

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**



**КОВАЛЬЧУК ОЛЕКСАНДР ГРИГОРОВИЧ**

УДК 621.745.55

**ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ З ДИФЕРЕНЦІЙНИМИ**  
**ВЛАСТИВОСТЯМИ ПОВЕРХНІ**

Спеціальність 05.16.04 – Ливарне виробництво

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
на кафедрі ливарного виробництва чорних і кольорових металів

**Науковий керівник** кандидат технічних наук, доцент  
**Ямшинський Михайло Михайлович**  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
доцент кафедри ливарного виробництва  
чорних і кольорових металів

**Офіційні опоненти:**

Доктор технічних наук, професор  
**Пономаренко Ольга Іванівна**  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
професор кафедри ливарного виробництва  
чорних і кольорових металів

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
**Лахненко Володимир Леонідович**  
Фізико-технологічний інститут металів  
та сплавів Національної академії наук України

Захист відбудеться «10» «грудня» 2019 року о 14<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.12 у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37, корпус 9, аудиторія № 203.

З дисертацією можна ознайомитися в Науково-технічній бібліотеці ім. Г.І. Денисенка Національного технічного університету України «КПІ ім. Ігоря Сікорського» за адресою: м. Київ, проспект Перемоги, 37.

Автореферат розісланий 07 листопада 2019 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
кандидат технічних наук, доцент



О.В. Степанов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи:** Аналізом експлуатації литих деталей, які працюють в умовах інтенсивного зносу, високих температур та агресивних середовищ (теплоенергетика, металургія, гірничозбагачувальна й хімічна галузі тощо) встановлено, що технології їх виготовлення з використанням об'ємного легування металу себе не виправдовують, а в багатьох випадках є шкідливими, оскільки лише невелика товщина таких деталей зношується, окиснюється або пошкоджується. Це призводить до невиправданих витрат дорогих високолегованих сплавів. Наприклад, утрати металу високої вартості під час вироблення електроенергії тепловими електростанціями України, який щорічно втрачається безповоротно, вимірюються тисячами тонн.

Для досягнення високої поверхневої міцності та зносостійкості литих деталей в машинобудуванні використовують різні види оброблення: термічне, хіміко-термічне, лазерне, електрохімічне тощо. Проте цими методами не вдається одержати шар металу з потрібними властивостями товщиною понад 0,3 мм, що недостатньо, особливо для тривалої експлуатації великих деталей в умовах інтенсивного зносу чи високих температур. Практикою встановлено, що товщина поверхневого шару із спеціальними властивостями має бути не менше 5...10 мм. Наплавленням на поверхні деталі можна одержати шар такої товщини, але цей процес дуже трудомісткий, дорогий і, крім того, на важкодоступних поверхнях деталей наплавлення металу здійснити практично неможливо.

Для вирішення проблеми утворення поверхневого зносостійкого або жаростійкого шару необхідної товщини перспективним може бути спосіб виробництва виливків із нелегованих сплавів на основі заліза з поверхневим композиційним або легованим шаром, який утворюється під час формування виливка в ливарній формі, а також виготовлення біметалевих виливків з використанням внутрішньоформового модифікування або легуванням і суспензійним розливанням сплавів.

До хімічного складу, мікроструктури, фізичних і механічних властивостей сплавів, які використовують для виготовлення таких деталей, висувають особливі вимоги щодо стійкості в абразивних середовищах, а саме: підвищений вміст хрому чи марганцю, наявність стійких карбідів у міцній перлітній або мартенситній металевій матриці, відповідність мікроструктури правилу Шарпі, максимальна мікротвердість, корозійна стійкість тощо. У той же час до іншої матричної частини деталі, яка не контактує з абразивом або агресивним високотемпературним середовищем, можуть висуватись протилежні вимоги, а саме: відсутність карбідоутворювальних хімічних елементів, м'яка в'язко-пластична ударостійка феритна або аустенітна металева матриця тощо. Виходячи з умов експлуатації, такі деталі машин і механізмів мають бути з диференційними властивостями окремих частин. Очевидно, що найкращим варіантом промислового виготовлення таких литих деталей мають бути технології поверхневого легування після чіткого встановлення теоретичних і технологічних основ таких процесів.

Отже, дисертаційна робота, яку спрямовано на розроблення теоретичних і технологічних основ диференціації властивостей поверхні виливка методами поверхневого внутрішньоформового легування та модифікування сплавів на основі заліза є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами.** Робота виконувалась на кафедрі ливарного виробництва чорних та кольорових металів, КПП ім. Ігоря Сікорського та пов'язана з темами: №2851п «Технологічні особливості прогнозування властивостей розплавів і структури металу виливків для роботи в екстремальних умовах» (номер держреєстрації 0115U000406), наказ Міністерства освіти і науки України від 31.10.14 р. №1243 (2015...2016 рр.).

**Мета та завдання дослідження.** Метою роботи є розроблення наукових і технологічних принципів диференціації спеціальних властивостей металу у виливках відповідального та особливо відповідального призначення з підвищенням експлуатаційної надійності та довговічності роботи машин і механізмів.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовано такі основні завдання:

1. Розробити методики дослідження процесів поверхневого легування та виготовлення виливків із диференційними спеціальними властивостями поверхні, зокрема, із високими зносостійкістю та окалиностійкістю.

2. Науково обґрунтувати й вибрати хімічні елементи для зносостійкого та жаростійкого поверхневого легування виливків у ливарній формі.

3. Вивчити вплив гранулометричного складу наповнювача легувального покриття на процеси утворення й товщину легованого шару та визначити оптимальні межі легувальних компонентів.

4. Дослідити зміну структури, твердості металу та мікротвердості структурних складових легованого шару залежно від хімічного та гранулометричного складу наповнювачів для зносостійкого й жаростійкого поверхневого легування.

5. Визначити оптимальний хімічний й гранулометричний склад наповнювачів й зв'язувальних компонентів для зносостійкого й жаростійкого легування виливків.

6. Розробити технологічні процеси та інструкції для виготовлення виливків з потрібними диференційними спеціальними властивостями поверхні.

7. Запропонувати конкретні рекомендації щодо особливостей виготовлення виливків з диференційними властивостями поверхні у виробничих умовах.

*Об'єкт дослідження:* процеси і технології виготовлення виливків з диференційними властивостями поверхні для роботи в екстремальних умовах легуванням металу в ливарній формі.

*Предмет дослідження:* взаємодія розплаву з компонентами легувального покриття, кристалізація та структура металу легованого шару, його твердість, зносостійкість і жаростійкість.

**Методи дослідження:** Мета й поставлені в роботі задачі обумовили проведення комплексних теоретичних й експериментальних досліджень процесу поверхневого легування виливків з використанням сучасних методів та устаткування для визначення, структури, твердості легованого металу та мікротвердості його складових з високими достовірністю й відтворюваністю результатів. Металографічні дослідження виконано на мікроскопах MIM-8, NEOFOT-21, PEM-106I та Axio Vert.A1 (Carl Zeiss). Фазовий склад легувальних покриттів визначено на дифрактометрах Ultima IV та ДРОН-2.0.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Удосконалено спосіб виготовлення виливків з диференційними властивостями поверхні легуванням металу в ливарній формі, що дає змогу замінити традиційний метод об'ємного легування металу в печі або в ковші поверхневим. Це в декілька разів зменшує витрати дорогих феросплавів і, як наслідок, знижує собівартість продукції з одночасним підвищенням терміну експлуатації литих деталей в екстремальних умовах абразивного, ударно-абразивного або гідроабразивного зношування та високих температур й агресивних середовищ.

2. Уперше визначено, що формування товщини та мікроструктури легованого зносостійкого чи жаростійкого шару залежить від хімічного та фракційного складу компонентів легувального покриття, температури їх плавлення та температури розплаву, що заливається у форму. Установлено, що використання компонентів з температурою плавлення нижчою температури розплаву та фракцій 02...0315 є головними технологічними факторами для формування якісного легованого шару необхідної товщини.

3. Встановлено закономірності формування мікроструктури в перехідній зоні між основним металом вилівка й легованим шаром. Це дає змогу чітко визначити властивості та ступінь утримування легованого шару на поверхні виробу й оцінити його експлуатаційну надійність.

4. Визначено механізм формування поверхневого шару після нанесення на поверхню ливарної форми покриття на основі компонентів, які вміщують феросплави, хімічні сполуки

різного складу та окремі хімічні елементи. Це дало змогу їх використовувати для виготовлення литих деталей з диференційованими властивостями.

5. Уперше встановлено, що незалежно від наповнювача легувальне покриття товщиною 3 мм прогрівається до максимальної температури протягом 250...350 с, що достатньо для розплавлення або розчинення його компонентів з одночасним утворенням легованого шару. За умови збільшення товщини легувального покриття остаточне формування легованого шару відбувається в результаті протікання дифузійних процесів на межі розділу основа – легувальне покриття.

6. Показано, що розроблений спосіб дає змогу виготовляти жаростійкі литі деталі для роботи в умовах агресивних газових середовищ за температур до 1100 °С, оскільки за такої температури збільшення маси деталі не перевищує 3,0...6,0 мг/см<sup>2</sup> за 100 год.

7. Уперше встановлені залежності у вигляді номограм для визначення співвідношення компонентів у легувальному покритті та їх фракцій залежно від необхідної товщини легованого шару та часу експлуатації литої деталі.

**Практичне значення отриманих результатів.** За результатами виконаних досліджень:

1. Розроблено новий спосіб та технології виготовлення виливків з диференційними властивостями поверхні для роботи в екстремальних умовах з використанням внутрішньоформового легування.

2. Установлено вплив основних технологічних параметрів процесу на формування якісної структури та властивостей легованого шару, а саме: вихідної товщини легувального покриття, гранулометричного складу його компонентів і температури розплаву вихідної сталі, що заливається в ливарну форму.

