металічного зв'язку між основним та утворюваним шарами вилівка. Підтверджено, що при температурі контакту поверхонь, меншій за температуру евтектичного перетворення, надійне (якісне) з'єднання не відбувається. Надійний перехідний шар забезпечується, коли на межі взаємодії температура нанесеного шару суттєво перевищує $T_{\text{евт}}$, що призводить до збільшення глибини підплавлення.

Проаналізовано переваги застосування високотемпературного синтезу для формування функціональних шарів довільної товщини. Наведено відомості про можливість застосування різних термітних сумішей для розв'язання окреслених завдань.

Розглянуто переваги й недоліки екзотермічного наплавлення.

На підставі критичного аналізу науково-технічної літератури за темою дисертаційної роботи сформульовано мету та основні напрямки досліджень для розв'язання окреслених завдань.

У другому розділі «Методика досліджень» наведено методики досліджень механічних та експлуатаційних властивостей сплавів та виробів із них.

Обґрунтовано вибір вихідних шихтових матеріалів з урахуванням впливу технологій їх підготовки на показники процесів горіння, фазового перетворення, розплавоутворення.

Описано конструктивні особливості створеного лабораторного обладнання для експериментальних досліджень.

Наведено відомості щодо застосування методів математичного моделювання процесів теплообміну між утворюваним термітним розплавом та основним металом вилівки.

Наведено відомості щодо застосування традиційних методів для проведення досліджень: контролю якості компонентів шихти, визначення щільності термітного металу, способу запалювання шихти, вимірювання температур у різних точках системи «вилівок – форма-реактор», підготовки зразків до металографічних досліджень, визначення мікротвердості термітного сплаву, дослідження абразивної зносостійкості виливків.

У третьому розділі «Обґрунтування складу термітної шихти для одержання якісного функціонального шару» наведено результати досліджень впливу температури підігрівання системи «виливок – форма-реактор» та калорійності терміту на кількісно-якісні показники функціонального шару.

Таким чином, на підставі одержаних результатів досліджень встановлено, що незалежно від співвідношення оксидів FeO , Fe_2O_3 і Fe_3O_4 в окалині визначення параметрів горіння терміту переважно зумовлене вмістом у ній кисню. Визначено залежність між вмістом кисню в окалині та кількістю закисного й окисного заліза (рис. 1).

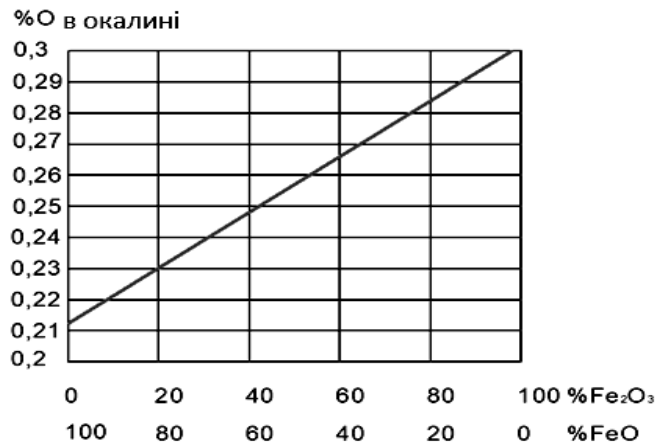


Рис. 1. Залежність між вмістом кисню в окалині й умовним вмістом закисного (FeO) й окисного (Fe_2O_3) заліза.

Встановлено, що під час згорання 1 кг терміту з Fe_2O_3 та з FeO виділяється 3996 кДж та 3185 кДж тепла відповідно.

Визначено, що кількість теплоти реакції витрачається на:

- нагрівання заліза від 298 К до температури плавлення 1809 К – 959,39 кДж/кг;
- нагрівання оксиду алюмінію до температури плавлення – 2500 кДж/кг;
- доведення продуктів реакції до температури плавлення оксиду алюмінію (в тому числі й на розплавлення оксиду алюмінію):
 - для заліза $959,9+272+416,6=1648,5$ кДж/кг;
 - для оксиду алюмінію $2500+1092=3592$ кДж/кг;
- для продуктів реакції ця кількість теплоти залежить від їх масового співвідношення, наприклад, для висококалорійного терміту

$$\frac{Q_{298-2817}}{m} = 1648,5 \cdot 0,5228 + 3592 \cdot 0,4772 = 2575,7 \text{ кДж/кг} \quad (1)$$

Визначено залежність температури реакції від масового співвідношення її продуктів, за якою встановлено, що для реакції з Fe_2O_3 адіабатична температура становить 3512,74 К (3239,59 °С), а для реакції з FeO – 3037,91 К (2764,76 °С).

$$T = \left(\frac{Q}{m} - \frac{1648,5\omega(\text{Fe}) + 3592\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)}{m} \right) \cdot \frac{1}{0,82\omega(\text{Fe}) + 1,59\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)} + 2317, \quad (2)$$

де T – температура реакції, $\frac{Q}{m}$ – кількість теплоти, що витрачається на нагрівання продуктів, ω – масові частки продуктів реакції.

Встановлено, що для оксиду Fe_2O_3 кількість теплоти реакції, яка витрачається

на нагрівання продуктів реакції до температури кипіння заліза (3134 К), становить 3548 кДж/кг, а на випаровування заліза – 448 кДж/кг, що свідчить про ступінь переходу заліза в газоподібний стан у розмірі 14,1 % (33,7 л при горінні 100 г вихідної шихти).

За результатами розрахунку усереднених температур утворюваного функціонального шару та основи встановлено, що за нормальних умов процесу ($T=298\text{ К}$) легований шар не сплавляється з основою, оскільки остання не встигає підплавитися, навіть за умов її товщини у 5 мм (рис. 2). Підігрівання масивної основи до 873 К, по-перше, забезпечує якісну зону сплавлення, по друге, – тривале (до 15 с) знаходження термітного розплаву в рідкому стані, що сприяє уникненню газових включень у ньому, розплавленню корунду та усередненню елементів в об'ємі (рис. 3).

