

ВІДГУК
офіційного опонента **Овчарука Анатолія Миколайовича**
на дисертацію Гришина Олександра Михайловича
«Наукове обґрунтування та технологічні засади одержання
залізо-хромістих губчастих лігатур для виробництва
спеціальних марок сталі та порошкових матеріалів»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.16.02 - **Металургія чорних і кольорових металів та
спеціальних сплавів**

1. Актуальність теми дисертації

Легування сталі за допомогою губчастих лігатур або феросплавів є одним з основних способів впливу на якісні показники сталі.

Хром застосовується при виплавці корозійностійких, конструкційних сталей, сталей спеціального призначення, та поряд з нікелем, марганцем, молібденом, ванадієм є одним з найбільш значущих елементів для легування сталі. Збільшенням обсягів та підвищення якості легуючих матеріалів є необхідною умовою для зростання виробництва якісних марок сталі.

Дослідження щодо вдосконалення існуючих технологій одержання лігатур ще тривають. Також слід враховувати використання техногенних відходів, які утворюються при нераціональному використанні рудних матеріалів.

Зростаючі витрати на збагачення руди і доведення одержуваного концентрату до необхідних за вмістом значень відсотків оксиду хрому пов'язані зі скороченням запасів багатих хромових руд. Зараз для діючих технологій виплавки ферохрому в рудовідновлювальних печах цей відсоток становить 50%.

Україна має великі запаси залізної, марганцевої, нікелевої руди, але не має родовищ для виробництва легуючих матеріалів на основі молібдену, вольфраму, ванадію та, звісно, хрому. Але в деяких вторинних матеріалах вміст легуючого компонента можна порівняти з мінеральною сировиною

На відвалах Запорізького заводу феросплавів знаходяться значна кількість дрібної руди, яка потребує окискування, через неможливість використання її у відновлювальних агрегатах. Цей завод працював з хромовою рудою, яку імпортував з Туреччини. Промислова переробка цієї руди дозволить отримати не лише економічний, а ще й екологічний ефект.

Утворення дрібнодисперсної техногенної сировини завжди супроводжує металургійне виробництво. Колошниковий пил, агломераційні, доменні шлами, окалина накопичуються у відвалах, шламосховищах та ін. Їх вторинне використання є досить актуальною темою для металургійної промисловості України.

Суха прокатна окалина складається виключно з магнетиту і гематиту з домішками оксидів легуючих елементів і є винятковою за вмістом корисних елементів вторинною металургійною сировиною, але використовується лише як домішок при виробництві залізородного агломерату. Тому процеси твердофазного відновлення попередньо брикетованої оксидної сировини набувають особливого

значення. Такі технології, щодо переробки некондиційних шихтових матеріалів, розглядаються але ще не набули належного розвитку

Зараз існують декілька точок зору стосовно механізму протікання прямого відновлення: диссоціативний, безпосереднього прямого відновлення, двофазний, відновлення за участю парів карбідів хрому. Але ці механізми не мають достатнього експериментального обґрунтування.

Зазначимо переваги процесу отримання губчастих легуючих матеріалів за технологією твердофазного відновлення:

- значне зниження матеріальних та енергетичних витрат;
- вищий ступінь вилучення легуючого компонента з рудного матеріалу 90-95%;
- можливість отримувати губчастий матеріал із заданими фізико-хімічними властивостями, зокрема пористості, що прискорює процес засвоєння лігатури у металевій ванні та значно знижує чад;
- засвоєння легуючого елемента металевій ванні становить до 95-98%, практично відсутні втрати зі шлаком.

Отримані за технологією твердофазного відновлення губчасті лігатури містять досить високий вуглець, що обмежує їх застосування. Обробка лігатури окислювальною газовою фазою $H_2O - H_2$ чи $Ar - H_2O$ у області температур 1273 – 1373К дозволяє знизити вміст вуглецю до рівня ~ 0,5%.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами

Поставлені цілі в дисертаційній роботі, виконані дослідження та отримані результати є актуальними в галузі теорії та технології отримання легуючих матеріалів із залученням у технологію різних некондиційних мінеральних матеріалів та техногенних відходів відповідають пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки України на період до 2030 року згідно з п.3 «Енергетика та енергоефективність» та п.4 «Раціональне природокористування» статті 3 Закону України від 11.07.2001р. №2623-III; Державної програми розвитку науки і техніки (відповідно до закону України №2519-17 від 12.10.2010р.); Програми поліпшення екологічного стану Дніпропетровської області за рахунок зниження забруднення навколишнього середовища на 2007-2015 р.р., затвердженої Головою обласної ради від 04.12.2007р.