3. Вивчено в комплексі фізичні та експлуатаційні характеристики виливків. Одержані результати дали підстави для використання литих жаростійких та зносостійких виробів із цих сплавів.

4. Розроблено технології виготовлення якісних виливків з леговою поверхнею: визначено склад сумішей та гранулометричний склад легувальних покриттів, оптимальні температури розплаву перед заливанням його у форми залежно від товщини стінок виливка та його габаритних розмірів. Це дало можливість вперше отримати легований шар товщиною до 12 мм.

6. **Особистий внесок здобувача.** Усі наукові положення дисертаційної роботи, що виносяться на захист, сформульовано автором особисто. Складено огляд літератури за темою дисертаційної роботи, зроблено відповідні висновки, сформульовано мету та основні задачі дослідження. Послідовним виконанням серії лабораторних і промислових досліджень автором визначено особливості перспективного конструктивно-технологічного варіанта виробництва сталевих виливків з диференційними властивостями поверхні.

Автором виконано математичне моделювання гідродинамічних процесів, що відбуваються під час виготовлення виливків з диференційними властивостями поверхні. Установлено закономірності впливу основних технологічних параметрів вихідної товщини насипного шару легувальних елементів та температури заливання сталі на структуру та властивості виливків. Обговорення результатів досліджень, формулювання основних висновків і рекомендацій за темою роботи виконано здобувачем спільно з науковим керівником.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення та результати, що викладено в дисертації, апробовано на конференціях: XXIV міжнародній науково-практичній конференції: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: (18-20 травня 2016р., Харків); Міжнародній конференції «Web of Scholar. Multidisciplinary Scientific Journal 6(6), October 2016»; Міжнародній конференції «Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра», Київ, 2016; XII Міжнародній науково-практичній конференції «Литьє. Металургія 2016» 24-26 травня 2016 р., м. Запоріжжя; IX Міжнародній науково-технічній конференції «Нові матеріали і технології в машинобудуванні», м. Київ, 30-31 травня 2017 р.; XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Литьє. Металургія 2017», 23-25 травня 2017 р. м. Запоріжжя; VI Міжнародній науково-технічній конференції «Перспективні технології, матеріали та обладнання в ливарному

виробництві», 25–28 вересня 2017 р., м. Краматорськ; X Міжнародній науково-технічна конференції «Нові матеріали і технології в машинобудуванні», м. Київ 24-25 квітня 2018 р.; XIV Міжнародній науково-практична конференції «Литьє. Металлургия 2018», 22-24 травня 2018 р. м. Запоріжжя.

Дисертаційна робота доповідалася на кафедрі ливарного виробництва чорних і кольорових металів НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» (Київ, 2019 р.).

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи викладено в 16 наукових працях, з яких 1 стаття в іноземному виданні, 5 статей опубліковано в науково метричних базах даних України та в 10 тезах доповідей в збірниках матеріалів міжнародних конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел із 105 найменувань і 2 додатків. Основну частину дисертації викладено на 140 сторінках, вона вміщує 50 рисунків, 16 таблиць. Загальний обсяг роботи 142 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації та доцільність її виконання, визначено мету та задачі досліджень, об'єкт і предмет дослідження, відзначено наукову новизну роботи, її практичну значимість, наведено дані щодо апробації та публікації результатів роботи.

У **першому розділі** проаналізовано номенклатуру промислових литих деталей, які працюють в різних галузях в умовах високих температур, агресивних середовищ, абразивного та гідроабразивного зносу, визначено матеріали, що використовують для їх виготовлення, та основні вимоги до сплавів. Проаналізовано основні можливі технології виробництва виливків з диференційними властивостями поверхні для роботи в різних умовах та визначено їх переваги та недоліки. Розглянуто особливості виготовлення виливків з використанням поверхневого легування в ливарній формі. Визначено основні фактори, які лімітують процес розплавлення легувального шару під час заливання ливарної форми розплавом. Визначено недоліки методу, серед яких є можливість нерівномірного розплавлення чи розчинення легувального покриття потоком розплаву й утворення неоднорідної структури та градієнтну властивостей металу в частинах виливків, які піддаються поверхневому легуванню.

На підставі критичного аналізу науково-технічної літератури за темою дисертаційної роботи сформульовано висновки, основну мету та послідовність досліджень для вирішення поставлених задач. Розроблені методи виготовлення виливків з диференційними властивостями поверхні мають відповідати світовим аналогам або перевищувати їх.

У **другому розділі** наведено методики дослідження ливарних, механічних і спеціальних властивостей сплавів на основі заліза, описано матеріали та використовуване устаткування.

Базовий сплав виплавляли в індукційній печі ІСТ-0,06 місткістю 60 кг з кислото футеровкою. Як базовий сплав використовували середньовуглецеву сталь 30Л (ДСТУ 8781:2018).

Для дослідження процесів виготовлення виливків з диференційними властивостями поверхні розроблено методику поверхневого легування базового сплаву в порожнині ливарної форми нанесенням на поверхні стрижнів або форми легувальних покриттів необхідного хімічного складу та товщини. Як наповнювачі легувального покриття для зносостійкого легування виливків використовували металевий марганець Mn965, феромарганець ФМн78А та ФМн1,5, ферохром ФХ800А та ФХ015А, феротитан ФТи30А та ФТи70А, феробор ФБ10 або їх суміші в різних співвідношеннях, а для жаростійкого легування – ферохроми різних марок та алюміній. Використовували компоненти фракцій <02; 02; 0315; 04; 063 та 1,0. З метою приготування максимально гомогенного складу сумішей вихідні компоненти змішували за допомогою лабораторного млина протягом певного часу.

Стрижні виготовляли із рідкоскляної суміші та фарбували їх дистенсиліманітовою фарбою з наступним сушінням і нанесенням на їх поверхню легувального покриття товщиною 3, 4, 5, 6 і 7 мм. Як зв'язувальний компонент використовували рідке скло густиною 1200 кг/м<sup>3</sup>.

Для одержання покриття однакової товщини використовували металеві рамки певних розмірів і різної висоти. Стрижні з нанесеним покриттям сушили протягом доби на повітрі, а безпосередньо перед використанням прожарювали за температури 300 °С протягом двох годин. Для чистоти експерименту та зменшення кількості базового розплаву на кожний стрижень наносили по 5 різних покриттів за складом або товщиною, що давало змогу одночасно в одній формі виготовити 20 зразків після використання двох стрижнів.

Оскільки головним фактором розчинення або розплавлення легувального покриття є температура базового розплаву перед заливанням у форму, для дослідження цих процесів використовували термопари ВР 5/20, які встановлювали між стрижнем і легувальним покриттям, всередині покриття та на межі легувальне покриття – базовий сплав. Реєстрацію зміни температури в часі здійснювали за допомогою комп'ютера. За одержаними кривими охолодження оцінювали процес, який превалює в часі – розчинення чи розплавлення легувального покриття залежно від складу компонентів.

Дослідження зносостійкості легованого шару здійснювали на установці, яка оснащена затискувачем зразків і пристроєм для зміни навантаження на зразок. Як абразивний матеріал використовували електрокорундове полотно з розміром абразивних часточок 320 мкм. Диск із закріпленням на ньому абразивом обертався із швидкістю 960 хв<sup>-1</sup>. Через кожні 15 хв зразки зважували та змінювали абразивне полотно. Зносостійкість визначали за втратою маси зразка протягом випробовування. Зважування зразків до випробовувань і після них виконували на аналітичних терезах з точністю до 0,001 г.

Окалиностійкість легованого шару визначали в середовищі перегрітого повітря за температур до 1100 °С з використанням установки на базі трубчастої силітової печі, яка дає змогу нагрівати зразки до температури 1350 °С у різних газових середовищах протягом заданого часу.

Механічні властивості, твердість зразків та мікротвердість структурних складових визначали за стандартними методиками. Металографічні дослідження здійснювали на мікроскопах МІМ-8, NEOFOT-21, PEM-106И та Axio Vert.A1 (Carl Zeiss). Вибіркові дослідження мікроструктури нетравлених і травлених зразків, локальний хімічний склад окремих фаз й розподіл хімічних елементів між ними виконували на растровому електронному мікроскопі РЕМ 106И. Фазовий склад зразків та оксидних плівок визначали на дифрактометрах Ultima IV та ДРОН-2.0.

Оцінку забрудненості неметалевими вкрапленнями легованого шару та металу базового сплаву виконували лінійним методом (ГОСТ 1778-70 Металографічні методи визначення неметалевих вкраплень).

**У третьому розділі** викладено результати досліджень технологічних процесів внутрішньоформового поверхневого легування базового сплаву та вибору ефективних компонентів наповнювачів легувальних покриттів для виготовлення виливків із зносостійкою поверхнею. Виходячи з хімічної активності до утворення карбідів, нітридів, боридів та інших складових структури з високою твердістю, температури плавлення вихідних компонентів для легувального покриття та враховуючи економічні аспекти, матеріалами для виготовлення виливків із диференційною зносостійкою поверхнею обрано феромарганець марок ФМн78А, ФМн1,5, марганець Мн965 та феротитан ФТи30А. Використано фракції наведених компонентів від 02 до 063 і товщини легувального покриття 3, 4, 5, 6, 7 мм. Температуру базового сплаву перед заливанням у ливарну форму витримували на рівні 1580 ± 10 °С.

Зміна товщини легованого шару залежно від товщини легувального покриття після використання різних марок феромарганцю та марганцю показано на рис. 1.