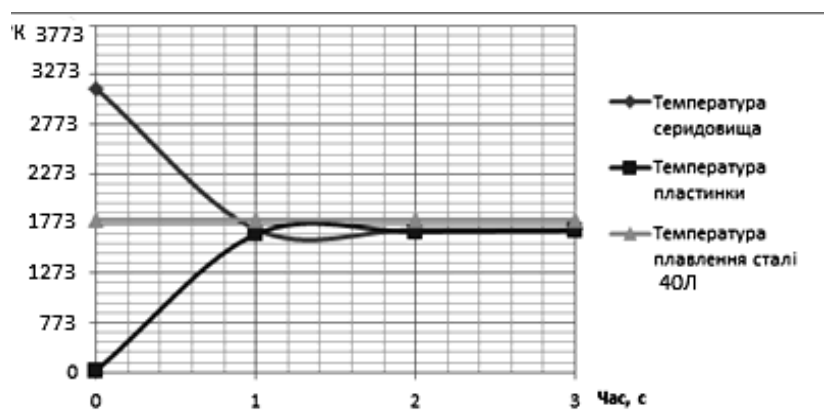


Рис. 2. Зміна температур у системі «вилівок – форма-реактор» при 298 К та отриманий дослідний зразок

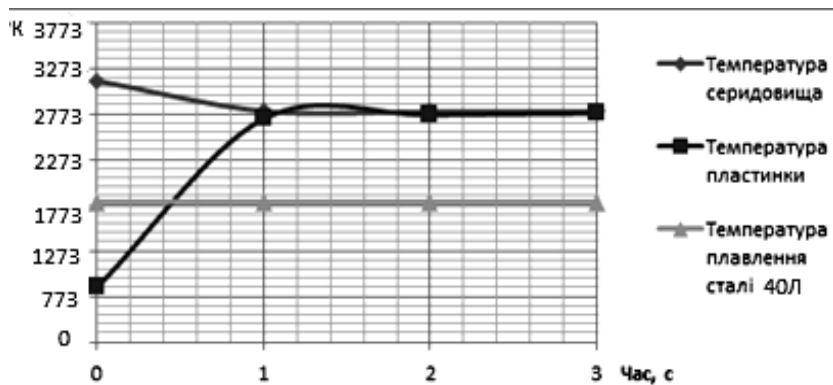


Рис. 3. Зміна температур у системі «вилівок – форма-реактор» при 873К та отриманий дослідний зразок

Обґрунтовано доцільність додавання у вихідну шихту порошку заліза в кількості до 36,9 % від маси отриманого під час реакції заліза (19,3 % від початкової маси алюмінію й окалини), що компенсує надлишок теплоти без зниження температури реакції та забезпечує збільшення кількості термітного розплаву.

Показано, що для збільшення кількості введених у шихту металопорошків необхідно прогрівання шихти та основи вилівка до температур, які, з одного боку, забезпечують утворення надійної зони сплавлення функціонального й основного шарів, а з іншого – унеможливають ушкодження тіла вилівка і не впливають на

розшарування шихти через плавлення алюмінію. У якості граничної температури обрано 873 К. Встановлено вплив температури нагрівання системи «виливок – форма-реактор» на утворення надлишків тепла реакції та частки металопорошків у шихті, які забезпечують температуру реакції 3134 К (табл. 1, рис. 4), а також на якісні показники отриманого сплаву (рис. 5, 6).

Таблиця 1

Вплив надлишків тепла на склад шихти

Показники Температура нагрівання, К	Надлишок тепла, кДж/кг	Кількість отриманого заліза по реакції від всієї маси терміту, %	Масова доля додаткового заліза від маси отриманого заліза реакції терміту, %	Масова доля додаткового заліза від маси терміту, %	Масова доля додаткового хрому від маси терміту, %
298	448	52,3	36,9	19,3	7,1
473	559		46,0	24,4	8,8
673	686		56,6	29,6	10,8
873	813		67,1	35,1	12,8

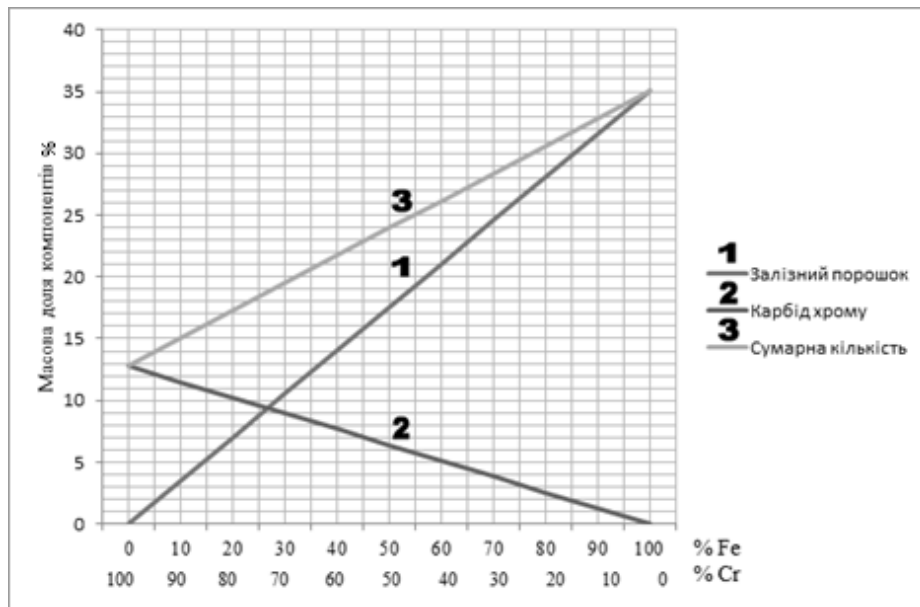


Рис. 4. Залежність кількості додатково введеного заліза та хрому від маси алюмінію та окалини при температурі підігріву 873 К.

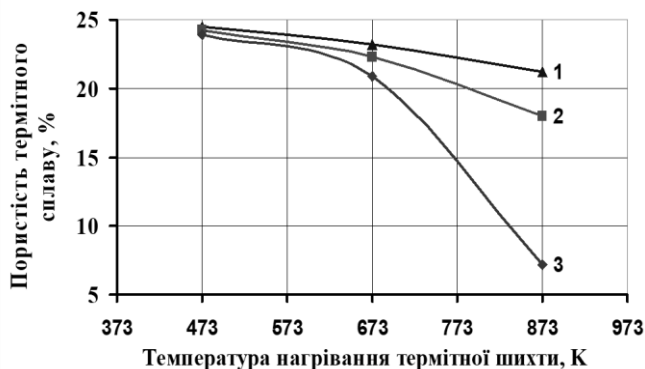


Рис.5. Залежність пористості металу від температури нагріву шихти і вмісту металевих наповнювачів (Fe) в суміші: 1-20%, 2-30 %, 3-40 %

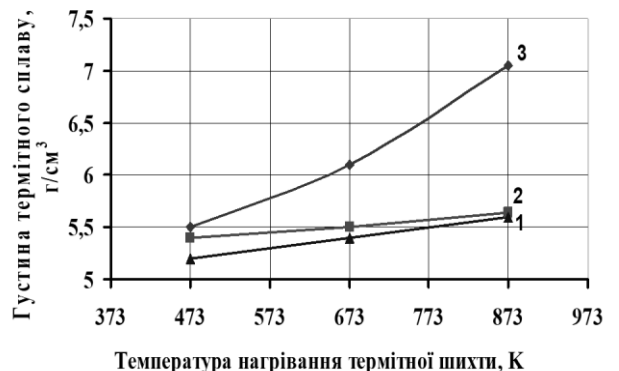


Рис.6. Залежність густини металу від температури нагріву шихти і вмісту металевих наповнювачів (Fe) в суміші: 1-20 %, 2-30 %, 3-40 %