Розділи даної роботи входили до складу прикладних держбюджетних та госпдоговірних тем: «Створення фізико-хімічних моделей, аналіз та дослідження окислювально-відновлювальних процесів переробки змішаних залізних руд та техногенних відходів металургії» № ДР 0110U003242; «Розробка фізико-хімічних основ і технологій переробки покривних порід Криворізького басейну та хвостів збагачення з метою підвищення вмісту заліза та одержання окускованого цільового продукту» № ДР 0111U002926; «Розробка технології переробки мінеральної сировини техногенних родовищ» №ДР0121U113540.

3. Загальна характеристика роботи

Дисертація складається із вступу та 6 розділів, загальних висновків, списку джерел, що використовуються з 435 найменувань. Дисертація має загальний обсяг

535 сторінок, що містить 3 додатка, 161 ілюстрації та 98 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, надано інформацію щодо зв'язку роботи з науковою темою УДУНТ, сформульовано мету та задачі досліджень, вказано об'єкт, предмет та методи досліджень викладено наукову новизну та практичне значення, а також відомості щодо особистого внеску здобувача, апробації отриманих результатів, публікацій.

У першому розділі виконано аналіз сировинної бази виробництва хромовмісних легуючих матеріалів, показано значення хрому для технології виробництва спеціальних марок та сталі. Враховуючи скорочення запасів кондиційних руд, а також зростаючі вимоги до якості легуючих матеріалів наведено аналіз використання губчастих матеріалів як можливу альтернативу ферохрому. Приблизно третина хромової руди, що видобувається у світі, може використовуватися в рудовідновлювальних печах безпосередньо. Разом з тим значна кількість некондиційних руд і різних техногенних відходів за складом відповідають технологічним вимогам і можуть використовуватися в металургії. Автор проаналізував фізико-хімічні та технологічні можливості використання такого роду сировинних матеріалів.

У, другому розділі дисертаційної роботи автор представив результати теоретичних та експериментальних досліджень, спрямованих на отримання газової фази з високим відновним та регламентованим вуглецевим потенціалами. Розглянуто фізико-хімічні аспекти окисної газифікації вуглецю та карбідів, отримали теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження такі факти як невідповідність термодинамічних передумов кінетичним закономірностям газифікації вуглецю H_2O та CO_2 ; вплив $Fe_{мет.}$ та солей лужних металів на кінетику газифікації. Виконано фізико-хімічний аналіз конверсії метану на поверхні відновленого заліза, показано можливість оптимізації параметрів з метою одержання високого відновлювального потенціалу газової фази та забезпечення теплового режиму.

У третьому, четвертому, п'ятому та шостому розділах дисертаційної роботи автор представив результати теоретичних та експериментальних досліджень вуглеродотермічного, комплексного та карбідотермічного відновлення хрому в простих і складних системах. Розрахунок температури початку відновлення Cr_2O_3 $Fe(CrO_2)_2$ в умовах стехіометричного відношення C/O , а також при дефіциті вуглецю. Показано, що при дефіциті вуглецю процес відновлення проходить у два етапи: за участю вільного і карбідного вуглецю. Відновлення хрому значно полегшується і протікає глибше при розчиненні атомів Cr Fe . Виконано розрахунок рівноважного складу газової фази та побудовано діаграми систем: $Cr-O-C$; $Cr-O-C-Fe$; $Cr-O-C-H$, що дозволило встановити межі суходження стабільних фаз та умови утворення метастабільних фаз. Виконано експериментальне підтвердження дволанкової моделі механізму процесу твердофазного відновлення хрому, розроблено механізм впливу $Fe_{мет.}$. Представлені результати дослідження кінетики твердофазного відновлення хрому в умовах варіювання виду та частки вуглець, температури процесу, а також каталітичних добавок солей лужних металів, що вводяться. Спираючись на уявлення про напівпровідникові властивості Cr_2O_3 , показаний механізм впливу