Установлено, що найбільшу товщину легованого шару (майже 12 мм) можна одержати за використання, як наповнювача, легувального покриття із високовуглецевого феромарганцю ФМн78А за його товщини 7 мм, що можна пояснити найнижчою серед інших компонентів температурою плавлення. За такої температури розплаву легувальне покриття практично повністю розплавляється та змішується з ним, утворюючи легований шар товщиною до 12 мм. За хімічним складом і структурою такий шар повною мірою можна віднести до

середньомарганцевих сталей з високою твердістю, оскільки метал легованого шару являє собою легований марганцем аустеніт і складні карбіди ( $\text{Fe}_3$ ,  $\text{Mn}_3\text{C}$ ).

Такий самий характер зміни товщини легованого шару та структури зберігається й за використання інших компонентів, але при цьому товщина легованого шару дещо зменшується, хоча й залишається досить високою.

Отже, для зносостійкого поверхневого легування деталей, які працюють в умовах абразивного або гідроабразивного зносу, з урахуванням економічних аспектів доцільно використовувати дешевий високовуглецевий феромарганець, який забезпечує стабільність процесу поверхневого легування та сприяє утворенню якісного легованого шару значної товщини.

Для виготовлення литих деталей, що працюють в умовах ударноабразивного зносу, доцільно використовувати як легувальний компонент марганець, оскільки в цьому разі легований шар являє собою структуру високомарганцевої сталі, яка в таких умовах експлуатації наклепується й підвищує твердість поверхневого шару майже вдвічі.

Практичний інтерес представляють дослідження впливу гранулометричного складу цих компонентів легувального покриття на товщину легованого шару. У всіх досліджах використано легувальні покриття товщиною 7 мм. Результати досліджень показано на рис. 2.

Установлено, що підвищення розмірів фракцій компонентів, які входять до складу легувального покриття, призводить до зменшення товщини легованого шару, хоча найкращі результати залишаються після використання високовуглецевого феромарганцю ФМн78А будь-якої фракції (див. рис. 2), а за фракції 02 товщина легованого шару досягає майже 12 мм. Легований шар залишається значним і для фракції 0315.

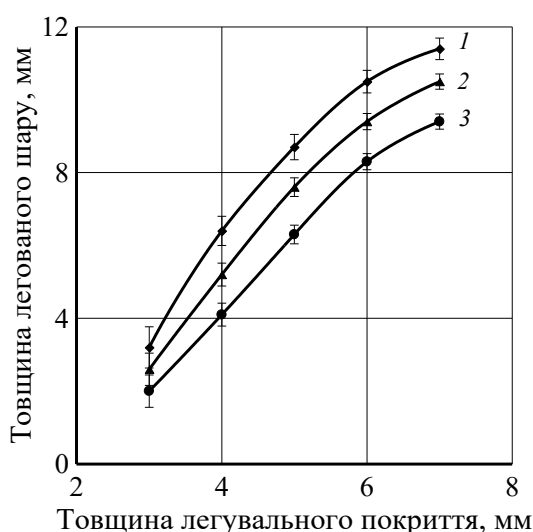


Рис. 1. Зміна товщини легованого шару залежно від товщини легувального покриття (фракція 02): 1 – ФМн78А; 2 – Мн965; 3 – ФМн1,5

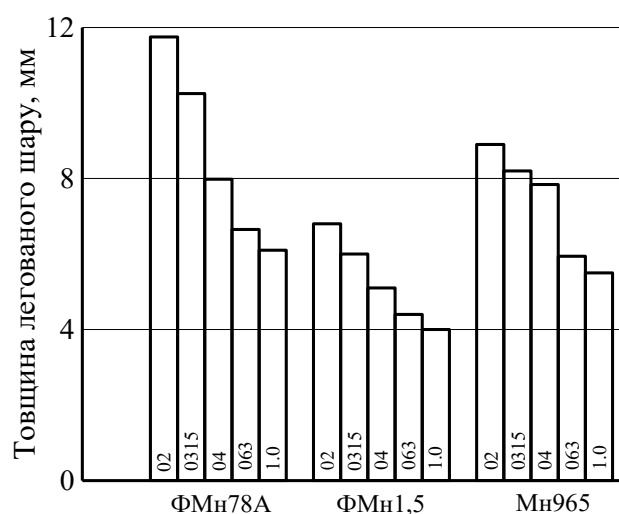


Рис. 2. Зміна товщини легованого шару залежно від фракцій наповнювача легувального покриття з різних компонентів

Дещо гірші результати одержано за використання марганцю Мн965 і найменша товщина легованого шару має місце для низьковуглецевого феромарганцю ФМн1,5. Установлено, що всі компоненти розплавляються під дією температури розплаву, проте тепловмісту рідкого металу не вистачає для повного розплавлення легувального покриття з використанням фракцій, крупніших за 0315. Візуальним аналізом зразків після видалення їх із форми встановлено, що із збільшенням розмірів фракцій товщина легувального покриття, яке не розплавилось, зростає. Очевидно, що для повного розплавлення таких покриттів необхідно підвищувати температуру розплаву та швидкість заповнення ним ливарних форм.



Досліджено зміну твердості товщини легованого шару, одержаного після використання різних фракцій високовуглецевого феромарганцю ФМн78А. Оскільки найкращі результати щодо товщини легованого шару одержано за використання фракцій 02; 0315 і 04, в подальших дослідженнях використовували вплив цих фракцій на характеристики легованого шару. Зміну твердості металу по товщині легованого шару показано на рис. 3.

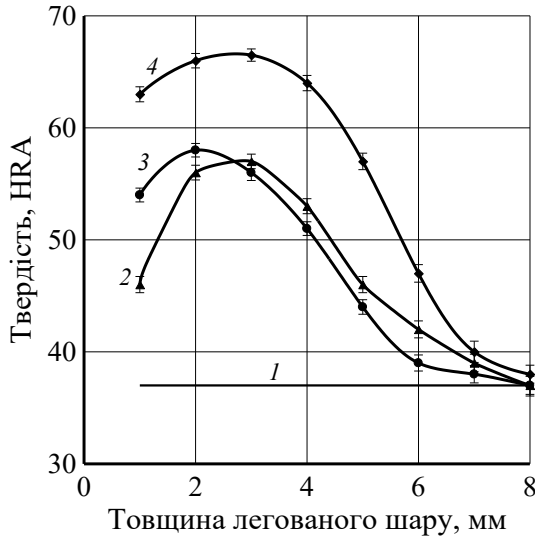


Рис. 3. Зміна твердості легованого шару по його товщині залежно від використаної фракції ФМн78А: 1 – твердість основи; 2 – фракція 04; 3 – фракція 02; 4 – фракція 0315

За використання фракції 04 превалюють процеси просочування розплаву в легувальне покриття з подальшим розплавленням його часточок та утворенням твердого розчину й невеликої кількості карбідів, тому легований шар набуває проміжного значення твердості (див. рис. 3). Отже, зміною твердості з певною достовірністю можна визначити товщину легованого шару разом з його перехідною зоною.

Таким чином, для одержання максимальних твердості та товщини легованого шару за використання високовуглецевого феромарганцю ФМн78А як наповнювача легувального покриття доцільно застосовувати фракцію 0315. Зрозуміло, що приготувати наповнювач на основі тільки фракції 0315 у виробничих умовах дуже складно. У цьому разі можна використовувати й інші фракції у відповідних їх співвідношеннях залежно від способу подрібнення шматків феромарганцю, що також забезпечить формування легованого шару необхідної товщини з високою твердістю.

Відомо, що титан відносять до хімічних елементів, які одночасно утворюють твердий розчин, карбіди, нітриди, оксиди та інші сполуки. Дослідженням кривих охолодження легувальних покриттів на основі ФТн30А та ФТн70А встановлено, що названі процеси можуть відбуватися під час взаємодії розплаву з легувальним покриттям, оскільки при цьому вказаної вище температури достатньо для його розплавлення.

Вивчено доцільність використання феротитану цих марок різних фракцій, як наповнювача легувального покриття. Встановлено, що максимальна товщина легованого шару досягається після використання обох марок фракції 0315 (рис. 4). Такий вплив різних фракцій наповнювачів на зміну товщини легованого шару та його властивостей пояснюється як і для феромарганцю: за використання фракції 0315 одночасно здійснюються процеси розплавлення часточок легувального покриття й проникнення розплаву в капіляри легувального покриття, що й призводить до утворення легованого шару товщиною понад 6 мм (див. рис.4). Одночасно

Установлено, що максимальної твердості, 68HRA, легований шар набуває після використання фракції 0315. Це майже вдвічі вище твердості металу основи. Деяко нижча твердість легованого шару спостерігається після використання фракцій 02 і 04. Такий вплив різних фракцій феромарганцю на зміну твердості легованого шару можна пояснити так: за використання фракції 0315 одночасно здійснюються процеси розплавлення часточок легувального покриття й проникнення розплаву в його капіляри з подальшим утворенням карбідів марганцю, твердого розчину заліза з марганцем та ймовірними залишками часточок феромарганцю, що й підвищує твердість легованого шару.

За використання фракції 02 здійснюється розплавлення легувального покриття, починаючи з його поверхні (просочування покриття розплавом практично відсутнє), тому в структуроутворенні превалює утворення твердого розчину, що знижує твердість легованого шару.

визначено, що найвищу твердість легований шар має після використання покриття на основі ФТн30 фракції 0315, оскільки при цьому найефективніше проявляються процеси утворення карбідів і нітридів титану та твердого розчину. Твердість шару при цьому в 1,5 рази вища в порівнянні з твердістю основи металу й досягає 58HRA (рис. 5). Таку залежність зміни твердості по товщині шару можна пояснити збільшенням кількості карбонітридів титану в легованому шарі внаслідок повільніших процесів кристалізації в порівнянні з поверхнею шару, де твердість його значно менша.

