

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

ДУ ЮНЬШЕН

**«Розробка та дослідження технології виробництва рафінованих сплавів марганцю в конвертері з донною продувкою»,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів»**

Детальний аналіз дисертації, опублікованих праць та автореферату Ду Юншен «Розробка та дослідження технології виробництва рафінованих сплавів марганцю в конвертері з донною продувкою» дозволяє сформулювати наступні узагальнені висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості висновків, рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, а також загальної оцінки роботи.

1 Актуальність теми дисертаційної роботи

В умовах виснаження високосортних марганцевих руд України сучасні промислові способи одержання електропічним методом середньовуглецевого феромарганцю з застосуванням попередньо знефосфорованого переробного марганцевого шлаку та низькофосфористого переробного силікомарганцю не в повній мірі відповідають показникам питомої витрати електроенергії, продуктивності процесу та рівню корисного вилучення марганцю в сплав, що в свою чергу має забезпечити в умовах жорсткої конкуренції на ринках металопродукції дієві переваги. Поставлене в роботі завдання щодо визначення термодинамічних характеристик процесу в системі шлак-метал-газ за участю Mn-Si-Fe-P-O-C з подальшим, на його основі, обґрунтуванням фізико-хімічних умов ефективної реалізації технології виробництва феромарганцю шляхом рафінування сплавів марганцю в конвертері з донною продувкою є актуальною задачею. Її раціональне вирішення дозволить

суттєво поліпшити стан і показники виробництва та використання середньовуглецевих марганцевих сплавів. Отримана методом математичної статистики залежність активності фосфору, розчиненому в марганцевому сплаві з домішками фосфору, кремнію та вуглецю, від його складу і температури процесу може бути використана для розрахунків активності фосфору в системі Mn-P-C, що є основою для розробки фізико-хімічної моделі процесу. Поставлені і отримані в дисертаційній роботі конкретні рішення актуальної задачі в області теорії і технології рафінування високовуглецевого феромарганцю для отримання середньовуглецевого феромарганцю в конвертерах з донним дуттям відповідають Державній програмі розвитку і реформування гірничо-металургійного комплексу України, відповідають пріоритетам Державної програми з розвитку науки і техніки (згідно до закону України №2519-17 від 12.10.2010), планам НДР Національної металургійної академії України.

Дисертаційна робота включає вступ, п'ять розділів, висновки, літературні джерела та додатки. Робота містить 163 сторінки основного тексту, 37 таблиць, 26 рисунків. Перелік посилань включає 162 літературних джерела.

2 Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Ду Юньшен, висока оскільки: базується на фундаментальних положеннях фізичної хімії і теорії металургійних процесів; розрахунки термодинамічної рівноваги оксидних систем ґрунтуються на теорії Гіббса з використанням комп'ютерних програм та на комплексному критичному аналізі наявного в літературних та інформаційних джерелах матеріалу за даною проблемою; реалізує класичний підхід до наукового дослідження, який включає в себе постановку мети, визначення завдань дослідження (вступ), аналітичний огляд (розділ перший), в якому проаналізовано науково-технічну літературу щодо сучасного стану

технологій одержання сплавів марганцю зі зниженим вмістом вуглецю та інших домішок та існуючі способи здійснення таких процесів; наведено відомості про параметри обробки високовуглецевих марганцевих феросплавів (розділ другий); наведено результати досліджень підвищення вилучення марганцю в сплав за рахунок визначення впливу в'язкості шлакового розплаву при його формуванні з вихідної шихти та моделювання формування структурних одиниць розплаву в залежності від температури та основності (розділ третій); представлені результати дослідження відновлення оксидів марганцю з чистих оксидів та у складі марганцевосилікатного розплаву кремнієм силікомарганцю при одержанні середньовуглецевого феромарганцю (розділ четвертий); представлені результати опрацювання технології обробки високовуглецевих розплавів в конвертері з донною продувкою для забезпечення зневуглецювання розплаву та зниження вмісту фосфору з обґрунтуванням використання високоякісної руди з виключенням застосування малофосфористого шлаку (розділ п'ятий); використовує сучасні методи теоретичних досліджень для встановлення впливу параметрів обробки на показники одержаних сплавів; хімічний аналіз визначали спектральним методом з застосуванням рентгенофлуоресцентного аналізатору «Спрут», металографічний аналіз проводили на оптичних металомікроскопах моделей МІМ–8М і «Neophot 21», розрахунок рівноваги в системі Mn-O-Ca-Si-P проводили з використанням термодинамічних баз даних "HSC Chemistry5.1" без урахування утворення розчинів і неідеальної поведінки компонентів.