каталітичної добавки на ланку відновлення хрому, Прискорення процесу твердофазного відновлення хрому пов'язане зі зміною структурної та електронної дефектності кристалічних фаз. Встановлено факт прискорення твердофазного відновлення хрому при дії на систему електромагнітного поля, що реагує, різної потужності та частоти. Серед можливих шляхів інтенсифікуючої дії ЕМП слід особливо виділити магніострикцію. Спостерігається практично повний збіг впливу напруженості поля на магніострикцію та ступінь прискорення відновлення. Кристалічні фази, що мають феромагнітні властивості, при високочастотних ЕМП відіграють роль мініатюрних магніострикційних вібраторів невеликої потужності. Встановлено вплив швидкості газифікації вуглецю, розміру окатиша та глибини проникнення водню на температуру переходу комплексного відновлення в суто вуглецевотермічне. Виконано мікрорентгеноструктурне дослідження зразків хромової руди після вуглецевотермічного та комплексного відновлення протягом 40-80 хвилин. Встановлено структурні зміни в зернах руди. Наведено результати диференціального термічного аналізу зразків оксиду хрому та хромової руди в процесі їх відновлення. Розрахований рівноважний склад газової фази комплексного відновлення хроміту заліза за умови зміни співвідношення суми вуглецевмісних газів до суми водневмісних. Виконане теоретичне обґрунтування комплексного відновлення хрому за участю метану, визначено температури початку процесу, рівноважний склад газової фази в залежності від співвідношення С/Н. Виконане експериментальне дослідження кінетики комплексного відновлення хрому в залежності від температури, виду та кількості вуглецю. Проведено дослідження впливу каталітичних добавок на швидкість відновлення. Виконане теоретичне обґрунтування отриманих результатів та удосконалені уявлення щодо механізму дії каталітичних добавок. Науково обґрунтовано та експериментально підтверджено механізм утворення спільних карбідів та залучення їх до твердофазного відновлення. Визначено температура початку відновлення та розраховано рівноважний склад газової фази процесу відновлення Cr_2O_3 його карбідом. Теоретично обґрунтоване механізм відновлення хрому його вищим карбідом та дії каталітичних добавок. Проведено фізико-хімічне дослідження можливостей зневуглецювання продукту спільного відновлення оксидів хрому та заліза. Отримане рівняння залежності вмісту вуглецю в лігатурі від часу відновлення, температури, частини водню та співвідношень O/C, Cr/Fe, Fe/Ni. Запропоновано метод подальшого зневуглецювання шляхом додаткової термохімічної обробки продукту відновлення. Науково обґрунтовано та експериментально підтверджено зменшення вмісту вуглецю шляхом обробки губчастої лігатури газовою сумішшю $\text{H}_2 - \text{H}_2\text{O}$ при температурі 1273-1373K і концентрації H_2O на рівню 1-2%, протягом 25-40 хв. Окисне руйнування карбідів забезпечувало отримання лігатури з 0.5% вуглецю. Показане можливість зневуглецювання за рахунок пов'язаного кисню.

У загальних висновках дисертації викладено найбільш важливі наукові та практичні результати, що були отримані в процесі дисертаційного дослідження і які сприяли розв'язанню сформульованої науково-прикладної проблеми. Список джерел, які були використані в аналітичному огляді, достатньо повно охоплює

зазначену галузь знань та відображає основні напрями розвитку досліджень, винаходів та технології процесів твердофазного відновлення оксидів, газифікації вуглецевих матеріалів та конверсії метану.

Структура та зміст дисертаційної роботи та автореферату співпадають. Матеріали дисертації викладені послідовно, а їх оформлення відповідає вимогам щодо докторських дисертацій.

4. Оцінка обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

До основних наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

1. Дістало подальший розвиток уявлення щодо газифікації вуглецю та вперше показано, що швидкість парової газифікації вуглецю перевищує швидкість вуглекислотної та прямими експериментами підтверджено перевищення швидкості процесу газифікації вуглецю сумішю ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) над сумою швидкостей газифікації кожним окислювачем окремо. Раніше такі відомості не приводились, а встановлений факт пояснює інтенсифікацію газифікації вуглецю при застосуванні суміші окислювальних газів.