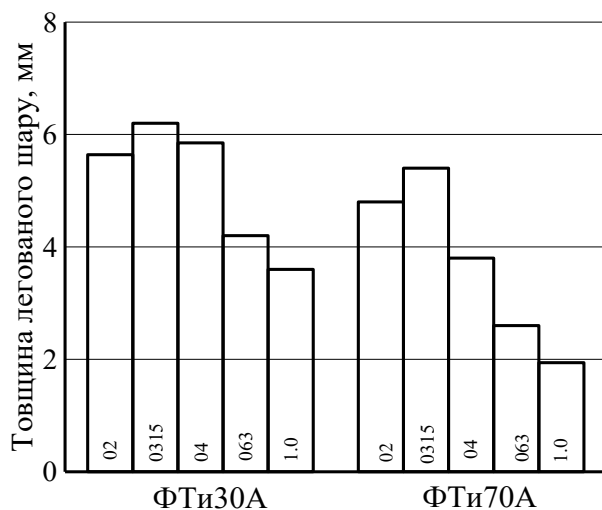


Рис. 4. Зміна товщини легованого шару залежно від фракції наповнювача легувального покриття із різних компонентів

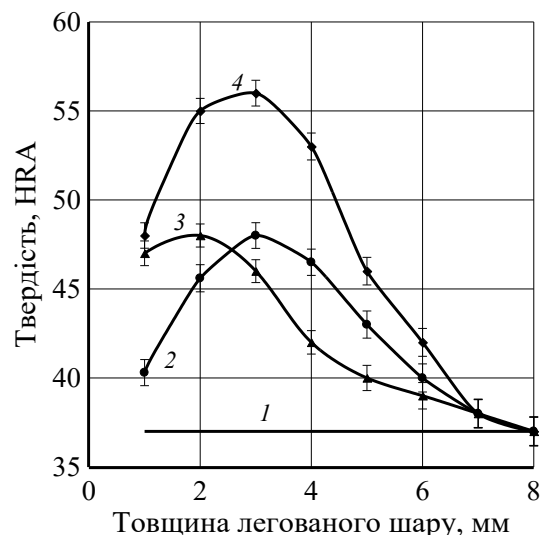


Рис. 5. Зміна твердості легованого шару по його товщині залежно від фракції ФТн30А: 1 – твердість основи; 2 – фракція 02; 3 – фракція 04; 4 – фракція 0315

Дослідженнями структури встановлено, що в усіх випадках утворюється перехідна зона, яка забезпечує міцний зв'язок основи із зносостійким легованим шаром.

Таким чином, найбільшу товщину легованого шару з використанням розглянутих наповнювачів можна одержати після застосування легувального покриття фракції 0315, оскільки за цієї умови здійснюється проникнення розплаву в легувальне покриття з подальшим розплавленням або розчиненням його компонентів. Проте використання низькотемпературних компонентів легувального покриття (ФМн78А, Мн965) фракцій 02, 0315 призводить до утворення легованого шару максимальної товщини – 8...12 мм.

Крім того встановлено, що товщина легованого шару залежить, головним чином, від початкової глибини проникнення рідкого металу в пори легувального покриття. Оскільки покриття являє собою потужний холодильник (особливо коли воно має товщину 5...7 мм), то глибина проникнення розплаву в пори покриття значною мірою залежить від температури та рідкоплинності базового розплаву.

Отже, вибір матеріалу для легувального покриття та його фракції необхідно виконувати з урахуванням температур плавлення наповнювача, базового розплаву перед заливанням форм і самої ливарної форми.

У роботі вивчено можливість використання механічних сумішей основних карбідотворювальних елементів для поверхневого легування з метою одержання максимальної твердості робочих поверхонь литих виробів. В усіх дослідах використовували покриття товщиною 3 мм, виходячи із виробничих можливостей нанесення покриття пульверизатором.

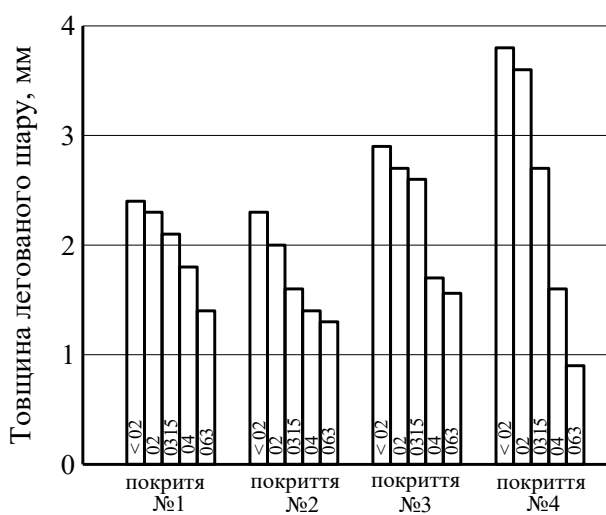
Вміст компонентів у сумішах та їх розрахунковий хімічний склад наведено в табл. 1. Механічні суміші відрізняються одна від другої вмістом марганцю, вуглецю та заліза. Виходячи з такого співвідношення компонентів у сумішах, температури плавлення їх різні: найвищу має покриття №1, найнижчу – покриття №4. Саме цим і пояснюються найкращі результати,

одержані після використання покриття №4 фракцій < 02 та 02 (рис. 6). У цьому разі здійснюється, переважно, плавлення покриття під дією температури розплаву як у разі використання покриття, до складу якого входить тільки Mn965.

Таблиця 1

Вміст компонентів у сумішах та їх розрахунковий хімічний склад

Номер суміші	Вміст компонентів у суміші, мас. ч.						Розрахований вміст елементів, мас. %					
	Mn965	ФХ650А	ФТi30А	ФБ10	Залізний порошок	Електроодний бій	Cr	Mn	C	Ti	P	Fe
1	35	6	15	5	33	4	3,5	33,8	4,10	5,3	0,5	52,80
2	40	6	15	5	27	5	3,5	38,6	5,08	5,3	0,5	47,02
3	45	6	15	5	21	6	3,5	43,4	6,06	5,3	0,5	41,22
4	50	6	15	10	9	8	3,5	48,3	8,02	5,3	1,0	33,88



Товщина покриття - 3 мм

Рис. 6. Вплив легувальних покриттів на основі механічних сумішей різного гранулометричного складу на товщину легованого шару

В результаті аналізу одержаних результатів встановлено, що для зносостійкого поверхневого легування можна використовувати будь-яку з досліджених сумішей. Вибір її залежить від необхідної товщини зносостійкого шару на деталі та наявності відповідної фракції феросплаву.

Оскільки найкращі результати одержано для суміші №4, досліджено зміну товщини легованого шару залежно від товщини легувального покриття після використання цієї суміші різних фракцій. Результати досліджень показано на рис. 7 та рис. 8.

Установлено, як і в попередніх дослідженнях, для всіх фракцій максимальну товщину легованого шару можна одержати за максимальної товщини легувального покриття.

Очевидно, що практичний інтерес представляють дослідження властивостей легованого шару в зв'язку з тим, що механізми утворення легованого шару дещо відрізняються залежно від товщини легувального покриття та його гранулометричного складу.

Досліджено зміну твердості легованого шару залежно від товщини легувального покриття із різних сумішей. Результати показано на рис. 9. Максимальну твердість для всіх сумішей одержано за використання легувального покриття товщиною 5 мм. Очевидно, за такої товщини максимально проявляються процеси утворення карбідів і твердого розчину. Твердість легованого шару при цьому в 2,3...2,5 рази перевищує твердість базового сплаву, яка знаходиться на рівні 30...32 HRA.

Оскільки найвища твердість легованого шару досягається після використання суміші №4 фракції 0315, досліджено зміну його зносостійкості залежно від товщини легувального покриття. Результати досліджень показано на рис. 10.

Дослідженнями встановлено, що характер зміни зносостійкості залежно від товщини легувального покриття ідентичний зміні твердості. Цим підтверджено відоме правило: зносостійкість металевих матеріалів залежить, переважно, від їх твердості.

За допомогою рентгеноструктурних досліджень встановлено, що вміст карбідної фази в легованому шарі становить біля 33% для суміші №3 та 39% – для суміші №4 (рис. 11). Цим пояснюються найвищі показники твердості та зносостійкості легованого шару після використання суміші №4.

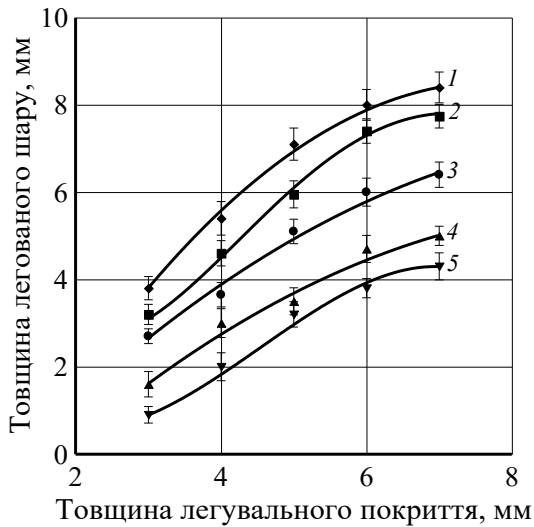


Рис. 7. Товщина легованого шару залежно від товщини легувального покриття №4 (а): 1 – фракція < 02; 2 – фракція 02; 3 – фракція 0315; 4 – фракція 04; 5 – фракція 063

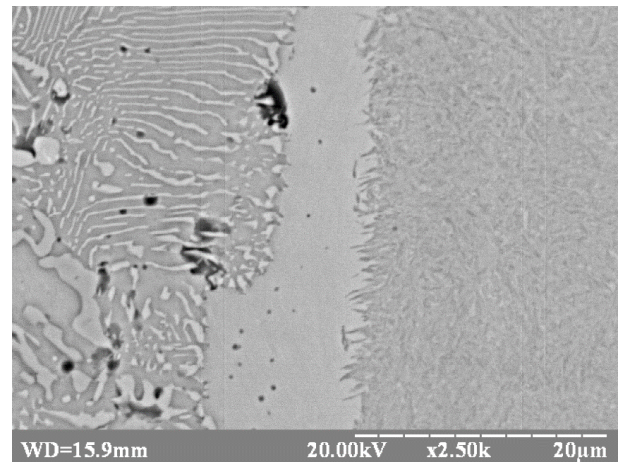


Рис. 8. Мікроструктура отриманого зразка – фракція 0315

Промисловість України випускає різні хімічні сполуки: карбіди, бориди, нітриди тощо, які можуть представляти теоретичний і практичний інтерес для технологій поверхневого легування виробів у ливарній формі. Нами досліджено вплив деяких із хімічних сполук на твердість і товщину зносостійкого шару: бориду титану, карбідів ванадію різних фракцій, карбід хрома та суміші карбід хрома та карбід ванадію (50% Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>+50% VC). Результати досліджень показано на рис. 12.