Проаналізовано температуро-часові параметри утворення розплаву (рис. 7), що дозволило встановити таке:

- повний час згоряння термітної шихти становить 8,5 с, після чого фронт горіння досягає поверхні металевої основи, температура якої протягом 1 с стрімко підвищується до 2150 К (рис. 7, крива 2), що свідчить про початок сплавлення шару термітного сплаву. Температура в зоні сплавлення шару з основою протягом 7 с знижується до температури початку кристалізації заліза в перехідному поверхневому шарі основи, чого вистачає для його якісного з'єднання з легованим хромом функціональним шаром;
- формувальна суміш (рис. 7, крива 3) спочатку стрімко (протягом 0,5-1 с) охолоджується з 873 К до 723 К, що викликано підсмоктуванням повітря через газопроникнену форму, а в подальшому повільно збільшує свою температуру протягом наступних 10 с, що зумовлене утворенням на її внутрішніх границях гарнісажу із корунду значної товщини;
- температурні умови для виникнення термітного розплаву та утворення із нього функціонального шару спостерігаються, коли температура в зоні над поверхнею утворюваного шару зменшується до температури його кристалізації, а саме до 1500 К (рис. 7, крива 4).

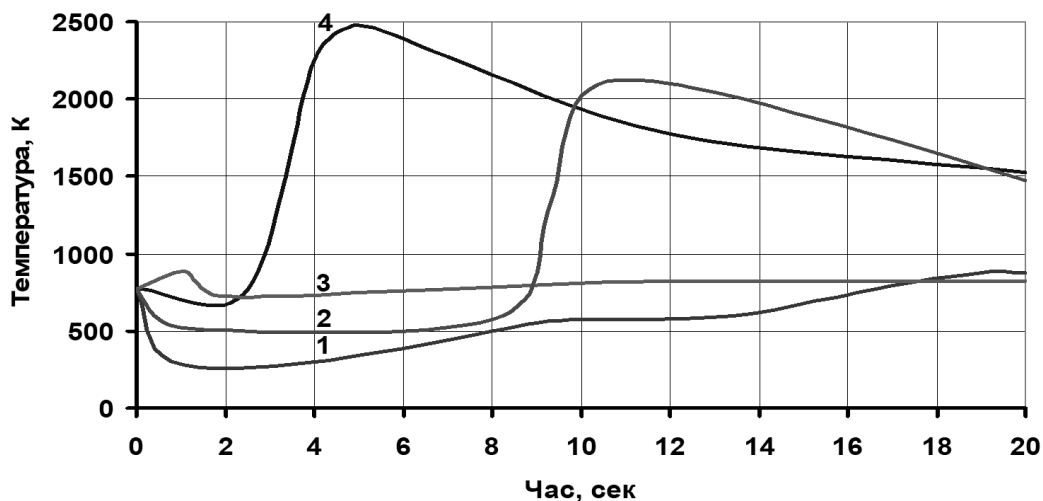


Рис. 7. Зміна температури в системі «вливоч – форма-реактор»: 1 – нижня поверхня металевої основи; 2 – верхня поверхня металевої основи; 3 – формувальна суміш; 4 – температура в нижній зоні форми-реактора.

Встановлено, що оптимальними умовами процесу формування зносостійкого шару термітного сплаву на основі системи Fe-Cr-C є те, що температура середовища після проходження хвилі горіння термітної шихти не повинна перевищувати температуру кипіння заліза, а її нижня межа – бути меншою за сумарну температуру кристалізації утворюваного розплаву та його перегріву (500–1000 градусів залежно від кількості розплаву та температури металевої основи).

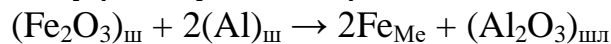
Визначено показники процесу розплавоутворення для різних складів шихти (70 кг окалини та 30 кг алюмінієвого порошку) з урахуванням температури її нагрівання (табл. 2).

Вихідні та результуючі показники процесу розплавоутворення

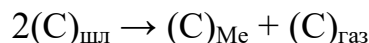
Дослідна шихта	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9
Температура нагріву шихти, К	873	873	673	473	298	873	873	873	873
Орієнтовна марка сплаву	СЧ10	ЧХ22	ЧХ22	ЧХ16	ЧХ16	ЧХ16	-	-	-
Вміст металевих порошків у шихті, % від маси термітної суміші									
Cr	-	12,8	10,8	8,8	7,1	9,5	6,5	4,5	3
Fe	35,1	-	-	-	-	9,5	17,5	23	30
Карбюризатор	5,3	3,8	3,6	3,5	3,4	3	4,3	4,6	5
Кількість шихти, кг	140,4	116,6	114,4	112,3	110,5	122	128,3	132,1	138
Кількість розплаву, кг	76,9	54,6	52,6	50,6	48,9	60,5	65,6	69,12	74,67
Вміст у розплаві, %									
Cr	-	22,5	19,7	16,06	13,94	15,08	9,52	6,25	3,85
C	3,38	3,37	3,32	3,35	3,37	2,4	3,18	3,22	3,24
Al	7,62	11,0	11,3	11,7	12,1	9,9	9,15	8,7	8,0
Вихід розплаву з 1 кг шихти, %	54,77	46,8	45,9	45,0	44,2	49,6	51,1	52,3	54,1
Об'єм розплаву з 1 кг шихти, см ³	78,18	66,8	65,5	64,2	63,1	70,8	72,9	74,6	77,2

У четвертому розділі «Дослідження механізмів структуроутворення сформованого шару та зони сплавлення» представлено результати розрахункових, експериментальних та лабораторних досліджень структуроутворювальних процесів у термітному сплаві.

Розглянуто один з найбільш імовірних шляхів реалізації структурно-хімічних реакцій для різних складів шихт. Для шихти на основі заліза (70,0 кг – окалина, 35,1 кг – залізний порошок, 30,0 кг – алюмінієвий порошок, 5,3 кг – карбюризатор) одержання термітного розплаву реалізується за реакціями:



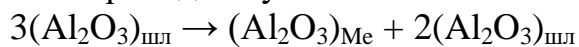
Залишковий вуглець шихти переходить у шлак, який розчиняється в металі й випаровується



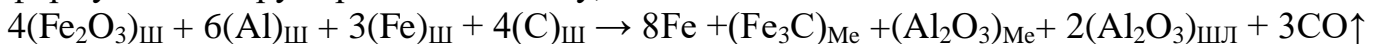
Вуглець у металі утворює цементит за реакцією:



Глинозем зі шлаку частково переходить у метал:



Сумарна ж реакція, яка визначає загальний матеріальний баланс процесу формування шару термітного сплаву, має такий вигляд



Показано, що відповідно до результатів хімічного аналізу отриманого функціонального шару масою 76,9 кг у ньому міститься: C – 3,38 %, Al – 7,62 %.