2. Проведено теоретичний аналіз газифікації вуглецю комплексним окислювачем ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$), який у всьому досліджуваному температурному інтервалі має термодинамічні переваги перед окремими окислювачами, та приводить до утворення оксиду хрому Cr_2O_3 в процесі твердофазного відновлення хрому та заліза та виключає появу металевого хрому через проміжне з'єднання – оксикарбід $\text{Cr}_3\text{O}_n\text{C}_{n-1}$.

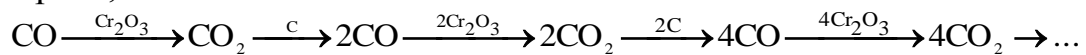
3. Розвинені теоретичні уявлення щодо механізму газифікації різних видів вуглецевих відновників та встановлено феномен прискорювальної дії $\text{Fe}_{\text{мет}}$ на швидкісні показники за рахунок утворення залізо-кисневих комплексів з різною концентрацією на поверхні $\text{C}_{\text{ТВ}}$ і FeO , що викликає міграцію атомів заліза до поверхні $\text{C}_{\text{ТВ}}$ і збільшення адсорбційної ємності $\text{C}_{\text{ТВ}}$ по відношенню до окислювача. Показано, що введення каталітичних добавок (Na_2CO_3 , KCl та ін.) діє в напрямку інтенсифікації процесу газифікації $\text{C}_{\text{ТВ}}$ шляхом підвищення дефектності кристалічних ґраток та адсорбційної ємності вуглецю шляхом руйнуванням поверхневих кето-комплексів $\text{C}_n(\text{O})_{\text{адс}}$ з виділенням CO в газову фазу, а також послабленням міжвуглецевих зв'язків, що сприяє акцепторній адсорбції H_2O , CO_2 .

4. Вперше отримані теоретичні дані щодо дослідження характеристик рівноважного складу газової фази процесу конверсії метану комплексним окислювачем та впливу поверхні свіжовідновленого заліза для визначення окисно-відновного та вуглецевого потенціалів та показано що застосування кисню у складі конвертуємої суміші прискорює процес конверсії та дозволяє оптимізувати теплові втрати, пов'язані з паровою та вуглекислотою конверсією, і забезпечує тепловий режим процесу конверсії та відновлення в цілому.

5. Вперше для твердофазного вуглецевотермічного відновлення хрому у простих та складних системах визначені термодинамічні температури початку відновлення Cr_2O_3 вуглецем і карбідами хрому та побудовано діаграму рівноваги системи $\text{Cr} - \text{O} - \text{C}$, що дозволило визначити межі термодинамічної стійкості фаз

та показано, що одночасне утворення Cr_3C_2 та метастабільного Cr_7C_3 є результатом відновлення оксиду хрому вільним вуглецем та обумовлено дифузійно-хімічною моделлю механізму твердофазного відновлення оксидів.

6. Запропонована, теоретично обґрунтована та експериментально підтверджена дволанкова фізико-хімічна модель механізму твердофазного відновлення оксиду хрому, що ґрунтується на збільшеній швидкості міжчасткового газообміну вищій за швидкість газифікації; збільшенні акцепторної адсорбції CO_2 та руйнуванню вуглець-кисневих комплексів за рахунок парів хрому; прискорення відновлення, коли одночасно з реакціями відновлення оксиду хрому та газифікацією в системі проходять цикли перетворень,



7. Експериментально підтверджено, що кінетичні закономірності вуглецевотермічного відновлення хрому в простих та складних системах визначаються часткою та видом вуглецю в шихті, температурою та хіміко-каталітичним впливом на систему, що реагує, а введення в шихту $\text{Fe}_{\text{мет}}$ приводить до прискорення і збільшує глибину розвитку процесу, що обумовлено утворенням у системі твердого розчину $\text{Fe} - \text{Cr} - \text{C}$. Співвідношення C/O для різних видів вуглецевих відновників визначає розподіл вуглецю шихти на процес відновлення та карбідоутворення.

8. Теоретично оцінено та вперше показано, що застосування електромагнітного поля (ЕМП) різної частоти дозволяє підвищити швидкість твердофазного відновлення оксидів заліза та хрому за рахунок зростання ефективного коефіцієнта міжчасткової дифузії, змінення розмірів та форми кристалів (магніострикція) та зростання електронної та структурної дефектності кристалів, що впливає на адсорбційно-хімічну ланку та прискорює процес відновлення. Встановлено, що об'ємна магніострикція стає значною лише у полі високої напруженості $H > 80$ кА/м, та призводить до підвищення електронної та структурної дефектності кристалів оксиду, утворенню на поверхні $\text{Fe}_{\text{мет}}$ залізо-кисневих комплексів, що формує потік атомів кисню частинками вуглецю та забезпечує збільшення CO , інтенсифікуючи таким чином відновлення.