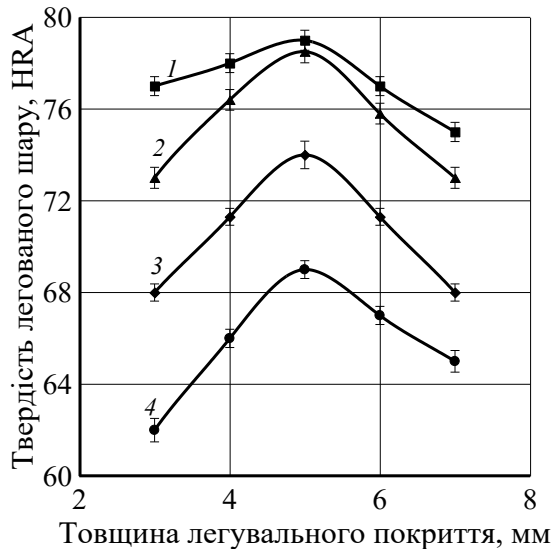


Рис. 9. Твердість легованого шару залежно від товщини легувального покриття: 1 – покриття №4; 2 – покриття №3; 3 – покриття №2; 4 – покриття №1

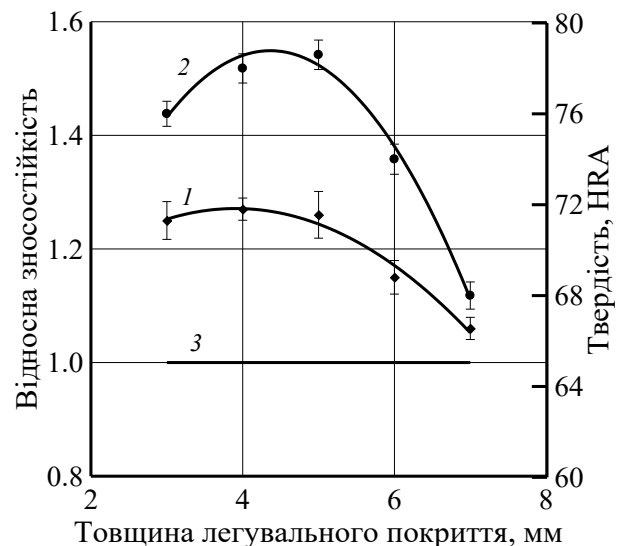


Рис. 10. Зносостійкість та твердість легованого шару залежно від товщини легувального покриття: 1 – відносна зносостійкість; 2 – твердість; 3 – сталь 30Л

Установлено, що всі сполуки сприяють підвищенню твердості поверхні виливка, але найкращі результати одержані після використання суміші карбідів хрому та ванадію (крива 6, рис. 12). Твердість на поверхні легованого шару досягає 73 HRA, що вдвічі більше, ніж твердість базового сплаву. Пояснити це, очевидно, можна тим, що за період контакту розплаву з легувальним покриттям карбіди хрому та ванадію не встигають розпадатися й армують поверхневий шар виробу, підвищуючи його твердість.

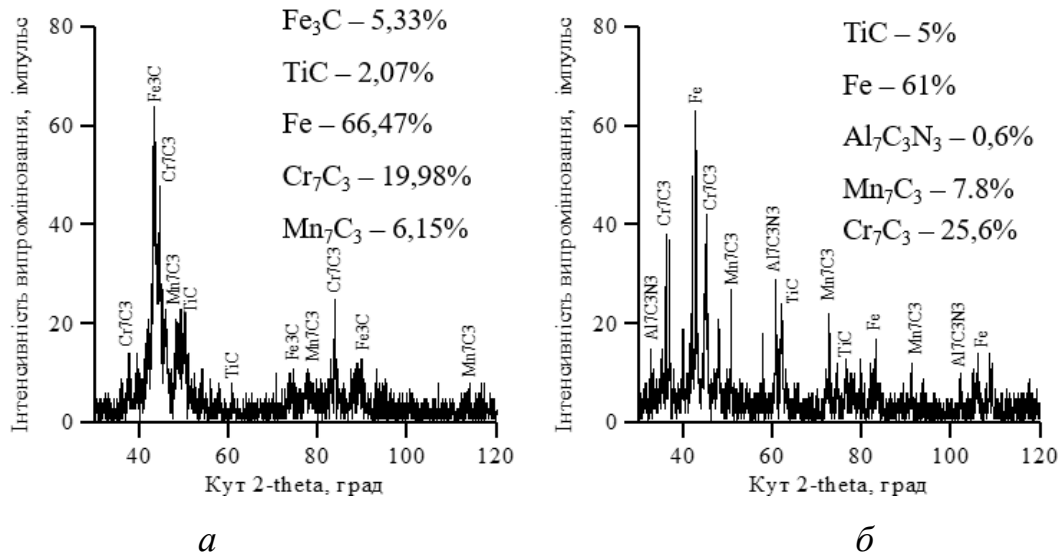


Рис. 11. Дифрактограми легованого шару з використанням сумішей №3 (а) та №4 (б)

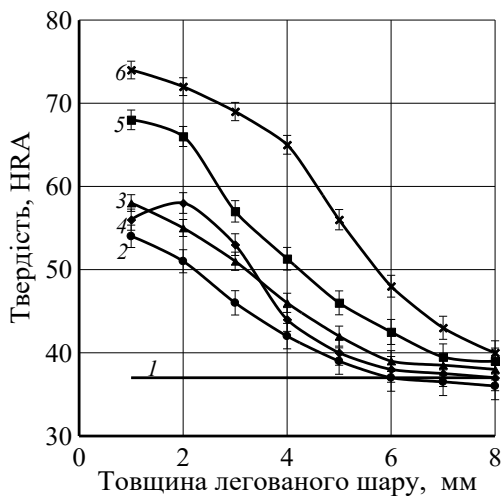


Рис. 12. Твердість зносостійкого шару залежно від хімічних сполук у легувальному покритті: 1 – сталь 30Л; 2 –  $TiB_2$ ; 3 – VC (фракція 02); 4 –  $Cr_3C_2$ ; 5 – VC (фракція 01); 6 – 50%  $Cr_3C_2$  + 50% VC (фракція 02)

Цим доказано реальну можливість використання таких хімічних сполук як наповнювачів легувального покриття для виготовлення зносостійких литих деталей, які не піддаються механічному обробленню.

Проте, враховуючи вартість таких сполук необхідно перед їх використанням визначати економічну доцільність впровадження технологій у виробництво.

Отже, для високої ефективності виготовлення литих зносостійких деталей з диференційними властивостями поверхні та якісним легованим шаром товщиною до 12 мм з високою його твердістю легуванням у ливарній формі доцільно використовувати як наповнювачі легувальних покриттів окремі карбідоутворювальні хімічні елементи у вигляді феросплавів, їх механічні суміші та хімічні сполуки.

Важливим технологічним аспектом є також вибір гранулометричного складу компонентів легувального покриття з урахуванням температур їх плавлення та температури базового розплаву перед заливанням його в ливарну форму.

У **четвертому розділі** наведено результати дослідження процесу жаростійкого поверхневого легування. Як вихідні матеріали для легувального покриття в цьому разі використовували порошки ферохрому марок ФХ800А та ФХ15А та алюмінію марки А85 фракцій 02; 0315 і 04. Ці матеріали вибрано на підставі аналізу хімічних елементів, які

найбільшою мірою сприяють підвищенню окалиностійкості сплавів на основі заліза. Марки ферохрому вибрано, виходячи із температур їх плавлення: високовуглецевий ферохром ФХ800А має нижчу температуру – біля 1530 °С, а низьковуглецевий ФХ015А – біля 1610 °С. Температуру базового розплаву перед заливанням форм витримували на рівні  $1620 \pm 10^\circ\text{C}$ .

Результати досліджень наведено в табл. 2 та показано на рис. 13 і 14.

Таблиця 2

Склади жаростійких легувальних покриттів і результати їх ефективності

Індекс покриття	Склад легувального покриття, % за об'ємом		Товщина легованого шару, мкм	Збільшення маси, $\text{мг}/\text{см}^3$ , за час витримування, год	
	Алюмінієвий порошок А88	Порошок ферохрому ФХ800		10	100
0	–	–	–	6,50	56,00
1	–	100	1970	1,20	5,80
2	30	70	904	0,37	3,60
3	50	50	90	0,33	2,70
4	66,5	33,5	538	0,32	2,40
5	100	–	5500	0,30	2,20

Установлено, що за використання високовуглецевого ферохрому можна одержати на поверхні виробу легований жаростійкий шар товщиною до 8 мм (див. рис. 12), що повною мірою задовольняє вимоги користувачів жаростійкої продукції. Крім того, наявність вуглецю сприяє утворенню карбідів в легованому шарі, що суттєво підвищує його твердість і зносостійкість в умовах інтенсивної ерозії.