3 Достовірність результатів досліджень. Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується: коректною постановкою завдань теоретичних та експериментальних досліджень; системною логікою аналізу досліджуваних процесів та відсутністю протиріч щодо сутності та фізико-хімічних явищ, які досліджуються в роботі; наукова новизна отриманих результатів визначається одержаними експериментальними даними, встановленими закономірностями та розробкою технологічних

процесів для одержання марганцевих сплавів зі зниженим вмістом вуглецю; системним підходом до досліджуваної проблеми за рахунок аналізу технологічних процесів; наявністю акту виробничих випробувань в 15 т конвертері заводу компанії “Shanxi Yida Special Steel Group Co.Ltd” м. Тайюнань. Зазначене свідчить про достовірність наведених у дисертації результатів. Всі висновки дисертаційної роботи базуються на отриманих автором теоретичних і експериментальних результатах, які між собою співпадають. Встановлені закономірності не суперечать існуючій на даний час системі знань у даній галузі науки, і тому я вважаю їх абсолютно достовірними. Можна зробити висновок, що достовірність результатів досліджень є високою.

4 Наукова новизна отриманих результатів. В результаті теоретичних і експериментальних досліджень отримано нові відомості про закономірності взаємодій при окислювальному рафінуванні високовуглецевих марганцевих розплавів з застосуванням продувки газоподібним киснем в конвертері донного дуття.

Термодинамічним аналізом реакцій і фазових перетворень вихідних речовин, які приймають участь в хімічних реакціях відновлення закису марганцю кремнієм, розчиненим в марганці, в присутності оксиду кальцію, встановлено суттєву різницю в значеннях ентальпії реакцій в початковий період плавки, яка має екзотермічний характер, а при зниженні концентрації кремнію в марганці переходить в ендотермічний, що обумовлює необхідність застосування додаткових енергоносіїв.

Розвинуті уявлення про закономірності масообмінних та теплових процесів при силікотермічному відновленні оксидів марганцю з шлакового розплаву в конвертері з донним дуттям. Для збалансованого теплового режиму обробки, забезпечення стійкості футеровки конвертера та інтенсифікації масообміну між шлаком та металом застосовано періодичність подачі кисню та аргону, що забезпечує підвищення корисного вилучення марганцю.

Вперше проведено комплексне дослідження технології виробництва рафінованих сплавів марганцю в конвертері з донною продувкою та показано, що наявність в розплаві кремнію та його висока спорідненість до кисню приводить до переважного окислення кремнію та блокування окислення марганцю. Ступінь відновлення марганцю залежить від вмісту відновника - кремнію в сплаві. Зменшення відновлення марганцю відзначено при вмісті кремнію понад 50%, що можливо пов'язано зі зростанням в'язкості утвореного кислого шлаку, що зменшує швидкість масообмінних процесів на межі розподілу шлак-метал. Оптимальний вміст кремнію в сплаві для відновлення марганцю становить 20-22,5%, що відповідає товарному силікомарганцю.

Вперше на підставі аналізу фізико-хімічних особливостей відомих способів і механізму дефосфорації марганцевих сплавів і умов досягнення необхідних ступенів переводу фосфору в шлакову фазу обґрунтована теоретично і експериментально підтверджена доцільність проведення процесу дефосфорації сплаву в одну стадію з використанням брикетованої суміші, яка включає залізну окалину, вапно, боксит та ортосилікат натрію, що дозволило підвищити коефіцієнт наскрізного вилучення марганцю з вихідної сировини. Виключення зі складу матеріалів для дефосфорації фтористих з'єднань підвищує екологічну чистоту процесу рафінування.

Визначенням залежності активності MnO в шлаку від вмісту CaO показано, що активність MnO збільшується при додаванні оксиду кальцію, кількість якого впливає позитивно до 20% по масі, а потім в силу розведення шлакового розплаву і зменшення в ньому концентрації оксиду марганцю зменшується відновлення марганцю.