Встановлено:

- 2,7 кг вуглецю виноситься в атмосферу у вигляді CO (6,3 кг), оскільки в термітному сплаві міститься 2,6 кг вуглецю;
- кількість утвореного цементиту $(\text{Fe}_3\text{C})_{\text{Me}}$ становить $2,6/(12/180)=39$ кг, у якому міститься 36,4 кг заліза;
- при утворенні загального глинозему в кількості $30/(54/102)=56,66$ кг в отриманому шарі міститься 11,1 кг $(\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{Me}}$, що відповідає 5,85 кг алюмінію, а решта – 45,56 кг $(\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{шл}}$ – міститься в шлаку;

- загальна кількість заліза металічного, яка наявна в шихті, становить 84,1 кг, проте у функціональному шарі його міститься 68,45 кг, тобто 15,65 кг металу виноситься із газом унаслідок кипіння та бурхливого алюмотермічного процесу;
- розрахункова маса функціонального шару, який складається з 32,05 кг Fe, 39 кг Fe₃C та 11,1 кг Al₂O₃, становить 82,15 кг, нев'язка 6,4% викликана неточністю визначення маси утворених функціональних шарів дослідних виливків.

На підставі хімічного складу отриманого шару та аналізу вагового складу кінцевих матеріалів визначено його структуру, яка складається з ферито-перлітної матриці з включеннями корунду (13,5%).

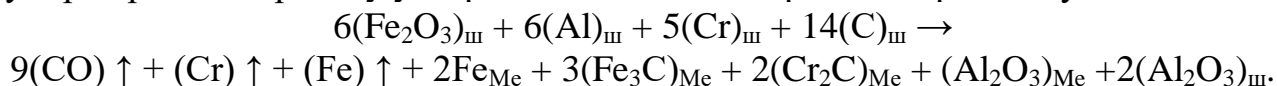
Показано, що для шихти на основі хрому ($M_{\text{ш}}=70,0(\text{Fe}_2\text{O}_3) + 30,0(\text{Al}) + 12,8(\text{Cr}) + 3,8(\text{C})$) наведений вище ряд структурно-хімічних реакцій доповнюється реакцією утворення карбідів хрому:



при цьому в отриманому шарі утворюється комплексна карбідна фаза, яка відповідає складу легованого хромом цементиту, згідно з реакцією:



а сумарна реакція процесу утворення легованого термітного розплаву має вигляд:



Показано, що відповідно до результатів хімічного аналізу отриманого функціонального шару масою 54,6 кг у ньому міститься: Cr – 22,5%, C – 3,37%, Al – 11 %.

Встановлено:

- кількість вуглецю в функціональному шарі становить 1,84 кг;
- кількість утвореного карбіду хрому (Cr₂C)_{Me} становить 12,3/(104/116)=13,7 кг, у якому міститься 13,7-12,3=1,4 кг вуглецю;
- кількість вуглецю в цементиті (Fe₃C)_{Me} становить 1,84-1,4=0,44 кг;
- кількість утвореного цементиту (Fe₃C)_{Me} становить 0,44/(12/180)=6,7 кг, у якому міститься 6,2 кг заліза;
- 2,0 кг вуглецю виноситься в атмосферу у вигляді CO (4,7 кг), оскільки в термітному сплаві міститься 1,84 кг вуглецю;
- при утворенні загального глинозему в кількості 30/(54/102)=56,66 кг в отриманому шарі міститься 11,3 кг (Al₂O₃)_{Me}, що відповідає 6,0 кг алюмінію, а решта – 45,35 кг (Al₂O₃)_{шл} – міститься в шлаку;
- загальна кількість заліза металічного, яка наявна в шихті, становить 49,0 кг, проте у функціональному шарі його міститься 34,45 кг, тобто 14,55 кг металу виноситься із газом унаслідок кипіння та бурхливого алюмотермічного процесу;
- розрахункова маса функціонального шару, який складається з 28,25 кг Fe, 13,7 кг Cr₂C, 6,2 кг Fe₃C та 11,3 кг Al₂O₃, становить 59,45 кг, нев'язка 8,1% також викликана неточністю визначення маси утворених функціональних шарів дослідних виливків.

Встановлено, що структура утвореного функціонального шару складається з таких зміцнювальних фаз: легований хромом цементит (33%) та корунд (19,0%):

За результатами металографічних досліджень підтверджено, що мікроструктура сформованого шару складається з ферито-перлітної матриці, легової хромом, та неметалевих включень глинозему. Світлі включення – елементи мікроструктури –

карбіди, (рис. 8, а), а темні включення всередині карбідів – включення корунду (рис. 8, б), який створює ефект інокулюючого модифікування термітного розплаву.

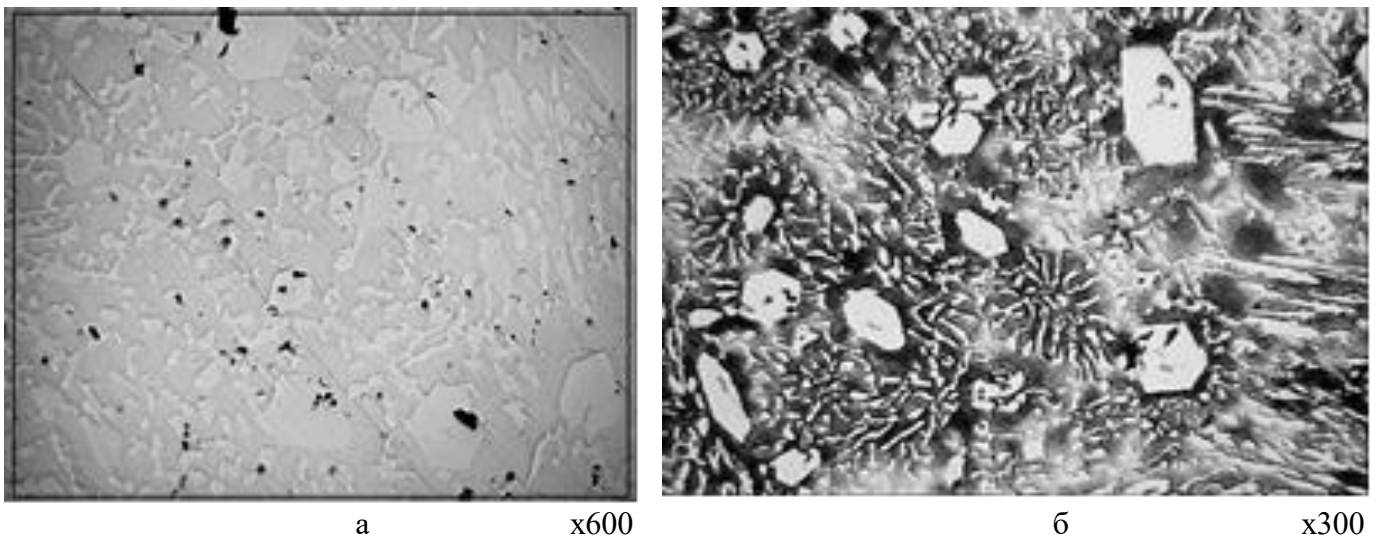


Рис. 8. Мікроструктура легованого хромом шару термітного сплаву: а – зразок без травлення; б – травлений зразок

Встановлено, що через різницю критичних радіусів включень корунду та карбідів хрому майже у 7 разів, про імовірність гомогенного зародження включень оксиду алюмінію значно вище, ніж включень карбіду хрому. Включення карбіду хрому утворюються гетерогенно на окисних включеннях Al_2O_3 як на затравках. Показано, що значна кількість включень карбідів хрому оточує дрібні кристалічні включення корунду, причому середній розмір включень корунду становить 15,4 мкм.

