

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Снігури Ірини Романівни «Розробка критеріїв та комплексних показників для опису фізико-хімічних взаємодій в системі «метал-шлак» при позапічній обробці сталі», яку представлено на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Тенденції, що формуються у сучасній металургійній галузі створюють передумови для поглиблення вивчення процесів міжфазних взаємодій, зокрема на стадіях позапічної обробки сталі, як важеля впливу на підвищення якості напівпродукту та раціонального використання потенціалу добавок. На користь цього свідчать акценти, які все частіше звучать на міжнародних кворумах про структуру та властивості розплавів – «науково-обґрунтоване використання максимально можливого термодинамічного потенціалу добавок – ключ до якісної сталі».

Значний науковий доробок та промислове освоєння інноваційних технологічних рішень з виробництва та доведення сталі на вітчизняних заводах та ближнього зарубіжжя склали напрацювання Гасика М.І., Віхлевщука В.А., Гаврилова В.А. та інших, які висвітлені у матеріалах аналітичної частини дисертації здобувача. Поряд з тим значна вартість енергоресурсу та добавок (легуючих, рафінуючих, ШОС та ін.) диктують постійний науковий пошук комплексного вирішення проблеми у сталеплавильній галузі, як України так і на міжнародному ринку металопродукції.

Виявлення нових кількісних зв'язків, встановлення нових закономірностей розподілу елементів в системі метал-шлак в ході процесів рафінування та доведення металевого напівпродукту зокрема на стадії позапічної обробки залишається безумовно актуальним питанням

сьогодення. Способи впливу на процеси структуроутворення матеріалів безперервно удосконалюються (підбір відповідних добавок, розкислювачів, ШОС, інтенсивність дуття, додатковий підігрів, швидкість охолодження та ін.) і необхідність врахування їх ролі й інформаційної значимості при комплексному підході до вирішення проблеми кінцевого розподілу елементів між металевою та шлаковою фазами тільки зростає.

У зв'язку з вище викладеним вважаю, що тематика дисертаційної роботи Снігури І.Р. є актуальною і своєчасною, оскільки спрямована на дослідження чинників та виявлення закономірностей, які адекватно відображають опис фізико-хімічних взаємодій в системі «метал-шлак» при позапічній обробці напівпродукту. Зміст виконаної здобувачем роботи відповідає стратегічним напрямкам науково-дослідних робіт бюджетної та договірної тематики Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України. В основу дисертації покладені результати наукових досліджень, що увійшли у звіти з науково-дослідних робіт: «Розвиток наукових уявлень про структурний стан шлакових розплавів для обґрунтованого вибору їх хімічного складу, що забезпечить ефективність процесу рафінування при виробництві чавуну і сталі» № державної реєстрації: 0118U000079 і «Розробка критеріїв та методики прогнозування фізико-хімічних та теплофізичних властивостей феросплавів з метою їх ефективного використання при виробництві сталі» № державної реєстрації: 0115U001062 та програми «Розвиток наукових уявлень про процеси ковшової обробки сталі з урахуванням порційного вводу добавок і особливостей перемішування та теплового стану при дегазації металу» № державної реєстрації: 0118U000081, в яких автор приймала участь у якості відповідального виконавця при виконанні наукових досліджень, дослідно-промислового та промислового впровадженні нових підходів до оптимізації процесів позапічного доведення сталі.

2. Наукова новизна отриманих результатів

У результаті теоретичного узагальнення існуючих підходів до вирішення задач оцінки ефективності протікання процесів міжфазних взаємодій у системі метал-шлак, формування їх закономірностей та прогнозу розподілу провідних компонентів добавок у поєднанні з експериментальним аналізом промислових даних реального процесу отримання сталей спеціального призначення здобувачу вдалось отримати наступні нові наукові результати:

1. Вперше запропоновано використати у якості критерію мікронеоднорідності структури металевих розплавів параметр спрямованої зарядової щільності ρ_1 при їх моделюванні з позицій концепції спрямованого хімічного зв'язку. Методика розрахунку та фізико-хімічна сутність в достатній мірі висвітлено у матеріалах дисертаційної роботи. Автором пропонується здійснювати підбір складових добавок, що вводять у металевий розплав з позицій урахування їх ступеня схожості за мікронеоднорідною будовою, а отже забезпечення виконання умови, що температура плавлення добавки менша або максимально наближена до температури металевого напівпродукту.