5 Практичне значення результатів роботи.

Розроблено інноваційну технологію одержання середньо вуглецевого феромарганцю дуплекс-процесом «дугова електропіч - газокисневий конвертер з донної подачею енергоносіїв», що забезпечує підвищення корисного вилучення марганцю з вихідних матеріалів від 83% до 86%. В

умовах заводу компанії “Shanxi Yida Special Steel Group Co.Ltd” м. Тайюнань, КНР на промислових плавках в 15т конверторі з продувкою киснем і аргоном при рафінуванні марганцевих сплавів для одержання заданого по хімічному складу середньовуглецевого феромарганцю і металевого марганцю, отримані дослідні партії рафінованих сплавів марганцю, склади яких відповідають стандартним значенням (акт впровадження від 3 березня 2017 р.).

Вміст марганцю в дослідному сплаві складає 85...86%, що відповідає вмісту марганцю в середньовуглецевому феромарганці і досягає до 95% в металевому марганці без погіршення металургійних властивостей; збільшилось загальне використання марганцю в конвертерному переділі і зменшились втрати марганцю зі шлаком; досягнута висока продуктивність конвертерного обладнання при технологічній простоті реалізації розробленої технології.

6 Апробація результатів роботи. Результати роботи доповідались на міжнародних науково-технічних конференціях “Nowe technologie I osiagniescia w metalurgii I inzynierii materialowej” (Czestohowa, 2017, 2018), «Стратегия качества в промышленности и образовании» (Варна, Болгария, 2018), «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні ITMM-2018».

7 Повнота викладення результатів досліджень у публікаціях

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані: 1 монографія; 8 статей в наукових фахових виданнях України; 1 стаття – зарубіжна публікація в колективній монографії, 1 стаття – у виданні, яке входить в міжнародну наукометричну базу Index Copernicus) та 4 тез доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях.

Оцінка змісту дисертаційної роботи та її завершеності

В першому розділі «Сучасний стан процесів одержання високовуглецевого феромарганцю та рафінування від вуглецю та фосфору» виконано аналіз сучасних вимог, що пред’являються до якості шихтових матеріалів та складу марганцевих феросплавів, що застосовуються для розкислення сталі, проаналізована мінерально-сировинна база марганцю

України. Розглянуто технології виробництва високовуглецевого феромарганцю в електропечах та їх вибір в залежності від якості марганцевої сировини. Велика кількість проаналізованих публікацій дозволяє вважати виконаний аналіз досить змістовним і глибоким. Це ж відноситься до обґрунтованості вибраних автором напрямів подальших досліджень, в тому числі проведених ним особисто в рамках дисертації, що рецензується.

Як конкретні зауваження по цьому розділу необхідно вказати на наступні:

1. Висновок про основні вимоги до якості шихтових матеріалів та раціонального складу марганцевих феросплавів потребує додаткових коментарів з посиланнями на конкретні джерела і їх авторів.

2. Приведено забагато уваги розгляду фізико-хімічних закономірностей процесу отримання середньо вуглецевого феромарганцю без їх поглибленого аналізу.

Другий розділ «Фізико-хімічні основи рафінування високо вуглецевих марганцевих розплавів при застосуванні реагентів у різному фазовому стані» включає системний аналіз існуючих підходів до реалізації процесу переробки високо вуглецевого феромарганцю в середньо вуглецевий. Обґрунтоване теоретично і перевірене в реальних умовах використання дуття з регулюванням, в залежності від технологічної необхідності, його окислювального потенціалу є ефективним технологічним прийомом, що характеризує гнучкість розробленою технологічної схеми, дозволяє видалити 88,16% кремнію та 71,03 фосфору, розширюючи при цьому функціональні можливості киснево-конвертерного процесу. Доцільним з точки зору раціонального використання марганцеворудної сировини природного походження є науково обґрунтоване залучення у процес отримання середньовуглецевого феромарганцю в якості високо вуглецевого феромарганцю попутного металу, який є техногенним відходом виробництва малофосфористого марганцевого шлаку.