Встановлено закономірності зростання зародків первинних включень у термітному сплаві: зміна розмірів маси та кількості первинних включень корунду в залежності від часу представлена в табл. 3.

Таблиця 3

Параметри включень корунду залежно від часу їх зростання

Час зростання, с	Розмір, см	Маса, г	Кількість	Швидкість спливання, см/с
0,0001	0,000363	$2,46e^{-15}$	$3,1e^{17}$	0,001608
0,0010	0,001470	$4,44e^{-15}$	$1,72e^{17}$	0,026363
0,0100	0,003630	$9,53e^{-14}$	$8,01e^{15}$	0,160758
0,1000	0,011500	$3,87e^{-11}$	$1,97e^{13}$	1,613450

Показано, що за 0,1 с включення досягають розмірів, достатніх для спливання крізь сформований шар термітного розплаву товщиною 10 см протягом 6 с, тобто всі первинні включення концентруються на поверхні розплаву й утворюють шар, який складається з дрібних частинок корунду.

Проаналізовано вплив часу росту вторинних включень на їх показники (табл. 4).

Параметри вторинних включень корунду залежно від часу їх зростання

Час зростання, с	Розмір, см	Маса, г	Кількість
$1e^{-8}$	$3,63 e^{-6}$	$7,8 e^{-16}$	$4,71 e^{17}$
$1e^{-7}$	$1,15 e^{-5}$	$2,53 e^{-14}$	$1,45 e^{16}$
$1e^{-6}$	$3,63 e^{-5}$	$7 e,8 e^{-13}$	$4,59 e^{14}$
$1e^{-5}$	$1,48 e^{-4}$	$2,53 e^{-11}$	$1,45 e^{13}$
$1e^{-4}$	$3,63 e^{-4}$	$7,99 e^{-10}$	$4,59 e^{11}$
$1e^{-3}$	$1,15 e^{-3}$	$2,53 e^{-8}$	$1,45 e^{10}$
$1e^{-2}$	$3,63 e^{-3}$	$7,99 e^{-7}$	458915409
$1e^{-1}$	0,0115	$2,53 e^{-5}$	14512179
$1e^0$	0,036	$7,99 e^{-4}$	458915
$1e^2$	0,115	0,0253	14512

Встановлено, що для усередненого розміру вторинних оксидних включень $1,03 e^{-3}$ см та динамічній в'язкості розплаву $4,26$ МПа·с час спливання вторинних включень в розплаві товщиною 10 см становить 6583 с, що на порядок перевищує час кристалізації одержаного шару розплаву. Отже, вторинні включення не видаляються з термітного сплаву та слугують центрами для гетерогенного зародження включень карбїду хрому.

За результатами розрахунків встановлено, що в найглибшій частині сформованого шару всі бульбашки газу діаметром понад $0,03$ мм за час існування розплаву в рідкому стані (близько 20 с) встигають вийти на його поверхню. Поблизу відкритої границі розділу основного та утворюваного легованого шару спливають усі газові включення, які мають діаметр $0,01$ мм і менше. Мікропори, які залишаються, обумовлюють зменшення щільності функціонального шару.

У **п'ятому розділі** «Рекомендації щодо впровадження технологічних рішень» представлено результати розроблення та впровадження ресурсо- й енергоефективної технології лиття та відновлення робочих зон виливків шляхом синтезу легованого термітного розплаву із заданими властивостями і формування функціонального шару на їх поверхні.

Розроблено принципову схему оснащення для технології поверхневого легування виливків унаслідок лиття перегрітого розплаву із заданими властивостями на їх поверхню (рис. 9).

Наведено відомості щодо організаційних аспектів упровадження та виконання основних і допоміжних операцій за запропонованою технологією.

Досліджено зразки утвореного легованого шару й виявлено гладкі включення карбїдів хрому (рис. 10) на фрагментовано-рельєфній мікроструктурі.

Показано, що мікротвердість, визначена модифікованим мікротвердомером ПМТ-3, для зазначених включень у середньому становить 18540 МПа (рис 10, а), а мікротвердість усього зразка (рис 10, б) – 5580 МПа.

Визначено показники мікротвердості та відносної зносостійкості (еталон – зразок з ІСХ28Н2) функціональних шарів різного хімічного складу та структурно-фазового стану.