2. Вперше обґрунтовано використання параметру міжатомної взаємодії – $\text{tg}\alpha$, як критерію хімічної активності елемента та необхідності його врахування при описі фізико-хімічних взаємодій між металевою та шлаковою фазами, а отже з його допомогою можна визначити розподіл елементів у системі «метал-шлак».

3. Показано, що врахування параметрів мікронеоднорідності (ρ_1) та хімічної активності ($\text{tg}\alpha$) разом з інтегральними параметрами зарядового (Z^Y) і структурного (d) стану залізовуглецевого розплаву підвищує порівняно з емпіричними рівняннями вираженими лише через хімічний склад, точність прогнозу фізико-хімічних та теплофізичних властивостей металевих розплавів. Визначені залежності параметрів дають можливість

раціоналізувати вибір добавок до розплаву сталі відповідних сплавів, феросплавів, ШОС при позапічній її обробці.

4. Обґрунтовано новий підхід до визначення коефіцієнтів розподілу елементів в системі «метал-шлак» за інтегральними параметрами міжатомної взаємодії та фізико-хімічними й теплофізичними властивостями добавок з урахуванням технологічних режимів позапічної обробки сталі. Запропонований підхід дозволяє провести оцінку ступеня завершеності процесів рафінування і легування та уточнити технологічну схему отримання металу заданого складу.

3. Практична цінність дисертаційної роботи

Практичну цінність дисертаційної роботи визначають наступні результати:

Поповнений інформаційний ресурс [фундаментальними експериментальними даними літературних джерел та промисловими даними (паспорта плавов), щодо хімічного складу металургійних розплавів, їх фізико-хімічних та теплофізичних властивостей, технології виробництва], який представлений діючими в Інституті чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України базами даних «Метал», «Феросплави», «Метал-шлак-газ» банку даних «Металургія» та використаний для формування репрезентативних вибірок задля вирішення заявлених задач здобувачем.

Розроблені здобувачем алгоритми прогнозування фізико-хімічних і теплофізичних властивостей сталей та сплавів, які дозволяють визначити розподіл елементів у системі «метал-шлак» та здійснити науково-обґрунтований вибір ефективних добавок при позапічній обробці сталі з достатньою точністю.

Запатентовано сталерозливний ківш для позапічної обробки металу (Патент 122852 С2) зі змінним розміщенням продувочної фурми у днищі за використання якого на установці ківш-піч ПрАТ «Дніпроспецсталь» досягнуто зменшення застійних зон на 12,5%, перегріву металу на 17,7%,

підвищення стійкості футерівки на 5 плавок й ступеню десульфурації на 28%, економію матеріальних та енергетичних ресурсів.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень відображених у дисертаційній роботі використовуються у навчальному процесі при викладанні дисциплін на кафедрі теорії металургійних процесів та загальної хімії у Національній металургійній академії України за спеціальністю 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».

4. Достовірність наукових положень і висновків дисертаційної роботи

Основні наукові положення дисертації, висновки та рекомендації у достатній мірі обґрунтовані та відповідають об'єктивній дійсності, які базуються на детальному вивченні досягнень вітчизняних та зарубіжних фахівців наведених у сучасній літературі за темою дисертації, реальних промислових експериментальних даних та базових положеннях з виплавки і доведенню напівпродукту на установках позапічної обробки. Для вирішення поставлених завдань в роботі здобувачем були використані сучасні методи досліджень у тому числі математичне моделювання; експериментальні дослідження й промислові випробування результатів розрахунків та розроблених технічних рішень. Достовірність результатів дослідження підтверджується збіжністю теоретичних передумов і отриманих прогнозних значень, які розроблялись на сформованих репрезентативних вибірках.

5. Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

В авторефераті і в опублікованих роботах досить повно відображені основні науково-практичні результати і положення дисертації. Основні положення дисертації опубліковані у 15 наукових працях. Серед них: 5 статей в спеціалізованих наукових виданнях, затверджених ВАК України, 1 стаття в іноземному виданні, що увійшла до Scopus, 7 доповідей на фахових

науково-технічних міжнародних та вітчизняних конференціях, 1 патент України на винахід, 1 свідоцтво авторського права України на твір.

6. Оцінка змісту дисертаційної роботи та її завершеності

У вступі відображена актуальність теми, мета дослідження, визначені задачі, об'єкт і предмет досліджень, сформульована наукова новизна отриманих результатів та їх практичне значення.

У першому розділі дисертантом проведено аналіз найбільш поширених поглядів на будову металевих та шлакових розплавів з відображенням переваг і недоліків кожного із підходів. Також проведено системний аналіз існуючих методів оцінки ступеню засвоєння добавок, який представлений у вигляді узагальнюючої схеми, що поєднує експериментальні методи, розрахунково-прогнозні вирази та комп'ютерні програмні модулі; сучасних способів їх введення у ківш і вимог, що пред'являються до даного виду продукції. Розглядаючи існуючі підходи та закладені у них допущення, автор приходить до висновку – існуючі моделі і методики оцінки ступеню засвоєння добавок не забезпечують адекватний прогноз, що зумовлює напрямок досліджень – розробку критеріїв та комплексних показників для опису фізико-хімічних взаємодій в системі «метал-шлак» при позапічній обробці, що враховують хімічний склад та властивості розплавів і виражені у параметрах міжатомної взаємодії.

При викладенні даного матеріалу автору варто було б завершити зміст першого розділу, однак вона розширює та додатково розглядає необхідність створення інформаційного підґрунтя у вигляді баз даних. Дане питання є дійсно важливим не тільки у межах висунутої роботи, але й у границях галузі та значним по охопленню, проте дещо вибивається з загальної картини розділу. На мою думку воно заслуговує окремого розділу, що дозволить повноцінно його викласти, оскільки охоплює чотири важливі бази даних: «Метал», «Шлак», «Феросплави», «Метал-шлак-газ».

У другому розділі, прагнучи забезпечити цілісність дисертаційної роботи відправною позицією якої обрана концепція спрямованого хімічного зв'язку, дисертант визначає у якості цільової установки, що забезпечить вирішення поставлених завдань – створення комплексу прогнозних моделей фізико-хімічних та теплофізичних властивостей шляхом детального вивчення індивідуальних особливостей металевих розплавів сталей, сплавів, феросплавів із залученням пакету кореляційно-регресійного аналізу й статистичної обробки даних, а також експертної оцінки отриманих результатів з іншими підходами. Значимість викладеного матеріалу є безсумнівною, однак супроводжується малою кількістю даних про хімічні склади досліджуваних систем, що дещо ускладнює сприймання. Доцільно вирішити дане питання шляхом виділення таблиць при їх громіздкості у формі додатків.

Третій розділ є логічним продовженням дисертаційної роботи, адже заявлена у темі саме система «метал-шлак» та присвячений дослідженню властивостей шлакових розплавів, їх ролі при формуванні залізовуглецевого розплаву. Автор відзначає існуючу проблему сприйняття значимості шлакових розплавів не як відходів виробництва, а на одному рівні з металевими, оскільки інформація про показники якості сталі у значній мірі визначається функціями шлакової системи та ефективністю реалізації технологічності процесу виплавки та обробки. Саме таке відношення до шлакових розплавів спричинює складність отримання даних їх хімічного складу, що мають високу наукову цінність з позицій опису реалізованості термодинамічного потенціалу розплавів. Представляє науковий інтерес проведений аналіз питання шлакороз'їдання футерівки ковшів плавиковим шпатом на основі літературних джерел провідних фахівців-металургів та даних промислової практики. Необхідно відмітити, що наряду з викладеним автор дещо упустив напрацювання Кабакова Д.Ю., Сосонкина Д.М., Зінурова І.Ю., додатковий розгляд яких розкриває значимість шлаків з позицій

теплоенергетичності й тепломасообмінності при описі перебігу процесів в установці ківш-піч.