9. Вперше показане що у випадку комплексного відновлення хрому в простих та складних системах температура початку залежить від співвідношення суми вуглецевовмісних газів до суми водневовмісних газів та побудована температурна залежність рівноважного складу газової фази, в умовах змінного

відношення суми цих газів ($n = \frac{P_{\text{CO}} + P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{H}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}}}$), що відповідає реальному перебігу

процесу і визначає умови переважного використання C і H_2 в процесі відновлення хрому. Показано, що при комплексному відновленню Cr_2O_3 і $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$ спільно метаном та вуглецем у різних відношеннях визначено температуру початку відновлення, розраховано рівноважний склад газової фази та значення параметра

$$n = \frac{P_{\text{CO}} + P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{H}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}}} \quad \text{для визначення температурної межі пріорітетного розвитку}$$

процесів газифікації вуглецю або розпаду метану.

10. Застосовано новий підхід до вирішення задачі визначення величин вхідного та вихідного газових потоків при комплексному відновленні рудовуглецевого окатиша ($I_{\text{вих}}$ та $I_{\text{вх}}$), які формують зони вуглецевотермічного та комплексного відновлення всередині окатишу, а змінення їх положення залежить від швидкості газифікації вуглецю, розміру окатишу, глибини проникнення водню та температури, що дозволило розрахунковим шляхом встановити параметри, які визначають межу переходу комплексного у вуглецевотермічного відновлення в обсязі окатиша, а для забезпечення комплексного відновлення по всьому об'єму окатиша в умовах твердофазного відновлення необхідно зниження частки вуглецю, що газифікується, і зменшення розміру окатиша.

11. Дістало подальший розвиток уявлення щодо механізму хіміко-каталітичного впливу на різні ланки процесу комплексного відновлення хрому та показано, що заміщення іонів Cr^{3+} катіонами меншої валентності – Na^+ та K^+ супроводжується збагаченням поверхні Cr_2O_3 електронними дірками, а впровадження великих катіонів K^+ посилюється значними розмірними невідповідностями, які нівелюються утворенням додаткових вакансій у вузлах хрому, що виникають на межі розчинених катіонів калію та приводять до зміни в кристалічній решітці оксиду хрому та ослаблення зв'язку хром-кисень і полегшує відновлення.

12. Вперше теоретичне обґрунтування та експериментально підтверджено участь карбідної фази у процесах твердофазного відновлення хрому та побудовано діаграму рівноваги для визначення умов стійкого існування різних фаз. Ці відомості підтверджують механізму процесу відновлення оксиду хрому його вищим карбідом через газову фазу, а пари хрому в досліджуваному температурному діапазоні не відіграють істотної ролі, також як і пряма контактна взаємодія C і Cr_2O_3 . В умовах дефіциту вуглецю карбід Cr_3C_2 , одночасно з утворенням Cr_7C_3 виявлено метастабільний карбід Cr_{23}C_6 . Підтверджено термодинамічним аналізом та кінетичними дослідженнями участь карбідів хрому в комплексному відновленні оксидів та феритів NiO , FeO , MoO_2 , NiFe_2O_4 , MnFe_2O_4 і CoFe_2O_4 , що має практичне значення для одержання лігатур.

13. Вперше теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено метод окислювального зневуглецювання сумішшю $\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (або $\text{Ar} - \text{H}_2\text{O}$), що містить 1-2% водяної пари залізо-хромистої губчастої лігатури, яка отримана в процесі спільного твердофазного відновлення магнетитового і хромового концентратів та містить до 6-7% вуглецю. При обробці лігатури при температурі 1273-1373К протягом 25 – 40 хвилин здійснюється окислювальне руйнування складного карбиду $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$ та забезпечується отримання лігатури з вмістом менше 1% вуглецю. Вперше отримано аналітичне рівняння для визначення кінцевого вмісту вуглецю Fe-Cr губчастої лігатури в залежності від часу відновлення, температури, частки водню в газовій фазі, а також відношення C/O , Cr/Fe , Fe/Ni .