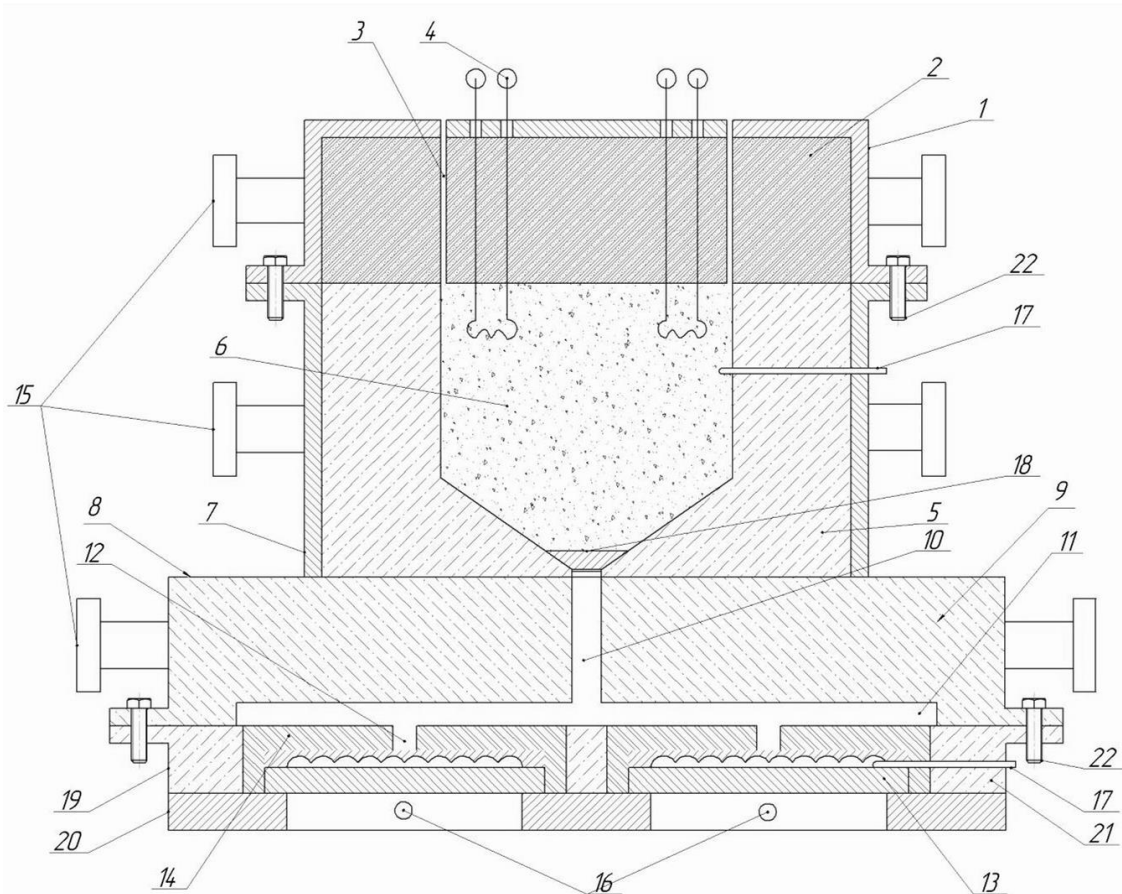
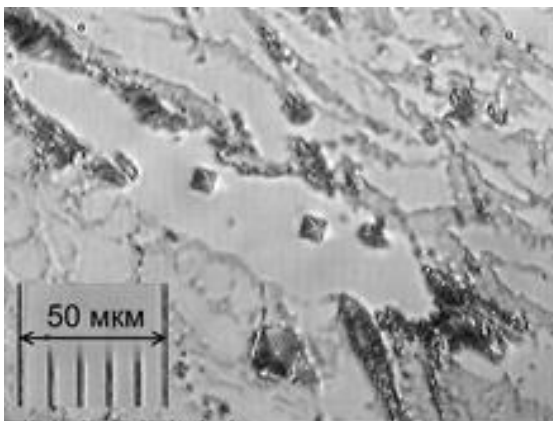
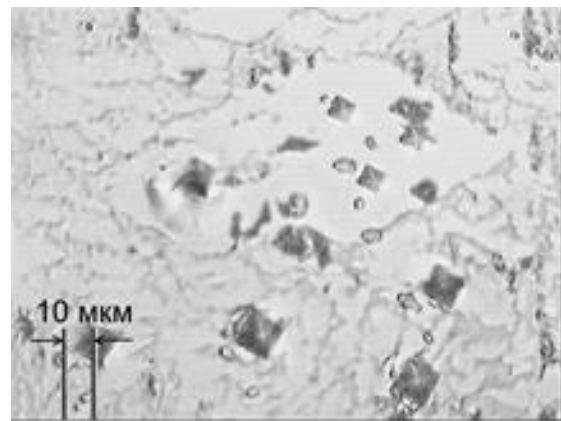


Рис. 9. Ливарна форма у зібраному вигляді: 1 – опока верху реакційної форми, 2, 5 – піщано-графітова формувальна суміш, 3 – випари, 4 – вольфрамова спіраль, 6 – термітна шихта, 7 – опока низу реакційної форми, 8 – опока верху ливарної форми, 9 – формувальна суміш опоки верху, 10 – стояк, 11 – шлаковловлювач, 12 – живильники, 13 – нижня частина виливки, 14 – стрижень, 15 – цапфи для транспортування, 16 – газові горілки, 17 – термопара, 18 – пробка алюмінієва, 19 – опока низу форми, 20 – нагрівальна плита, 21 – формувальна суміш опоки низу, 22 – штирі центрувальні та направляючі



а



б

Рис. 10. Включення карбиду хрому з відбитками від алмазної піраміди

Хімічний склад та механічні властивості функціональних шарів

№ зразка*	Вміст елементів у функціональному шарі, %			Кількість зміцнювальних фаз у функціональних шарах, %			Мікротвердість виливків, МПа	Коефіцієнт зносостійкості
				Al ₂ O ₃	Fe ₃ C	Cr ₂ C		
	C	Cr	Al					
2	3,38	22,5	11,0	19,0	9,6	23,0	5580	2,1
6	2,4	15,1	9,9	17,3	9,0	15,5	4170	1,4
7	3,18	9,52	9,15	15,9	28,8	9,8	2200	1,0
8	3,22	6,25	8,7	15,2	34,8	6,5	1740	0,8
9	3,24	3,85	8,0	14,0	39,1	4,0	1068	0,7

*Нумерація зразків відповідає номерам зразків табл. 2

Показано, що додавання хрому в шихту підвищує зносостійкість завдяки збільшенню сумарної кількості карбідних та оксидних фаз. Покращення зносостійкості дослідних зразків також пов'язане зі швидкістю охолодження функціональних шарів, яка досягає до 83°C/с. Велика швидкість охолодження при кристалізації змінює такі характеристики структури, як розмір карбідів та взаємне розташування фаз. Збільшена кількість неметалевих фаз у функціональних шарах також підвищує зносостійкість, що пов'язано з високими фізико-механічними властивостями корунду. Оскільки формування включень проходить під час формування структури, то вони мають високу когезію до усїєї металевої матриці.

Представлено результати проведених дослідно-промислових робіт з упровадження технологічних рішень на діючих ливарних підприємствах м. Кривий Ріг.

На прикладі виготовлення вилівка «Бронедиск» (креслення П99-183-03) показано, що запропонована технологія дозволяє:

- отримати позапічним методом розплав, хімічний склад якого близький до чавуну ЧХ22;
- отримати якісну зону з'єднання поверхні із нелегованої сталі з легованим функціональним шаром із термітного чавуну;
- отримати поверхневий шар зі структурою, у якій усередині значної частини карбідів спостерігаються темні включення корунду, що слугують центрами кристалізації;
- збільшити міжремонтний період виливків майже у 2 рази завдяки більшій зносостійкості;
- знизити витрати енергоносіїв під час отримання розплаву;
- знизити витрати вогнетривів на плавильній дільниці.