У четвертому розділі здійснено опис іонообмінних процесів між металом та шлаком з позицій обраної автором та обґрунтованої до застосування концепції спрямованого хімічного зв'язку, що дозволяє абстрагуватись від запису окремих термодинамічних реакцій і безпосередньо перейти до оцінки значимості хімічного складу реагуючих компонентів системи, як елементів єдиного цілого. З метою визначення спрямованості процесу переходу компоненту між металом та шлаком здобувач обґрунтовує інформативність параметру $\text{tg}\alpha$, який пропонується використати у якості критерію хімічної активності у металевому розплаві. Інтерес викликає рис. 4.3, де автор ілюструє залежність зміни активності кремнію, марганцю, фосфору, хрому, нікелю від $\text{tg}\alpha$, що відображає процеси «перезарядки», як градієнт зміни радіусу іона від його заряду. Розглядаючи філософію питання впливу активностей компонентів на їх розподіл доцільним є порівняння точності по запропонованому автором критерію з іншими підходами.

Використання показників наближення системи до рівноважного стану, як індикатора ефективності протікання фізико-хімічних взаємодій між металом та шлаком автор розглядає на конкретному прикладі трубних і підшипникових марок сталей, які виготовляються у різних сировинно-шихтових умовах та заводах (рис.4.6 – 4.8). У обох варіантах спостерігається тенденція до неповноцінного використання десульфуруючої та дефосфоруючої здатності шлакових розплавів. З метою збільшення глибинності та ефективності даних процесів здобувачем встановлені співвідношення для трубних марок сталей, які виготовляються в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» - для забезпечення максимальної сіркопоглинаючої це утримання співвідношення $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ на рівні $6\div 12$, а дефосфоруючої здатності співвідношенням $(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$ $2\div 4$. Оптимізаційне рішення запропоноване здобувачем у даному конкретному випадку відображає можливість регулювання процесу за рахунок хімічної

складової. Наряду з хімічним фактором, автор розглядає конструкційну можливість впливу, яка реалізована в умовах ПрАТ «Дніпроспецсталь» та підкріплено її впровадження патентом на винахід, суть якого полягає у конструкційній зміні розміщення продувочної фурми у днищі ковша, за рахунок чого коефіцієнт розподілу сірки для сталі ШХ-15 і її модифікацій по новій технології зріс на 28% по відношенню до плавки зі старою технологією. Ймовірно детальний опис не є доцільним з позицій комерційної таємниці, проте бажано дещо ширше відобразити вказане ноу-хау і приділити йому більше увагу.

П'ятий розділ присвячений автором опису поетапності формування структури прогнозних моделей для визначення коефіцієнтів розподілу елементів у конкретних промислових умовах позапічної обробки сталі на установці ківш-піч, після виплавки напівпродукту в конвертері (09Г2С та її модифікації) та дуговій електросталеплавильній печі (ШХ-15) різних металургійних заводів, на основі науково-обґрунтованого відбору значимих параметрів впливу, як з позицій зміни хімічного складу, так і факторів технологічного навантаження. На основі синтезу параметрів міжатомної взаємодії металу, шлаку, добавок та чинників технології дисертантом отримані моделі з достатньою точністю і математичною стійкістю для їх інтеграції в АСНІ й АСУТП сталеплавильних цехів.

Описана автором методика, що пронизує усю дисертаційну роботу з відповідною графічною інтерпретацією на кожному етапі її виконання, представлена у заключному розділі, як структурна схема реалізації алгоритму по прогнозуванню продуктів плавки з урахуванням ефективності розподілу елементів між металевою і шлаковою фазами на основі концепції спрямованого хімічного зв'язку.