Вирішення поставлених в роботі завдань автор проводив з використанням сучасних методів теоретичних та експериментальних досліджень, обладнання та пристроїв, обробку отриманих даних проводив з використанням статистичних методів та ін. Тобто, достовірність результатів дисертаційної роботи зумовлена:

- ретельним аналізом публікацій за темою дисертаційного дослідження;
- обґрунтованістю наукових положень та висновків, що базуються на фундаментальних положеннях фізичної хімії, теорії металургійних процесів, теорії відновлювальних процесів;
- обґрунтованістю вибору методів та методик досліджень, планування та виконання експериментів;
- адекватністю одержаних фізико-хімічних моделей;
- використанням у дослідженнях сучасного метрологічно-повіреного обладнання та апаратури, статистичної обробки експериментальних даних;
- системністю підходів під час виконання теоретичних та експериментальних досліджень;
- логікою та аналізом отриманих результатів досліджень та встановлених фактів, відсутністю протиріч щодо сутності фізичних, фізико-хімічних та інших явищ, які досліджуються в роботі;
- позитивним результатом дослідно-промислового випробування губчастої лігатури;
- впровадженням в навчальний процес Національної металургійної академії України (нині - УДУНТ).

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів дослідження підтверджена, в тому числі, їх апробацією на міжнародних науково-практичних конференціях. Тому всі наукові положення, висновки, отримані результати досліджень та практичні рекомендації дисертаційної роботи цілком обґрунтовані, адекватні та ДОСТОВІРНІ.

5. Практичне значення результатів роботи

Виконані у роботі фізико-хімічні дослідження процесів твердофазного відновлення хромовмісної мінеральної та техногенної сировини за участю вуглецю, газів H_2 , CO , CH_4 та карбідної фази; процесів отримання газової фази із заданими відновним та вуглецевим потенціалами, засобами газифікації вуглецевих матеріалів та конверсії метану комплексним окислювачем; процесів окисного зневуглецювання отриманої губчастої залізо-хромистої лігатури; стали основою для теоретичного обґрунтування та розробки технологічних аспектів отримання легуючих матеріалів з більш високими службовими властивостями, а також включення до технологічного процесу різних матеріалів техногенного походження для розширення сировинної бази гірничо-металургійного комплексу України, раціонального використання енергетичних та мінеральних ресурсів та отримання якісних лігатур для спеціальних марок сталі та для порошкової металургії, у тому числі:

- виконано фізико-хімічне обґрунтування та запропоновано технологічне рішення одержання газової фази з високим відновним потенціалом (до 98% H_2+CO), що використовується в процесі твердофазного відновлення шихти, що складається із хромистого та магнетитового концентратів; інтенсифікації процесу газифікації з

комплексним окислювачем ($\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2+\text{O}_2$) в умовах хіміко-каталітичного впливу добавками $\text{Fe}_{\text{мет.}}$, а також Na_2CO_3 (0,5-1,0%);

- експериментально встановлені умови конверсії метану на свіжовідновленому металі, що дозволяють отримувати газову фазу з вмістом до 75% (H_2+CO); окислювальна конверсія метану здійснювалася через введення в реакційну зону печі суміші $\text{CH}_4+\text{H}_2\text{O}$ або $\text{CH}_4+\text{H}_2\text{O}+\text{O}_2$ в експериментально встановленому співвідношенні, що забезпечує отримання реакційноздатної газової фази із заданим відновлювальним та вуглецевим потенціалами, що визначає параметри твердофазного відновлення рудних матеріалів;

- експериментально підтверджені технологічні параметри вуглецевотермічного відновлення хромовмісних матеріалів: вид і маса вуглецю (карбиду), температура, каталітичні добавки, що забезпечують отримання губчастого продукту глибокої металізації заданого фазового та хімічного складу;

- експериментально підтверджено раціональну схему організації твердофазного відновлення заліза та хрому в умовах електромагнітного впливу на систему, визначено найбільш ефективні значення параметрів електромагнітного поля (напруженість та частота) на глибину та швидкість відновлення оксидів;