ВИСНОВКИ

Дисертація присвячена розв'язанню актуального науково-практичного завдання, яке полягає в розробленні ресурсо- й енергоефективної технології лиття та відновлення робочих зон виливків шляхом синтезу легованого термітного розплаву

із заданими властивостями й формування функціонального шару на поверхні різного профілю. За результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень зроблено такі висновки:

1. Аналіз наявних технологій одержання й нанесення легованих функціональних шарів на поверхню деталей показав, що більшість способів мають невисоку швидкість операцій, потребують значних енерго- та трудовитрат і складного спеціального обладнання, дозволяють отримувати шар обмеженої товщини, використовуються лише для прямолінійних поверхонь, реалізовані виключно в лабораторних умовах. Тому дослідження з розроблення та впровадження технології, яка спрямована на усунення вказаних недоліків, є актуальними.

2. На підставі термодинамічних розрахунків реакцій між алюмінієм та оксидами заліза встановлено теплотворну здатність терміту (3996 кДж/кг), кількість теплоти реакції, витраченої на нагрівання суміші до температури кипіння заліза (3548 кДж/кг), надлишок тепла (448 кДж/кг), який запропоновано використовувати для плавлення додатково введених у шихту металевих порошків заліза та хрому, завдяки чому зменшуються втрати заліза через випаровування і стає можливим керування властивостями сформованого шару.

3. Обґрунтовано якісно-кількісний склад металевих порошків, які додатково вводяться до термітної шихти залежно від надлишку теплоти реакцій та температури підігрівання системи «вилівок – форма-реактор»:

– додавання до шихти порошку заліза в кількості 40 % від маси терміту та підігрівання форми до 873 К забезпечує підвищення густини термітного сплаву на 33 % (до $7,05 \cdot 10^3$ кг/м³), і зменшення пористості на 17,3 %;

– додавання до шихти порошку хрому в кількості 12,8 % від маси терміту та підігрівання системи «вилівок – форма-реактор» до 873 К забезпечує можливість отримання до 22,5 % хрому в термітному сплаві. Заміщення кожної десятої частини порошку хрому порошком заліза забезпечує приріст кількості сплаву на 0,9 %.

4. Розрахунок розподілу температурних полів в одержуваному розплаві й поверхні вилівка, який здійснювався методом числового інтегрування за ідеальною моделлю процесу, показав, що підігрівання системи «вилівок – форма-реактор» до температури, нижче 473 К, не забезпечує сплавлення функціонального шару з поверхнею через нестачу теплоти; підігрівання до температури 873 К, зумовленої окислюваністю алюмінію та відсутністю розшарування шихти через його плавлення, забезпечує умови утворення достатньої кількості термітного розплаву та його якісне сплавлення з поверхнею деталі. Розрахункові дані підтверджено експериментально та встановлено можливість одержання задовільних показників пористості термітного сплаву й легке відділення шлаку з його поверхні.

5. На підставі проведеного стохастичного аналізу структурно-хімічних реакцій утворення оксидних та карбідних фаз у структурі сформованого при алюмотермічному процесі функціонального шару встановлено, що залежно від складу компонентів шихти зміцнювальними фазами є: для шихти на основі заліза – карбід заліза (цементит) у кількості 47,5 % та глинозем (корунд) у кількості 13,5 %; для шихти на основі хрому – легований хромом цементит у кількості 33,0 % та глинозем у кількості 19,0 %. Показано, що мікроструктура сформованого шару

термітного сплаву представлена складною структурою: легованого хромом цементиту, мартенситу, залишковими легованими структурами фериту.

6. На підставі розробленої методики розрахунку термокінетичних особливостей утворення неметалевих включень у сплавах на основі заліза, одержаних з використанням алюмотермії, встановлено:

– через значно вищу ймовірність гомогенного зародження включень Al_2O_3 ($r_k=2,095 \cdot 10^{-8}$ см), ніж включень карбиду хрому ($r_k=4,032 \cdot 10^{-8}$ см), останні утворюються гетерогенно на включеннях Al_2O_3 як на затравках, які відіграють роль інокулюючого модифікатора;

– переважно всі первинні включення корунду концентруються на поверхні термітного розплаву (спливаючи зі швидкістю 1,61 см/с, набутою за 0,1 с часу їх зростання) та утворюють порошкоподібний шар, а вторинні включення не встигають видалитися із розплаву (швидкість спливання $1,52 \cdot 10^{-3}$ см/с) і слугують центрами для гетерогенного зародження включень карбиду хрому, що й зумовлює набуття легуючого ефекту.

7. Розроблена ресурсо- та енергоефективна технологія отримання литих деталей та відновлення їх робочих зон, яка базується на литті одержаного позапічним методом термітного розплаву, є універсальною й дозволяє формувати леговані хромом функціональні шари різної товщини як на прямолінійній, так і на рельєфній поверхні деталі. При цьому забезпечується надійне сплавлення отриманого функціонального шару з основою внаслідок металевого зв'язку, а також унеможливується ушкодження тіла вилівка через прогарання стінки. Обґрунтована можливість керування температурою (до 2500 К) та кількістю (до 54,1 %) утвореного термітного розплаву, а також хімічним складом (Cr – до 22,5 %, C – до 3,4 %, Al – до 11 %), твердістю (до 5500 МПа) та відносною зносостійкістю (до 2,1 у порівнянні з ІЧХ28Н2) функціонального шару вилівоків.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях:

1. Скидин И. Э., Глазовая М. А. Перспективы применения технологий самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) при изготовлении биметаллических оливок. *Вісник Криворізького національного університету*. 2013. № 35. С. 178–181.

2. Скідін І. Е., Жбанова О. М., Саїтгареев Л. Н. Дослідження впливу металевого наповнювача термітної шихти на якісні показники сплаву, наплавленого методом СВС. *Вісник Житомирського державного технологічного університету*. 2017. № 2 (80). С. 13–17.

3. Исследование биметаллических образцов, сплавленных высокотемпературным синтезом / Скидин И. Э. и др. *Процессы литья*. 2018. №1 (127). С. 62–67.

4. Дослідження чавунного високохромового наплавлення, отриманого методом СВС / Саїтгареев Л. Н., Скідін І. Е., Калинин В. Т., Бялік Г. А. *Качество минерального сырья*. 2018. Т 2. С. 214–221.

5. Alternative technology to manufacture bimetallic products by using self-propagating high temperature synthesis / Skidin I. E. and oth. *JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES*. 2020. Vol. 4, Issue 2. P. 7–10.

6. Аналіз структурно-хімічного стану формування шару термітного сплаву на сталевій підкладці самопоширюваним високотемпературним синтезом / І. Е. Скідін та ін. *Метал та лиття України*. 2020. №4 (28). С. 69–75.

7. Про розрахунки процесу формування шару термітного сплаву на сталевій підкладці за СВС-процесом / І. Е. Скідін та ін. *«Металургія» : зб. наук. праць*. 2020. Вип. 1. С. 55–62.

Тези доповідей на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях:

8. Скідін І. Е., Глазова М. А. Внепічне отримання безнікелевої жаростійкої сталі шляхом використання алюмотермічних матеріалів. *Нові матеріали і технології в машинобудуванні* : матеріали наук.-техн. конф., 19–20 квітня 2012 р. Київ, 2012. С. 20–21.