Дослідженнями впливу механічної суміші ферохрому та алюмінію на утворення легованого шару установлено, що за будь-якого вмісту цих компонентів утворюється шар задовільної товщини (див. рис. 14). Отже, залежно від терміну експлуатації жаростійкого виробу та необхідної для цього товщини легованого шару, можна скористатися відповідним співвідношенням.

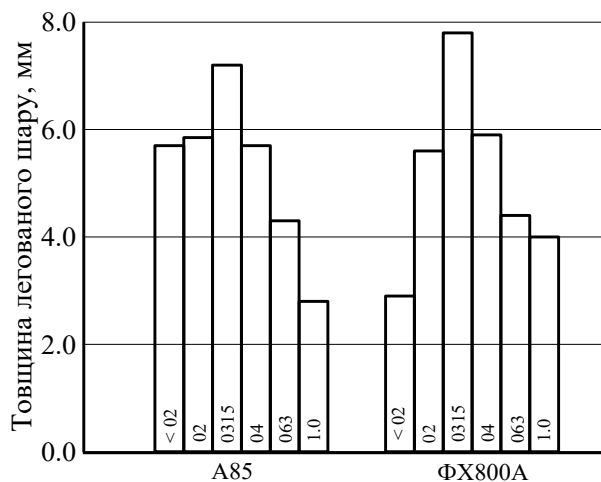


Рис. 13. Зміна товщини легованого шару залежно від фракції наповнювача легувального покриття різного складу

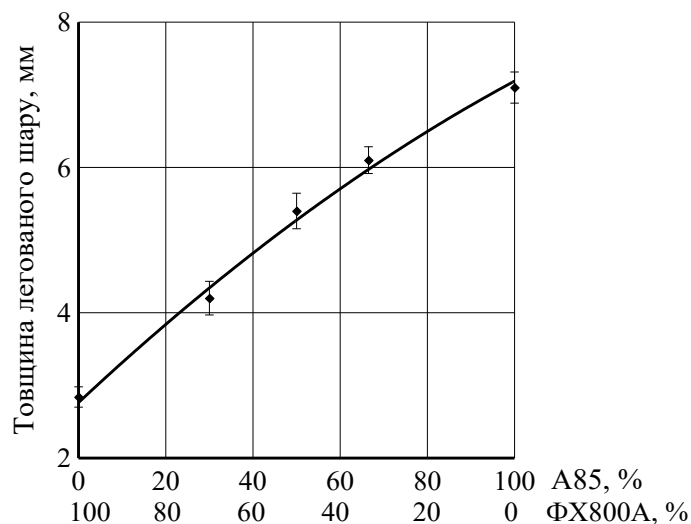


Рис. 14. Вплив співвідношення алюмінію та ферохрому на товщину легованого шару

Оскільки в роботі розглядаються можливості заміни об'ємного легування металу поверхневим у ливарній формі для виготовлення жаростійких деталей, що використовуються в тепловій енергетиці в умовах високих температур, агресивних середовищ і високого зносу, теоретичний і практичний інтерес представляють дослідження щодо впливу вибраних елементів не тільки на товщину, але й на твердість легованого шару. Результати досліджень

показано на рис. 15.

Установлено, що зміна твердості легованого шару по його товщині відбувається за такими ж законами, що й під час зносостійкого поверхневого легування. Різниця полягає тільки в тому, що ферохром ФХ800А має меншу температуру плавлення, швидше переходить в рідину основи, збільшує товщину легованого шару та підвищує його твердість: для ФХ800А максимальна твердість складає 64 HRA, а для ФХ015А – 56 HRA, хоча для ФХ015 максимум твердості зсувається вправо в порівнянні з ФХ800А (див. рис. 15).

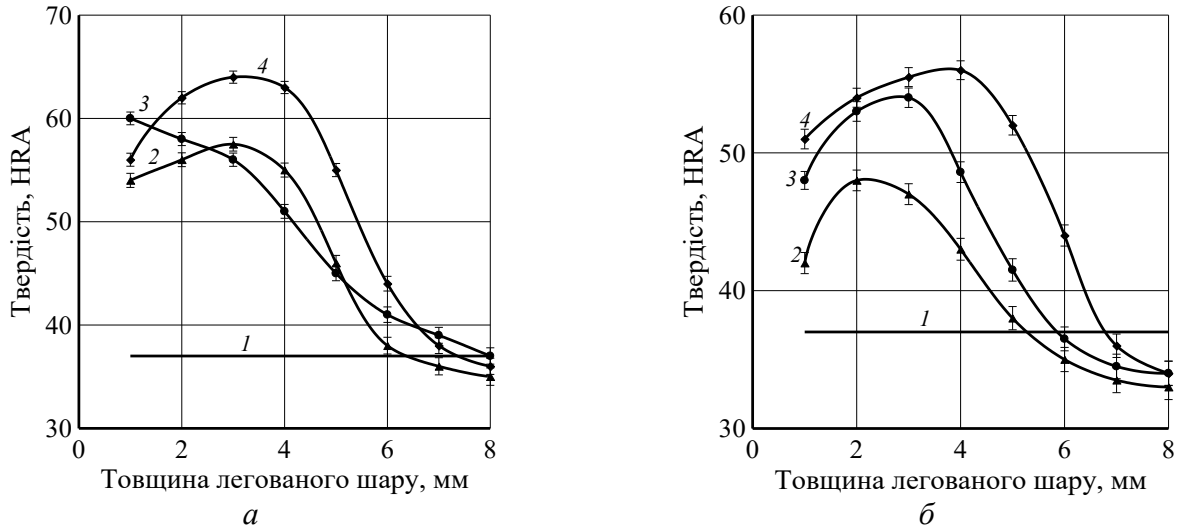


Рис. 15. Зміна твердості легованого шару по його товщині залежно від фракцій ФХ800А (а) та ФХ15А (б): 1 – твердість основи; 2 – фракція 04; 3 – фракція 02; 4 – фракція 0315

Така незначна різниця в твердості та товщині легованого шару дає можливість зробити висновок, що як наповнювачі легувального покриття можна використовувати як високовуглецеві, так і низьковуглецеві ферохроми. Особливо це стосується механічних сумішей. Проте, з точки зору приготування порошків, доцільніше використовувати високовуглецеві ферохроми, оскільки вони легше піддаються подрібненню.

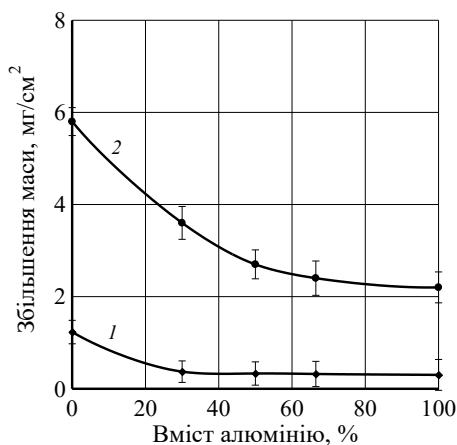


Рис. 16. Окалиностійкість легованого шару залежно від вмісту алюмінію в легувальному покритті: а – витримування за 1000 °С протягом 10 год; б – витримування за 1000 °С протягом 100 год

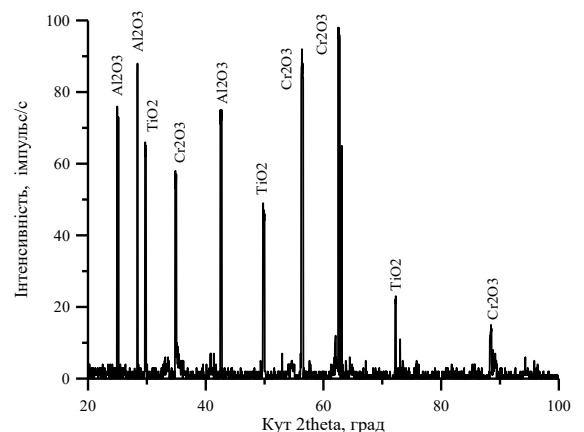


Рис. 17. Склад захисної плівки, утвореної на поверхні легованого шару після експлуатації виробу 100 год за 1000 °С (склад легувального покриття – 40% алюмінію + 60% ферохрому ФХ800А)

Дослідженнями окалиностійкості легованого шару встановлено, що за використання алюмінію та ферохрому в легувальному покритті окалиностійкість його майже в двадцять разів вища в порівнянні з окалиностійкістю вуглецевої сталі (див. табл. 2). Зміну окалиностійкості легованого шару залежно від вмісту алюмінію в легувальному покритті показано на рис. 16. Високу окалиностійкість легованого шару можна пояснити утворенням на його поверхні оксидів алюмінію  $Al_2O_3$  та хрому  $Cr_2O_3$  (рис. 17), які мають високу щільність і захищають поверхню виробу від проникнення до неї окиснювачів.

За результатами досліджень процесів жаростійкого легування у цій роботі для визначення товщини легувального покриття залежно від вмісту в ньому компонентів та їх фракцій побудовано відповідні номограми (рис. 18).