- експериментально встановлено вплив таких параметрів комплексного відновлення багатокомпонентної шихти, як час, температура, частка H_2 у газовій фазі та співвідношення C/O , Cr/Fe та Fe/Ni , на вміст вуглецю в губчастій лігатурі; визначено оптимальні умови відновлення, що забезпечують одержання лігатури із вмістом вуглецю 2,5-3%;

- підтверджено експериментально вплив розмірів рудовугільного окатиша (брикету), швидкості газифікації вуглецю та глибини проникнення водню в окатиш на температурні межі переходу комплексного відновлення у вуглецевотермічне, що експериментально зумовлено значним зростанням частки ($\text{CO}+\text{CO}_2$) на виході з реактора. Збільшення частки газифікованого вуглецю, зменшення глибини проникнення H_2 в окатиш знижують температуру переходу, знижуючи при цьому ефективність відновлення загалом;

- експериментально перевірено умови організації процесу зневуглецювання губчастого матеріалу, який отримують при спільному відновленні магнетитового та хромітового концентратів, за допомогою окислювальної обробки його сумішами $\text{H}_2 - \text{H}_2\text{O}$;

- виконано теоретичне обґрунтування та запропоновано технологічне рішення, що складається з двох етапів, отримання губчастої залізо-хромистої лігатури із заданими фізико-хімічними властивостями; отримана на першому етапі вуглецева Fe-Cr лігатура, використовується на другому переділі як вуглецевий відновник для комплексного відновлення брикетованої хромовмісної шихти. Визначено найбільш значущі параметри пресування брикетів: співвідношення компонентів шихти, їх фракційний склад, зусилля пресування та ін., що дозволило одержати металізовану лігатуру із заданими властивостями, що забезпечують засвоєння лігатури металевим розплавом до 98% та скорочення часу розчинення;

- теоретичні положення про фізико-хімічні особливості твердофазного відновлення хрому в простих і складних системах, газифікації вуглецевих матеріалів, зневуглецювання металізованого губчастого матеріалу, нові

технологічні рішення, які розроблені в дисертаційній роботі впроваджені в лекційні курси, а також використовуються при виконанні випускних кваліфікацій робіт магістрів ОНП 136 Металургія.

6. Рекомендації щодо подальшого використання результатів роботи

Результати досліджень можуть бути рекомендовані працівникам металургійних підприємств, які мають необхідні умови для організації твердофазного відновлення, зокрема підприємства щодо прямого отримання заліза, порошкової металургії, а також феросплавних заводів, на виробничій базі яких можуть бути реалізовані результати роботи; науковцями, а також викладачами коледжів та закладів вищої освіти у навчальному процесі при викладанню відповідних розділів лекційних курсів з дисциплін, що пов'язані з теорією та технологією виробництва металів та сплавів інформацією щодо теоретичних основ відновлювальних процесів, отримання газової фази із заданими властивостями шляхом газифікації та конверсії вуглецевих матеріалів.

7. Оцінка мови, стилю й оформлення дисертації'

Дисертація написана сучасною технічною мовою, наукова термінологія є загальноновизнаною, а стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує легкість сприйняття викладеного матеріалу. Дисертаційна робота оформлена відповідно до діючих вимог МОН України.

8. Оцінка змісту дисертації та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота Гришина Олександра Михайловича написана автором самостійно і за своїм змістом повністю відповідає паспорту спеціальності 05.16.02 - Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів.

Дисертація Гришина О.М. не містить елементів фальсифікацій, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належне посилання на відповідне джерело.

9. Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

Основні положення та результати досліджень дисертації викладено в 44 публікаціях, в тому числі: 1 монографія; 10 публікацій, що входять до міжнародних науково-метричних баз, 4 статті у закордонних виданнях, 19 статті у спеціальних наукових фахових виданнях, рекомендованих МОН України, 10 робіт опублікованих у збірниках наукових праць та матеріалах конференцій. Результати роботи пройшли апробацію на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях: «Литво: Металургія», Запоріжжя, 2013,2015,2018 2020,2022; «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» ІТММ-2019; All-Ukrainian scientific and technical conference «НАУКА І МЕТАЛУРГІЯ» 22-24 november2022, 2021; Міжнародна наукова конференція «Нові напрями розвитку дигіталізації на початку третього тисячоліття», 10–11 грудня 2021 року м. Рига, Латвійська Республіка; Хорватія 2021, 2022, 2023; Всеукраїнська науково-технічна конференція «Актуальні проблеми розвитку металургійної освіти і науки» Дніпро, НМетАУ, 2017р.; XIV Міжнародна конференція