9. Скидин И. Э., Кривенец Ю. В. Теплотехническая модель процесса наплавки. *Сталій розвиток промисловості та суспільства* : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., 20–22 травня 2015 р. Кривий Ріг : КНУ, 2015. С. 199–200.

10. Скидин И. Э., Бережная Ю. В. Значение оптимального состава шихты для получения СВС расплава. *Сталій розвиток промисловості та суспільства* : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., 20–22 травня 2015 р. Кривий Ріг : КНУ, 2015. С. 200–201.

11. Скидин И. Э., Кривенец Ю. В. Распределение температурного поля в наплавляемом слое и на основе. *Сталій розвиток промисловості та суспільства* : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., 20–22 травня 2015 р. Кривий Ріг : КНУ, 2015. С. 202–203.

12. Скидин И. Э., Бережная Ю. В. Термодинамические особенности расчета алюмотермической реакции. *Сталій розвиток промисловості та суспільства* : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., 20–22 травня 2015 р. Кривий Ріг : КНУ, 2015. С. 198–199.

13. Скідін І. Е., Саїтгареев Л. Н. Дослідження отримання біметалевих виробів наплавкою при твердопламенному горінні легованих порошків. *Лит'є 2016* : матеріали XII міжкнар. науч.-практ. конф., 24–26 травня 2016 : Запоріжжя, 2016. С. 207–208.

14. Скідін І. Е., Жбанова О. М. Дослідження показників змін температур при наплавленні методом СВС. *Лит'є 2017* : матеріали XIII міждунар. науч.-практ. конф., 23–25 мая, Запоріжжя, 2017. С. 217–219.

15. Скідін І. Е., Ібраєв М. Ю. Перспективи отримання біметалевих виливків за допомогою легованих термітних брикетів. *Розвиток промисловості та суспільства* : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., 24–26 травня, Кривий Ріг, 2017. С. 229.

16. Скідін І. Е., Каратаєв Ю. Ю. Перспективи отримання зміцненого шару з карбідом хрому при наплавленні методом СВС. *Нові матеріали і технології в машинобудуванні–2017* : матеріали VII наук.-техн. конф., Київ, 30–31 травня 2017 р. Київ, 2017. С. 166.

17. Структурно-хімічний стан наплавлення термітного сплаву на сталеву підкладку алюмотермічним СВС-процесом / І. Е. Скідін та ін. *Сучасні технології промислового комплексу – 2020* : матеріали міжнар. науч.-практ. конф. Херсон : ХНТУ, 2020. Вип. 6. С. 144–148.

18. Скідін І. Е., Воденнікова О. С. Аналіз процесу нагрівання компонентів шихти при виробництві біметалевих виливків самопоширюваним високотемпературним синтезом. *Біоекономіка як ключовий фактор розвитку виробництва та екологізації промислового регіону – 2020* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. Херсон : ХНТУ, 2020. № 20 (1345). С. 102–109.

АНОТАЦІЯ

Скідін І.Е. Технологічні основи поверхневого легування виливків шляхом одержання функціональних шарів із термітних розплавів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.04 – ливарне виробництво. – Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ, 2021.

Дисертація присвячена обґрунтуванню, розробленню та реалізації прогресивних технологічних прийомів для поверхневого легування виливків шляхом формування функціонального шару із термітного розплаву.

На підставі результатів термодинамічних та теплотехнічних розрахунків обґрунтовано температуру підігрівання системи «виливка – форма-реактор» та оптимальні склади термітної шихти, які зумовлюють одержання якісного функціонального шару заданого хімічного складу.

На підставі стохастичного аналізу структурно-хімічних реакцій обґрунтовано механізм утворення зміцнювальних оксидних та карбідних фаз в структурі сформованого шару.

На підставі розрахунку термодинамічних особливостей утворення неметалічних включень у функціональному шарі визначено особливості його структуроутворення.

Розроблено рекомендації з організації та впровадження технологічних рішень щодо поверхневого легування виливків термітним розплавом, а також відновлення їх складнопрофільних поверхонь.

Проведено дослідно-промислові випробування запропонованих технічних та технологічних рішень, які підтвердили доцільність впровадження технології поверхневого легування виливків унаслідок формування на їх поверхні функціонального шару із термітного розплаву. Показано, що у порівнянні з традиційними способами отримання литих деталей із легованих сплавів, запропонована технологія забезпечує більш високий економічний ефект завдяки суттєвій економії матеріалів, електроенергії, часу, робочої сили, зменшенню технологічних операцій, виправленню складних дефектів лиття.

Ключові слова: поверхневе легування, термітний розплав, функціональний шар, металевий наповнювач, лиття на поверхню, зона сплавлення, карбід хрому, механізм структуроутворення, температуро-часові параметри, відновлення властивостей.

ABSTRACT

Skidin I. E. Technological bases of surface alloying of castings by obtaining functional layers from thermite melts. – Manuscript.

The dissertation for granting Candidate of Technical sciences Degree in specialty 05.16.04 – foundry. – Physic-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to substantiation, development and realization of advanced technological receptions for surface alloying of castings by the formation of a functional layer from a thermite melt.

Based on the results of thermodynamic and thermotechnical calculations, the mechanism for determining the optimal composition of the thermite charge, which provides the maximum yield of a high-quality functional layer of given chemical composition is substantiated.

The mechanism of reinforcing oxide and carbide phase formation in the structure of the formed layer is substantiated based on the stochastic analysis of structural-chemical reactions.

Based on the calculation of thermokinetic features of the formation of non-metallic inclusions in the functional layer, the patterns and mechanisms of its structure formation are determined.

Recommendations for the organization and implementation of technological solutions for surface alloying of castings with thermite melt, as well as the restoration of their complex surfaces were developed.

Experimental and industrial tests of the proposed technical and technological solutions were carried out, which confirmed the expediency of introducing the technology of surface alloying of castings due to the formation of a functional layer of thermite melt on their surface. It is stated that in comparison with traditional methods of obtaining cast parts from alloyed alloys, the proposed technology provides a higher economic effect due to significant savings on materials, electricity, time, labor, reduction of technological operations, the ability to correct complex defects.

Keywords: surface alloying, thermite melt, functional layer, metal filler, surface casting, fusion zone, chromium carbide, structure-forming mechanism, temperature-time parameters, restoration of properties.

СКІДІН Ігор Едуардович

**Технологічні основи поверхневого легування виливків
шляхом одержання функціональних шарів із термітних розплавів**

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.16.04 – ливарне виробництво

Формат 60×84/16. Ум. др. арк. – 1,17. Авт. арк. – 0,9.
Тираж – 100 пр.

Друкарня С. Г. Щербенка «Літерія»
вул. Рокоссовського, 5/3, м. Кривий Ріг, 50027
097-192-20-77

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4561 від 13.06.2013 р.