Зауваженнями по розділу 2 є наступні:

1. Відсутність поглибленого аналізу розрахунків теплової сторони як прогнозуємих так і дослідних плавок з використанням матеріалів більш широкого спектру функціонального призначення, а також графічного матеріалу, який визначав би співвідношення ефектів нагріву та охолодження при їх використанні затрудняє обґрунтуванню найбільш раціонального за витратами сировини та енергії алгоритму проведення рафінування високо вуглецевих марганцевих розплавів, а саме дуттьового та шлакового режимів з подальшим визначенням рівня ефективності використаних в роботі технологічних рішень.

Значний інтерес представляють матеріали **розділу 3** «Прогнозування властивостей феросплавних шлаків та зниження втрат марганцю при виплавці феросілікомарганцю» які присвячені аналізу умов досягнення максимально можливого корисного вилучення марганцю в сплав на основі прогнозування фізичних властивостей шлакових розплавів, а саме його динамічної в'язкості, яка суттєво впливає на умови розподілу елементів між металевою та шлаковою фазами та особливості тепло- і масо переносу в гетерогенних системах. Отримана методом математичної статистики залежність активності фосфору, розчиненому в марганцевому сплаві з домішками фосфору та вуглецю, від його складу і температури процесу може бути використана для розрахунків активності фосфору в системі Mn-P-C. Використання, розроблених в роботі прогнозних моделей, дозволяє з достатнім ступенем точності прогнозувати в'язкість шлакових розплавів системи MnO-CaO-SiO₂ в діапазоні змін складу та температури феросплавних шлаків.

До зауважень при розгляді розділу 3 треба віднести:

1. На жаль в роботі відсутній графічний матеріал, який встановлює ступінь узгодженості між показниками в'язкості шлакових розплавів, отриманими з використанням їх інтегральних характеристик хімічного та структурного стану і експериментальним шляхом. Іноді ці розбіжності становлять понад 100%.

2. Не в повній мірі використано також результати досліджень для теоретичного обґрунтування умов підвищення ступеню корисного вилучення марганцю з вихідної сировини в сплав шляхом більш повного використання відновлювально-окислювального потенціалу досліджуємої системи.

У розділі 4 «Дослідження відновлення оксидів марганцю з окисних марганцевих концентратів феросілікомарганцем та технологія одержання середньо вуглецевого феромарганцю» автор досить переконливо обґрунтовує фізико-хімічні умови та аналізує особливості одержання силікотермічним способом середньо вуглецевого феромарганцю дуплекс-процесом дугова електрод - газокисневий конвертер. Результати виплавки середньо вуглецевого феромарганцю за цією схемою суттєво розширює спектр функціонального призначення дугової електродпечі та кисневого конвертера.

До зауважень по розділу 4 треба віднести наступні:

1. При проведенні теоретичних досліджень не в повній мірі розглянуто та обґрунтовано вплив зміни основності за основними періодами плавки на завершеність процесу відновлення марганцю за умов зміни активностей реагуючих компонентів в металевій та шлаковій фазах.

2. При неможливості, очевидно за об'єктивними причинами, проведення промислових випробувань, доцільно привести результати прогнозування кінцевих результатів виплавки середньо вуглецевого феромарганцю в промислових агрегатах в умовах максимально наближених до реальних.

У розділі 5 «Дослідно-промислові дослідження технології виробництва металевого марганцю в конвертері з донною продувкою» відображені результати дослідження особливостей технології виробництва металевого марганцю з використанням малофосфористого шлаку в конвертері ємністю 1,0т з донною продувкою металеві ванни.

В розділі на основі виконаних досліджень обґрунтована теоретично і підтверджена в реальних умовах технологічна доцільність використання дуття з регулюванням, в залежності від задач відповідних етапів плавки, його

окислювального потенціалу. Використання розробленої гнучкої технології дозволяє за оцінкою здобувача видаляти 88,16% кремнію та 71,03 фосфору, розширюючи при цьому функціональні можливості киснево-конвертерного процесу.

До зауважень по розділу 5 треба віднести наступні:

1. Відсутність обґрунтування вибору матеріалу футерування дугової печі, в якості якого в розділі 4 при одержанні середньо вуглецевого феромарганцю силікотермічним способом використовують магнезит, а в розділі 5 при одержанні металевого марганцю нагрів та розплавлення вихідної марганцевої шихти проводили в дуговій печі як з хромомагнезитовим так і з периклазохромітовим футеруванням, не дало можливості за результатами дослідних плавок, зробити висновок про вплив матеріалу футерування на особливості і кінцеві результати дослідних плавок.

