

ВІДГУК

офіційного опонента д-ра техн. наук, професора **Сизоненко Ольги Миколаївни** на дисертацію **Кирилюк Євгенії Сергіївни «Закономірності фазо- і структуроутворення та властивості порошкових зносо-корозійностійких матеріалів на основі системи хромиста сталь-високовуглецевий ферохром»** що подана до спеціалізованої вченої ради Д26.207.03 на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.06 – «Порошкова металургія і композиційні матеріали» Технічні науки (13 Механічна інженерія)».

Дисертаційна робота виконана в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України і складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел і 3 додатків. Загальний обсяг роботи складає 184 сторінок машинописного тексту. Обсяг основної частини дисертації становить 142 сторінки. Робота містить 69 рисунків і 21-у таблицю та 124 бібліографічних найменувань. Автореферат дисертації містить 33 сторінки тексту, в тому числі список із 21-єї наукової праці, опублікованих за темою дисертації.

1. Актуальність теми та зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Вдосконалення існуючих і розробка нових порошкових конструкційних матеріалів з підвищеними фізико-механічними, триботехнічними та функціональними властивостями є одним з напрямків розвитку сучасного матеріалознавства. Зростаючий дефіцит сировинних ресурсів для отримання основних і легуючих компонентів, що використовуються при створенні зносостійких матеріалів класу карбідосталей є визначальним і активує пошуки альтернативних складів матеріалів для виготовлення яких застосовуються доступні та недефіцитні складові вітчизняного виробництва.

Актуальність даної роботи обумовлена поставленим науково-технічним завданням а саме – створенням на основі системи залізо-високовуглецевий ферохром нових зносокорозійностійких порошкових матеріалів класу карбідосталей, дослідження закономірностей формування їх структури, фізико-механічних, триботехнічних, корозійних та функціональних властивостей.

В роботі запропоновано для отримання хромистих карбідосталей використання замість високовартісного карбїду хрому Cr_3C_2 дешевого і недефіцитного високовуглецевого ферохрому ФХ800, а в якості вихідної металевої складової заліза, яке в процесі рідкофазного спікання і взаємодії з високовуглецевим ферохромом перетворюється на хромисту феритно-аустенітну сталь. Тому дослідження умов отримання, структури та властивостей порошкових композиційних матеріалів на основі системи залізо-високовуглецевий ферохром типу карбідосталей є важливим і актуальним завданням, як в науковому так і в прикладному аспектах

Робота виконана у відповідності з планами науково-дослідних робіт Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, а дисертант був в них виконавцем та відповідальним виконавцем.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, достовірність отриманих результатів

Наукові положення і висновки сформульовані в дисертаційній роботі відзначаються достатньою новизною і обґрунтованістю. Достовірність основних положень і висновків не викликає сумнівів і підтверджується застосуванням стандартних та сучасних методів досліджень основних фізико-механічних, триботехнічних, корозійних властивостей матеріалів та успішним впровадженням отриманих хромистих карбідосталей у промисловості.

3. Наукова новизна отриманих результатів

У процесі досягнення мети і вирішення завдань дослідження були отримані наступні наукові результати:

1. Вперше для створення зносокорозійностійкого композиційного матеріалу класу хромистої карбідосталі запропоновано і експериментально підтверджено ефективність використання вихідних сумішей з порошків заліза та високовуглецевого ферохрому.

2. Вперше аналітично-графічним методом побудовано політермічний переріз діаграми стану Fe-Cr-C через $(\text{Cr}_{0,81}\text{Fe}_{0,19})_7\text{C}_3\text{-Fe}$ (ФХ800-залізо). Це дозволило встановити існування широких областей 2-х фазних рівноваг $\alpha+(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$ та $\gamma+(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$ придатних для створення хромистих карбідосталей, оцінити концентрацію компонентів і температуру утворення евтектики і вибрати перспективні склади та доцільний інтервал температур спікання композитів з різним вмістом ФХ800.