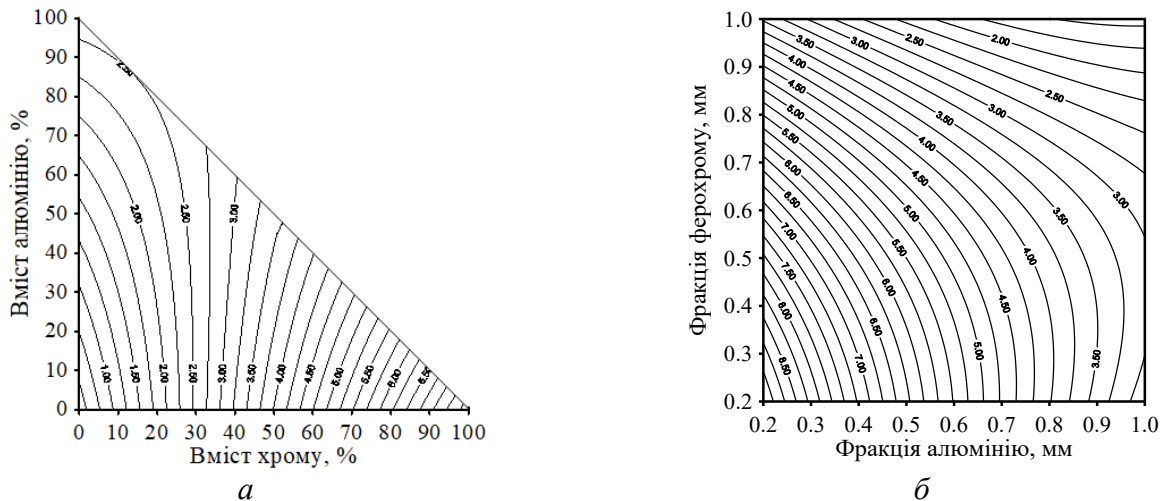


Рис. 18. Номограми для визначення товщини легувального покриття залежно від вмісту в ньому компонентів (а) та їх фракцій (б)

У **п'ятому розділі** наведено результати дослідження впливу зв'язувальних компонентів у легувальному покритті на формування якісного легованого шару. Використано рідке скло ( $M = 2,5$ , густина  $1400 \text{ кг/м}^3$ ) і технічний лігносульфонат (ЛСТ). Як легувальне покриття використовували механічну суміш №4 фракції 0315. Для покращання змочуваності компонентів легувального покриття та зменшення шкідливого впливу на якість легованого шару рідке скло розбавляли до густини  $1200 \text{ кг/м}^3$ , а в ЛСТ додавали воду до співвідношення 1:1. Інші параметри технологічного процесу залишали без змін. Результати досліджень показано на рис. 19 і 20.

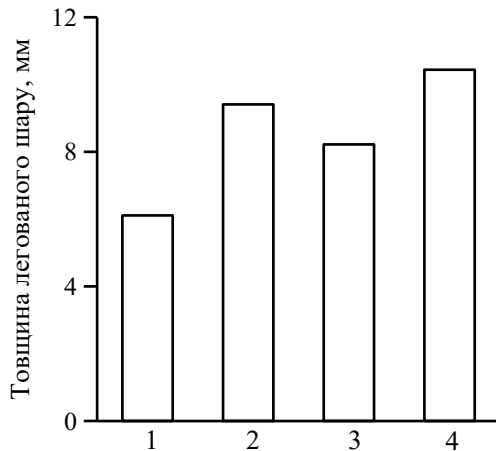


Рис. 19. Товщина легованого шару залежно від типу зв'язувального компонента: 1 – рідке скло; 2 – ЛСТ; 3 – розбавлене рідке скло; 4 – розбавлений ЛСТ

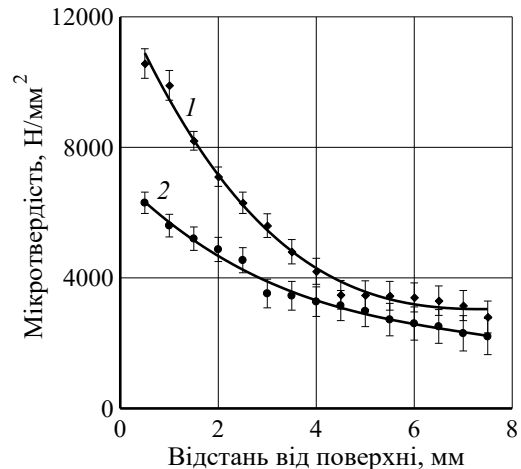


Рис. 20. Мікротвердість легованого шару по його товщині залежно від типу зв'язувального компонента: 1 – розбавлений ЛСТ; 2 – розбавлене рідке скло



Установлено, що застосування рідкого скла в стані поставки як зв'язувального компонента для легувальних покриттів недоцільно, оскільки товщина легованого шару за інших рівних умов найменша (див. рис. 19). Для зменшення процесу утворення склоподібних оболонок навколо частинок легованого покриття, покращання умов їх розплавлення під дією залитого розплаву та збільшення товщини якісного легованого шару необхідно обов'язково розбавляти рідке скло водою до густини  $1200 \text{ кг/м}^3$ . Як видно із результатів таке рішення сприяє збільшенню товщини легованого шару до 8 мм, що цілком достатньо для роботи деталей в умовах зносу. Це повною мірою відноситься й до технічного лігносульфонату.

За використання рідкого скла густини  $1200 \text{ кг/м}^3$  утворюється якісний, практично вільний від раковин і пор, шар. За використання розведеного технічного лігносульфонату, який має високу газотвірну здатність, перехідний шар забруднюється продуктами термодеструкції у вигляді газових мікро раковин і неметалевих вкраплень різної морфології.

Отже, для виготовлення литих деталей з диференційною поверхнею та якісним легованим шаром максимальної товщини як зв'язувальний компонент легувального покриття необхідно використовувати рідке скло густиною  $1200 \text{ кг/м}^3$ .

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1 Розроблено теоретичні та технологічні принципи виробництва литих деталей з диференційованими властивостями поверхні, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зносу, високих температур та агресивних середовищ легуванням металу в ливарній формі.

2. Вивчено процеси поверхневого легування деталей спеціального призначення, розроблено технології та встановлено перспективність використання внутрішньоформового поверхневого легування. Визначено компоненти легувального покриття, їх гранулометричний склад та оптимальні температури розплаву перед заливанням у ливарну форму для одержання легованого шару необхідної товщини та властивостей.

3. Запропонований спосіб поверхневого легування дає змогу одержувати на поверхні виливків легований зносостійкий шар з твердістю до 68 HRA.

4. Для зносостійкого поверхневого легування найекономічнішим є використання дешевого високовуглецевого феромарганцю фракції 02...04, який забезпечує стабільність процесу поверхневого легування та сприяє утворенню надійного легованого шару товщиною до 12 мм.

5. Для підвищення відносної зносостійкості необхідним є використання механічних сумішей феросплавів, співвідношення яких визначається умовами експлуатації виробів.

6. Установлено, що для одержання жаростійкого легованого шару, який може тривалий час працювати за температур до  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ , необхідно використовувати високовуглецевий ферохром та алюміній фракції 0315. Ці параметри процесу повною мірою відповідають вимогам до експлуатації виробів, які працюють в умовах високих температур та агресивних середовищ.

7. Побудовано номограми визначення товщини легувального покриття залежно від вмісту феросплавів і гранулометричного складу наповнювача легувального покриття.

8. Установлено, що найефективнішими зв'язувальними компонентами для легувального покриття є розбавлене рідке скло та розбавлений ЛСТ. Індекс забрудненості легованого шару практично не відрізняється від індексу забрудненості основи металу, а в переважній більшості випадків – нижчий.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ковальчук А.Г. Исследование процессов жаростойкого поверхностного легирования отливок / А.Г. Ковальчук, М.М. Ямшинский, Г.Е. Федоров // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2017. - № 2 (41). – с. 44-50.

2. A.G. Kovalchuk, M.M. Yamshinskij, G.E. Fedorov, N.V. Yamshinska Differentiated Properties of Metal Products' Surface // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 6 Issue 10, October – 2017 pp. 186...194. (іноземне видання)

3. Ковальчук А.Г. Исследование процессов износостойкого поверхностного легирования / А.Г. Ковальчук, М.М. Ямшинский, Г.Е. Федоров // Метал и литье Украины. – 2017. - № 6-7 (289-290). – с. 28-34.

4. Ковальчук А.Г. Усовершенствование технологических процессов поверхностного легирования заготовок в литейной форме / А.Г. Ковальчук, М.М. Ямшинский, Г.Е. Федоров // Метал и литье Украины. – 2017. - № 8-10 (291-293). – с. 55-63.

5. Ковальчук О.Г. Виробництво виливків з диференційованими властивостями поверхні / О.Г. Ковальчук, М.М. Ямшинський, Г.Е. Федоров // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2017. - № 6. – с. 74-80.

6. Ковальчук А.Г. Физико-химические процессы в отливках при износостойком поверхностном легировании поверхности / А.Г. Ковальчук, М.М. Ямшинский, Г.Е. Федоров // Метал и литье Украины. – 2018. - № 9-10. – с. 38-45.

7. Ковальчук О.Г., Ямшинський М.М., Федоров Г.Є. Поверхнєве легування // Web of Scholar. Multidisciplinary Scientific Journal 6(6), October 2016. P. 23...25.

8. Ковальчук О.Г., Ямшинський М.М., Федоров Г.Є.. Методологія поверхнєвого легування сталевих виливків. Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра, 2016. С. 556...561.

9. Ковальчук О.Г., Ямшинський М.М. Поверхнєве легування сталевих виливків // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції, Ч.І (18-20 травня 2016р., Харків) – Харків, НТУ «ХПІ».

10. Ковальчук О.Г., Ямшинський М.М., Федоров Г.Є. Поверхнєве легування сталевих виливків. Литьє. Металургія 2016, 24...26.05.2016 г. Запоріжжє, С. 119...121.

11. Ковальчук О.Г., Ямшинський М.М., Федоров Г.Є. Поверхнєве легування сталевих виливків // VIII Міжнародна науково-технічна конференція. Нові матеріали і технології в машинобудуванні: матеріали науково-технічної конференції, 30...31 травня 2016 р., м. Київ, 2016. С. 78-79.