«Стратегія якості в промисловості і освіті» Технічний університет – Варна, м. Варна, Болгарія; Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні матеріали та технології у металургії та машинобудуванні», м. Київ, 2007р.; Міжнародна науково-технічна конференція "Університетська наука 2009" м. Маріуполь, 2009р.; Всеукраїнська міжвузівська науково-технічна конференція «Сучасні технології у промисловому виробництві», м. Суми, 2010р.; The fourteenth international ferroalloys congress INFACON XIY, Ukraine, Kiev, May 31-June 4, 2015; Международную научно-практическую конференцию «Химия и металлургия комплексной переработки минерального сырья» Казахстан, 25-26 июня 2015г.; XIV Всеукраїнська н.-п. конференція «Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра», 19 квітня 2016 р, - Київ: НТУ КПП; XV Всеукраїнська н.-п. конференція «Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра», 11 квітня 2017 р, - Київ: НТУ КПП.; International scientific and practical conference «Science, engineering and technology: global trends, problems and solutions»: Conference proceedings, September 25–26, 2020. Prague: Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2020; International scientific conference New development areas of digitalization at the beginning of the third millennium December 10-11, 2021 Riga, the Republic of Latvia Section 3. METALLURGY; XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні -ІТММ'2022» (18 травня 2022) УДУНТ; XVII Міжнародна конференція «Стратегія якості в промисловості і освіті» 05–08 червня 2023 р., Варна; “MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2023. Vol. 1. P.26-29. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-6>.

Вказані публікації, в цілому, відображають основний зміст дисертації, об'єм і характер проведених теоретичних та експериментальних досліджень. Зміст автореферату є ідентичним основним положенням дисертацій і достатньо повно відображає основні її наукові результати.

10. Загальні зауваження по роботі

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. Робота значно перевантажена за обсягом теоретичного та експериментального матеріалу.
2. Недостатньо повно зазначені умови виробництва рудо-вугільних брикетів. Які параметри визначають технологічні властивості металізованих брикетів.?
3. При аналізі термодинамічних умов вуглецевотермічного і комплексного відновлення хрому робиться акцент на участь у процесі складних карбідів. За такими карбідами немає термохімічних даних. Як враховувалося формування та участь таких карбідів у процесі твердофазного відновлення?
4. Недостатньо повно експериментально обґрунтовано метод зневуглецювання губчастої лігатури, особливо на стадії малих концентрацій вуглецю.
5. Немає обґрунтування, яким чином вихідний склад конвертованої газової суміші буде впливати на поверхню відновленого заліза.
6. В тексті дисертації немає чітких технологічних обґрунтувань використання губчастих матеріалів у сталеплавильному виробництві.

7. В тексті автореферату та дисертації є декілька неточностей технічного та друкарського характеру.

11. Висновок:

Дисертація Гришина Олександра Михайловича «Наукове обґрунтування та технологічні засади одержання залізо-хромістих губчастих лігатур для виробництва спеціальних марок сталі та порошкових матеріалів» є самостійною завершеною роботою, що має теоретичне і прикладне значення. Отримані здобувачем результати у сукупності вирішують актуальну проблему, яка полягає в розробці фізико-хімічних основ процесу твердофазного відновлення хрому з метою отримання губчастих Fe-Cr лігатур.

Відмічені недоліки роботи не мають вирішального значення щодо формулювання наукової новизни та оцінки дисертації в цілому. Зміст автореферату повністю відповідає тексту дисертації, а основні наукові положення, що містяться в них, ідентичні.

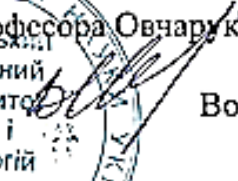
Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає всім вимогам пунктів 7 та 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою КМУ № 1197 від 17.11.2021 року, а її автор Гришин Олександр Михайлович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.02 - Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів.

Офіційний опонент
професор кафедри електromеталургії
Українського державного університету
науки і технологій,
доктор технічних наук, професор


Анатолій ОВЧАРУК

Підпис доктора технічних наук, професора Овчарука А.М. засвідчую

Провідний фахівець відділу кадрів


Володимир ШИФРІН