3. На основі дослідження закономірностей процесів спікання фазо- і структуроутворення порошкових карбідосталей «залізо-ФХ800», результатів мікродюрOMETричного, рентгенофазового і мікрорентгеноспектрального аналізів вперше встановлено механізм взаємодії частинок порошку високовуглецевого ферохрому із матрицею на основі заліза. Показано, що він полягає в утворенні ряду складних залізо-хромистих карбідів, характерною особливістю, яких є суттєві зміни хімічного і фазового складу карбідної складової композиту в інтервалі температур спікання 1000-1300 °С, які описуються серією фазових перетворень: $\text{M}_7\text{C}_3 \rightarrow \text{M}_3\text{C}$ (1000-1150 °С) $\rightarrow \text{M}_7\text{C}_3$ (1200 °С) $\rightarrow \text{M}_3\text{C}_2$ (1250-1300 °С). Виявлено, що в результаті взаємодії заліза з високовуглецевим ферохромом в процесі спікання в структурі сплаву утворюється хромиста сталь у вигляді матричної металевої фази композиту.

4. Вперше запропоновано і досліджено вплив легуючих добавок - боридів Ni та Ti, на особливості структуроутворення при спіканні хромистої карбідосталі. Показано, що борид нікелю активує усадку, знижує температуру спікання композиту на 50 °С, а диборид титану за рахунок утворення складних залізохромових карбоборидів і подвійного дибориду титану-хрому, призводить до підвищення на 10-13 % межі міцності на згин, в 1,8-2,5 рази зносоустійкості матеріалу та 4-5 разів - корозійної стійкості композиту.

4. Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

1. Розроблено новий склад карбідосталі на основі системи «Залізо-високовуглецевий ферохром ФХ800» з високим опором до зносу та корозії, яка може ефективно використовуватися в умовах інтенсивного абразивного зносу в корозійноактивному середовищі (Патент № 128532 від 25.09.18 р.).

2. Наведено рекомендації щодо використання розроблених матеріалів в залежності від кількості карбідної та металевої складових, які дозволяють відповідно до умов експлуатації деталей вибрати найбільш придатний склад карбідосталі.

3. Розроблено та відпрацьовано технологію виготовлення із хромистої карбідосталі вставок молотків дробарок для приготування кормів. Виробничі випробування молотків на ВП НУБІП України «Агрономічна дослідна станція», армованих вставками із розробленої карбідосталі, показали підвищення їх довговічності в 2,5-3 рази порівняно з серійними молотками із термообробленої сталі 65Г при подрібненні фуражного зерна (пшениці, вівса, сої, ячменю, кукурудзи). Це забезпечує підвищення продуктивності кормо- подрібнення та зменшення витрат на заміну зношених деталей (Акт випробувань від 20.11.2019 р.).

5. Повнота викладу основних результатів дисертації у фахових виданнях

За матеріалами дисертації опубліковано **21** наукова праця, зокрема **8** статей у фахових вітчизняних та закордонних періодичних виданнях в галузі технічних наук, з яких **4** статті у виданні, що індексується в наукометричних базах даних «Scopus», **12** тез доповідей у збірниках відповідних наукових конференцій та отримано **1** патент України на корисну модель.

6. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми та показано зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами та темами. Сформульовано мету та задачі, що вирішені, окреслено об'єкт, предмет та методи досліджень. Відображена наукова новизна, практична цінність, апробація та публікації отриманих результатів з зазначенням особистого внеску здобувача.

У **першому** розділі проаналізовано літературні дані щодо основних відомих порошкових зносостійких матеріалів, типу карбідосталей, конструкційного призначення, їх переваги та недоліки. Це дозволило зробити висновок про переважаючу роль фізико-механічних властивостей металевої складової, а також підкреслити внесок адгезійного зв'язку, на межі розділення тверда фаза – матриця, в проблемі забезпечення високих фізико-механічних та функціональних характеристик зносостійкого матеріалу.

Розглянуто основні типи зносостійких матеріалів та зроблено висновок, що карбідосталі за участю високовуглецевого ферохрому та заліза є малодослідженими, що суттєво обмежує галузі їх застосування в техніці. Разом з тим, вони є перспективними для виготовлення деталей з підвищеною зносостійкістю, які працюють в умовах абразивного зношування, дії сил тертя і корозійноактивних середовищ, а залізо та ФХ800, як вихідні компоненти, з економічної та технологічної точок зору, а також за рівнем фізико-механічних властивостей є цілком придатними для створення нових, недефіцитних зносостійких порошкових матеріалів.

У **другому розділі** описано матеріали, устаткування і експериментальні методи та методики дослідження структури, фазового та хімічного складу, фізико-механічних, триботехнічних та корозійних властивостей матеріалів. У якості вихідних компонентів використовували суміші, які склалися з порошоків заліза, високовуглецевого ферохрому та боридів нікелю і титану.