12. Ковальчук О.Г., Ямшинський М.М., Федоров Г.Є. Виливки з диференційними властивостями поверхні // IX Міжнародна науково-технічна конференція. Нові матеріали і технології в машинобудуванні, 30...31 травня 2017 р., м. Київ, 2017. С. 242

13. Ковальчук О.Г., Ямшинський М.М., Федоров Г.Є. Отримання виливків з диференційними властивостями поверхні // XIII Міжнародна науково-практична конференція. Литьє. Металургія, 23...25.05.2017 г. Запоріжжє, С. 133...135.

14. Ковальчук А. Г., Ямшинский М. М., Федоров Г. Е. Исследование процессов жаростойкого поверхностного легирования отливок // VI Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективні технології, матеріали і обладнання у ливарному виробництві», 25-28 вересня 2017 року, м. Краматорськ. С. 71...73.

15. Ковальчук А.Г., Ямшинский М.М., Федоров Г.Е. Жаростойкое поверхностное легирование отливок // X Міжнародна науково-технічна конференція. Нові матеріали і технології в машинобудуванні. 24...25 квітня 2018 р., м. Київ. С. 84...87.

16. Ковальчук О.Г., Ямшинський М.М., Федоров Г.Є. Виливки із диференційованими властивостями поверхні // XIV Міжнародна науково-практична конференція. Литьє. Металургія 2018., 22...24.05.2018 г. Запоріжжє. С. 113...215.

## АНОТАЦІЯ

**Ковальчук О.Г.** Особливості виготовлення виливків з диференційними властивостями поверхні. – Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.04 – Ливарне виробництво.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Київ, 2019 р.

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну проблему – розроблено наукові та технологічні засади виготовлення зносостійких і жаростійких виливків із сплавів на основі заліза з диференційними властивостями поверхні внутрішньоформовим легуванням замість традиційних технологій об'ємного легування металу.

Розроблено новий спосіб виготовлення виливків з диференційними властивостями поверхні легуванням металу в ливарній формі, що дає змогу замінити традиційний метод об'ємного легування металу в печі або в ковші поверхневим. Це в декілька разів зменшує витрати дорогих феросплавів і, як наслідок, знижує собівартість продукції з одночасним підвищенням терміну експлуатації литих деталей в екстремальних умовах абразивного, ударно-абразивного або гідроабразивного зносу та високих температур й агресивних середовищ.

Уперше визначено, що формування товщини та мікроструктури легованого зносостійкого чи жаростійкого шару залежить від хімічного та фракційного складу компонентів легувального покриття, температури їх плавлення та температури розплаву, що заливається у форму. Установлено, що використання компонентів з температурою плавлення нижчою температури розплаву та фракцій 02...0315 є головними технологічними факторами для формування якісного легованого шару необхідної товщини.

Розроблений спосіб дає змогу виготовляти жаростійкі литі деталі для роботи в умовах агресивних газових середовищ за температур до 1100 °С, оскільки збільшення маси деталі не перевищує 3,0...6,0 мг/см<sup>2</sup> за 100 год.

**СПЛАВ, СТАЛЬ, ЛЕГУВАЛЬНЕ ПОКРИТТЯ, ЛЕГОВАНИЙ ШАР, ДИФЕРЕНЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНІ, МІКРОЛЕГУВАННЯ, МОДИФІКУВАННЯ, ТВЕРДІСТЬ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ЖАРОСТІЙКІСТЬ, ТЕХНОЛОГІЯ ЛИВАРНОЇ ФОРМИ**

### **АННОТАЦІЯ**

**Ковальчук О.Г.** Особенности изготовления отливок с дифференциальными свойствами поверхности. - Квалификационная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 - Литейное производство.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского». Киев, 2019.

В диссертационной работе решена актуальная научно-прикладная проблема - разработаны научные и технологические основы изготовления износостойких и жаростойких отливок из сплавов на основе железа с дифференциальными свойствами поверхности внутрiformенным легированием вместо традиционных технологий объемного легирования металла.

Разработан новый способ изготовления отливок с дифференциальными свойствами поверхности легированием металла в литейной форме, что позволяет заменить традиционный метод объемного легирования металла в печи или в ковше поверхностным. Это в несколько раз уменьшает расходы дорогих ферросплавов и, как следствие, снижает себестоимость продукции с одновременным повышением срока эксплуатации литых деталей в экстремальных условиях абразивного, ударно-абразивного или гидроабразивной износа и высоких температур и агрессивных сред.

Впервые определено, что формирование толщины и микроструктуры легированного износостойкого или жаростойкого слоя зависит от химического и фракционного состава компонентов легирующих покрытий, температуры их плавления и температуры расплава, заливаемого в форму. Установлено, что использование компонентов с температурой плавления ниже температуры расплава и фракций 02 ... 0315 являются главными технологическими факторами для формирования качественного легированного слоя необходимой толщины.

Разработанный способ позволяет изготавливать жаростойкие литые детали для работы в условиях агрессивных газовых сред при температурах до 1100 °С, так как увеличение массы детали не превышает 3,0 ... 6,0 мг / см<sup>2</sup> за 100 час.

СПЛАВ, СТАЛЬ, ЛЕГИРУЮЩЕЕ ПОКРЫТИЕ, ЛЕГИРОВАННЫЙ СЛОЙ, ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ, МИКРОЛЕГИРОВАНИЕ, МОДИФИЦИРОВАНИЕ, ТВЕРДОСТЬ, ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ, ЖАРОСТОЙКОСТЬ, ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

## SUMMARY

**Kovalchuk O.** Features of making castings with differential surface properties. - Qualifying work on the rights of the manuscript.

Thesis for a Candidate 's Degree in Engineering, specialty 05.16.04 - Foundry (13 - Mechanical Engineering).

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv, 2019.

In the dissertation the actual scientific and applied problem is solved - scientific and technological bases of production of wear-resistant and heat-resistant castings with differentiated properties of a surface from alloys on the basis of iron instead of traditional technologies with the use of bulk doping are developed.

A new method of manufacturing castings with differentiated surface properties of metal alloying in casting was developed, which made it possible to replace the traditional method of bulk alloying, which consists of doping all the volume of metal directly in a furnace or in a ladle, surface, which allowed to significantly reduce the cost of ferroalloys and to reduce the cost of production while producing castings operating under extreme conditions of abrasive, shock-abrasive or hydroabrasive wear.

For the first time, it is determined that the formation of the microstructure of a doped wear-resistant layer depends on the chemical and fractional composition of the coating, namely the use of materials with low melting point and fractions of 02... 0315. It is established that the temperature of the melt, which should be increased with increasing fraction of the alloy coating and the time of diffusion processes at the interface of the melt and alloy coating, the longer the process flows, the greater the thickness of the alloy layer.

The mechanism of formation of the surface alloy casting layer after application of the alloy coating on the foundry surface based on components containing ferroalloys and certain chemical elements has been improved. The latter are capable of forming carbides, nitrides, borides in the surface layer.

For the first time, it is found that, regardless of the filler, the alloy coating 3 mm thick warms up to a maximum temperature of 250... 350 s, which is sufficient for the transition of its components from solid to liquid state and the formation of the initial doped layer. A further increase in the thickness of this layer occurs due to diffusion processes at the interfacial boundary.

It is established that the developed method of making castings with different surface properties can be used for the production of heat-resistant cast parts that operate in aggressive environments at temperatures up to 1100 ° C. It is shown that the increase in sample weight is in the range of 3.0... 6.0 mg / cm<sup>2</sup> for 100 h.

Nomograms were first constructed to determine the ratio of alloying components in the coating and their fractions, depending on the required thickness of the alloyed layer to provide a predetermined operating time of the cast part.

The cost-effectiveness of using the surface alloying process in the production of wear-resistant cast parts instead of bulk doping is about UAH 13150 per ton of casting, and for the production of heat-resistant cast parts instead of bulk doping it is about UAH 23800 per ton of casting at prices as of 01.05.2019.

The introduction substantiates the relevance of the topic of the dissertation and the feasibility of its implementation, defines the purpose and tasks of the research, the object and subject of research, noted the scientific novelty of the work, its practical significance, provides data on the approbation and publication of the results of the work.

The first section analyzes the nomenclature of industrial cast parts operating in different industries in high temperature, corrosive environments, abrasive and hydroabrasive wear, identifies the materials used to manufacture them, and the basic requirements for alloys. The main possible technologies for the production of castings with differential surface properties for operation in different conditions are analyzed and their advantages and disadvantages are determined. The peculiarities of casting production using surface alloying in casting are considered. The main factors that limit the process of melting of the alloy coating during casting of metal are selected. The disadvantages of the method are identified, among which is the possibility of uneven melting or dissolution of the alloy coating by the melt flow and the formation of heterogeneity of the structure and properties of metal in the parts of castings that are subject to surface alloying.

The second section describes techniques for investigating the special properties of iron-based alloys, describes materials and equipment.

The third section presents the results of studies on the selection of effective components of alloys fillers for the manufacture of castings with a wear-resistant surface in foundry form.

The fourth section presents the results of the study of the process of heat-resistant surface alloying. In this case, the starting materials for the alloying coating were powders of the ferrochrome grades FX800A and FX15A and aluminum of the A85 brand.

Section 5 presents the results of a study of the effect of liquid glass ( $M = 2.5$ ) and technical lignosulfonate (LST) on the processes of alloy coating production.

ALLOY, STEEL, ALLOY COVER, ALLOYED LAYER, DIFFERENTIATED PROPERTIES OF SURFACE, MICRO-ALLOYING, MODIFICATION, HARDNESS, HEAT RESISTANCE, CASTING TECHNOLOGY