7. Загальні зауваження до дисертаційної роботи:

- Автор у дисертаційній роботі оперує поняттям «мікронеоднорідність», однак чіткого визначення даного терміну і яке тлумачення закладає в них

здобувач не приводиться. Бажано було б сформулювати додаткові пояснення до вказаного виразу з окресленням позицій та обмежень, щодо його розуміння.

- З роботи не зрозуміло чи визначались розрахунковим методом або ж експериментальним шляхом кількісні характеристики мікронеоднорідних областей у досліджуваному напівпродукті?

- У розділі 3 було б доцільно розкрити важливий факт впливу шлакових розплавів на теплоенергетичні показники обробки на установці ківш-піч, що дозволяють відповідно оцінити економічний ефект у промисловій практиці.

- Здобувачу слід підсилити 4 розділ та розкрити його повніше за рахунок акцентування значимості запропонованого нового сталерозливного ківша зі зміненим розміщенням фурми у його днищі, а також навести у чому його перевага над тими, що застосовуються.

- При оцінці ефективності процесу десульфурзації у 5 розділі варто було б конкретизувати чи враховувалась автором ймовірність утворення неметалевих включень сірки у об'ємі металевого розплаву, що безсумнівно впливає на розподіл елементу у системі «метал-шлак».

- Не ясно чи враховувався автором розмір добавок та зміна їх форми по ходу обробки на установці ківш-піч при визначенні розподілу їх провідних елементів між металом та шлаком?

- У дисертації мають місце невеликі описки, а саме маленький шрифт надписів на рисунках, що дещо ускладнює їх читабельність.

- У якості рекомендацій щодо покращення сприйняття достатньо насиченої інформаційно дисертаційної роботи, пропоную виділити лист з умовними позначеннями, роз'ясненням скорочень та аббревіатур, що згадуються по тексту роботи. Частину матеріалу у вигляді таблиць про дані хімічних складів досліджуваних розплавів можливо було б винести у додатки без зниження наукової цінності роботи.

Вказані зауваження не знижують у цілому наукової та практичної цінності дисертаційної роботи Снігури І.Р., виконаної на належному науково-

технічному рівні, з використанням сучасних методів досліджень та обробки експериментальних даних. Зроблені зауваження не ставлять під сумнів достовірність матеріалів дисертації, її основних положень і висновків.

8. Висновок про відповідність дисертації обраній спеціальності, профілю спеціалізованої вченої ради, вимогам п. 9, 10, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р.

Дисертаційна робота Снігури І.Р., яку представлено на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук, є завершеним науковим дослідженням. Аналіз новизни й значущості наукових і практичних результатів, висновків та рекомендацій дозволяють стверджувати про відповідність дисертаційної роботи вимогам пунктів 9, 10, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» № 567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами) та нормативним документам Міністерства освіти і науки України. Наукові і прикладні результати дисертації достатньою мірою висвітлені у 15 наукових роботах. Кількість, обсяг та рівень видання публікацій відповідають вимогам Департаменту атестації кадрів вищої кваліфікації МОН України. Аналіз особистого внеску автора роботи вказує на високий ступінь самостійності виконання досліджень та публікування їх результатів.

Таким чином, на основі представленого вище оцінювання в цілому дисертаційної роботи Снігури І.Р. «Розробка критеріїв та комплексних показників для опису фізико-хімічних взаємодій в системі «метал-шлак» при позапічній обробці сталі» вважаю, що дисертаційна робота повністю відповідає вимогам Департаменту атестації кадрів вищої кваліфікації МОН України щодо кандидатських дисертацій, а здобувач Снігура Ірина Романівна заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата

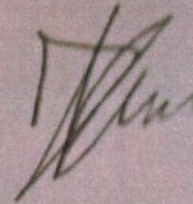
технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».

Кандидат технічних наук,

Доцент кафедри теорії металургії чорних металів

Дніпровського державного технічного

Університету, м. Кам'янське



К.І. Чубін

Підпис Чубіна Костянтина Івановича засвідчує

Начальник відділу кадрів ДДТУ



І.І. Лесова