У **третьому розділі** досліджено вплив умов одержання на фазовий склад та структуру порошкових зносостійких матеріалів, типу хромистих карбідосталей, отриманих методом рідкофазного спікання.

Дослідження впливу температури спікання та кількості високовуглецевого ферохрому на густину та об'ємну усадку композиту Fe-ФХ800 показало, що більш повне ущільнення зразків спостерігається у температурному інтервалі 1200–1250°C. Дослідження фізико-механічних властивостей дозволило встановити, що найкраще поєднання твердості та міцності на згин композитів спостерігається при вмісті 35-40 ФХ800 (% мас.).

Результати досліджень впливу легуючих добавок Ni_3B та TiB_2 на температуру спікання, густину та об'ємну усадку, показали, що борвмісні добавки активують процес спікання зразків за рахунок утворення легкоплавких евтектик в системі Fe-Ni-B-C в області температур 1100-1180°C. Досліджено, що зі збільшенням температури спікання від 1100 до 1250°C покращуються властивості матеріалів усіх складів. Найвищі значення густини та відповідно об'ємної усадки спостерігаються при кількості: для зразків легованих боридом титану - 0,74 -1,48 TiB_2 (% мас.), для зразків легованих боридом нікелю 3,5-5,2 Ni_3B (% мас.). Вивчено мікроструктуру і фазовий склад, матеріалів $65\text{Fe}-35\text{ФХ800}-(3,5-8,7)\text{Ni}_3\text{B}$ та $65\text{Fe}-35\text{ФХ800}-(0,38-2,2)\text{TiB}_2$ (% мас.). Показано, що добавки боридів нікелю та титану забезпечують формування багатофазної, мікрогетерогенної структури матрично-наповненого типу, яка складається з хромистої сталі і твердих включень складних залізохромових карбідів типу Me_7C_3 і Me_3C і карбоборидів типу Me_3CB . Легування композита добавками TiB_2 в кількості 0,74-1,48 (% мас.) приводить до подрібнення карбідної фази. Встановлено, що борвмісні добавки значно підвищують мікротвердість матричної та карбідної фаз.

Четвертий розділ роботи присвячено дослідженню механічних властивостей, зносо- та корозійної стійкості хромистих карбідосталей.

Досліджено вплив борвмісних добавок (Ni_3B та TiB_2) на фізико-механічні властивості композитів. Доведено, що підвищення добавок бориду нікелю до 6,9-8,7 (% мас.) приводить до зниження твердості та межі міцності на згин. Добавки бориду титану у

кількості 0,38-1,48 (% мас.) приводять до підвищення твердості та помітного зростання міцності на згин карбідосталей. Проте подальше підвищення борвмісної добавки до 2,2 (% мас.) TiB_2 є недоцільним так, як приводить до зниження фізико-механічних властивостей композиту.

Результати досліджень впливу добавок (Ni_3B та TiB_2) на стійкість проти абразивного зношування, показали, що збільшення вмісту легуючої добавки (Ni_3B) приводить до зниження інтенсивності масового і лінійного зносу матеріалу Fe-35ФХ800 (% мас.) і, відповідно, до зростання зносостійкості від 5,1 до 7,25-12,2 км/мм. Дослідження засвідчують, що добавка бориду титану також підвищує стійкість при терті по сталі ШХ15 карбідосталі 65Fe-35ФХ800 (% мас.). Показано, що підвищення кількості добавки TiB_2 від 0,38 до 1,48 (% мас.) приводить до зниження масового від 36,94 до 14,8 мг/км та лінійного від 0,197 до 0,079 мм/км зносу карбідосталей при абразивному зношуванні частинками алмазного круга. Проте подальше збільшення кількості легуючої добавки до 2,2 (% мас.) вже приводить до підвищення масового (від 14,8 до 20,8 мг/км) та лінійного (від 0,079 до 0,141 мм/км) абразивного зносу зразків.

Дослідження впливу добавок бориду титану 0,38-2,2 (% мас.) на зносостійкість карбідосталі Fe-35ФХ800 (% мас.) при терті по контртілу зі сталі ШХ15, показало, що добавки бориду титану знижують масовий (від 4 до 1,9 мг/км) та лінійний (від 0,0397 до 0,022 мм/км) знос композитів, та приводять до масового зносу контртіла ШХ15, який становить 6,2-7,1 мг/км, і сприяють зниженню коефіцієнту тертя від 0,49 до 0,38.