2. Висновок щодо низької асиміляції вапна кислим марганцевистим шлаком, причиною якої є утворення на поверхні шматочків вапна тугоплавким двухкальцієвим силікатом є загальновизнаним. Для вирішення цієї проблеми в роботі пропонується використати свіже обпалене вапно. На жаль, в роботі не перевірені альтернативні варіанти: використання шлакоутворюючих матеріалів цільового призначення, що отримуються способом попередньої теплової обробки вихідної суміші компонентів, склад якої визначає фізичні властивості та їх функціональне призначення. Також відомо, що підвищення основності шлаку забезпечує перехід шлаку в область переважного вмісту три кальцієвого силікату зі зниженням його в'язкості.

3. За результатами дослідних плавок металевого марганцю в конвертері з донною продувкою зроблено висновок про низьку ефективність перемішування металу і шлаку киснем на відміну від продувки аргоном на кінцевих етапах дослідних плавок. Можливо, рішення цієї достатньо важливої проблеми є в другому розділі дисертаційної роботи. В якості високовуглецевого феромарганцю використовували супутній метал, який є техногенним відходом виробництва мало фосфористого шлаку. Умови

виплавки в конвертері з донною продувкою металевої ванни, а також можливість регулювання окислювального потенціалу дуття дозволяє при використанні супутнього металу, як частки металу завалки, суттєво покращуючи перемішування металу і шлаку за рахунок ефекту спливаючих бульбашок CO, збільшити коефіцієнт наскрізного вилучення марганцю та ефективно утилізувати техногенний відхід.

Загальні висновки.

Дисертаційна робота Ду Юньшена «Розробка та дослідження технології виробництва рафінованих сплавів марганцю в конвертері з донною продувкою», представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.16.02 – Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів. Оцінюючи дисертаційну роботу в цілому, необхідно, перш за все вказати на те, що приведені в дисертації основні наукові положення, що стосуються механізму і особливості перемішування рідкої ванни, що продувається комбіновано, висновки і рекомендації є обґрунтованими, оскільки вони базуються на значному об'ємі експериментального матеріалу, аналітичних розрахунках і теоретичному аналізі. Їх достовірність підтверджується збіжністю результатів, отриманих автором при використанні різних методів досліджень, а також даними промислових випробувань. Отримані результати, висновки і рекомендації характеризуються новизною, а виконані експерименти оригінальністю підходу. Результати виконаної дисертаційної роботи мають як наукову, так і прикладну значущість, оскільки з одного боку заглиблюють і розширюють існуючі уявлення про продувку ванни у ковші нейтральним газом, а з іншого - служать основою її вдосконалення.

Основні результати роботи достатньо повно висвітлені в опублікованих статтях і авторефераті, який об'єктивно відображає основні положення, висновки і рекомендації роботи.

Дисертаційна робота Ду Юньшен є завершеною науковою працею, в якій отримані нові науково-обґрунтовані результати, які сприяють рішення конкретного науково-технічного завдання, що має важливе значення для підвищення ефективності виробництва рафінованих сплавів марганцю в конвертері з донною продувкою газом з регульованим за ходом плавки окислювальним потенціалом. Що стосується висловлених зауважень і побажань, то вони в цілому не знижують значущості роботи. Реферат написаний з використанням сучасної науково – технічної термінології і містить всі необхідні розділи і відомості.

Рецензована дисертаційна робота за своєю вагомістю, кількістю та якістю публікацій, наукові новизні та практичному значенні відповідає вимогам п.9, 11, 12, 13, 14, 15 «Порядку присудження наукового ступеня та присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013р. №567, може бути визнана як дисертація на здобутті наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів», а її автор, Ду Юньшен, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент,

Кандидат технічних наук,

начальник виробничо-технічного

відділу АТ “Нікопольський завод

феросплавів”.

Підпис Філіппова І.Ю. засвідчую:

Голова правління, генеральний директор заводу,

д.т.н.



Філіппов І.Ю.




Куцин В.С.