Дослідження корозійної стійкості хромистих карбідосталей показало, що збільшення добавок бориду нікелю у кількості 5,2-6,9 (% мас.) приводить до значного покращення їх корозійної стійкості в 30%-му розчині NaOH і відповідають 1 балу стійкості (повністю стійкий). Встановлено, що добавки бориду титану у кількості 1,48 (% мас.) покращують стійкість матеріалів до корозії в 30%-му розчині NaOH та у 20%-ний HNO_3 (бал стійкості 1)

У п'ятому розділі роботи приведено результати дослідно-виробничої апробації та практичного використання результатів досліджень. Представлено розроблену і відпрацьовану технологічну схему виготовлення, із нової хромистої карбідосталі, зносостійких вставок для зміцнення молотків кормодробарок.

Результати виконаних експериментальних та технологічних досліджень знайшли практичне застосування у виготовленні (з розробленої нової карбідосталі) дослідної партії вставок для зміцнення робочих органів кормоподрібнювачів фуражного зерна.

7. Зауваження по роботі

1. Відсутній розділ «Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та з термінів», що ускладнює ознайомлення багатьма роботами, в якій багато цих елементів.

2. У розділі 1 на підставі аналізу літературних даних не сформульована мета, а є тільки завдання дослідження, хоча в авторефераті написано, що це є.

3. У розділі 2 не наведено розподіл часток високовуглецевого ферохрому після подрібнення в шоковій дробарці, а потім після сухого розмелу в кульовому млині, хоча форма і розміри порошоків здебільше визначають поведінку порошоків під час пресування та спікання і властивості спечених матеріалів.

4. Підрозділ 3.3.1 на с.95 вказано «Встановлено, що з підвищенням температури спікання від 1100 до 1250°C твердість зразків матеріалів усіх складів монотонно зростає від 50,2-57,2 HRA до 66-75,5 HRA (рис.3.15).» Але при спіканні 75Fe-25ФХ800 вже при температурі 1200°C твердість падає до 65 HRA, як свідчить з рисунку і це не пояснено, проте температура спікання обрана для матеріалів всіх складів 1250°C.

5. Підрозділ 3.5, С.104 не пояснено, з яких міркувань обрано кількість бору 0.2 – 0.4 % у вигляді бориду нікелю (3.5 і 5.2 %). А надалі (с.106) ще з'являються зразки, які містять 6.9 і 8.7 % теж без пояснень.

6. Також у підрозділі 3.6 не пояснена кількість добавки TiB_2 у кількості від 0,38–2.2 (% мас.), що відповідає вмісту титану 0.25- 1.5 %, а далі ще з'являються зразки, які містять 1.48 і 2.2 %.

7. Не вказано обсяг статистичної вибірки, інтервал довірчої ймовірності і похибка, тому важко результати численних експериментальних досліджень тоді можна говорити про оптимізацію складу зразків та умов їх одержання.

Але зроблені зауваження ніяким чином не впливають на загальне позитивне враження від роботи, що виноситься на захист.

8. Загальний висновок по роботі

У роботі присутні всі складові частини завершеної дисертації. Автореферат та опубліковані здобувачем статті в фахових виданнях відображають основний зміст і результати дисертаційної роботи. Апробація роботи на наукових конференціях та семінарах є достатньою. Розроблені хромисті карбідосталі пройшли дослідно-виробничі випробування на промисловому підприємстві і впроваджені у виробництво.

Представлена на відгук дисертація, незважаючи на відмічені недоліки, є закінченою науково-дослідною роботою, що містить нові технічні рішення проблеми з розробки зносокорозійностійких матеріалів з підвищеними фізико-механічними та функціональними властивостями.

За отриманими науковими результатами, стилю викладання та оформленню дисертаційна робота Є.С. Кирилюк повністю відповідає вимогам пунктів 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» (постанова Кабінету міністрів України від 24.07.2013, №567) та Вимогам до оформлення дисертації (Наказ МОН України від 03.02.2017, №40).

Вважаю, що здобувач Кирилюк Євгенія Сергіївна **заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук** за спеціальністю 05.16.06 – «Порошкова металургія і композиційні матеріали».

Офіційний опонент,
головний науковий співробітник,
в.о. завідувача відділу імпульсної
обробки дисперсних систем
Інституту імпульсних процесів
і технологій НАН України,
доктор технічних наук, проф.

О.М. Сизоненко

Підпис доктора техн. наук, проф.
Сизоненко О.М. засвідчую:
Вчений секретар ІІІТ НАН України
кандидат технічних наук



А.В. Сінчук