

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу Меркулова Олексія Євгеновича «Розвиток теоретичних основ удосконалення доменної плавки при використанні системного аналізу взаємозв'язку параметрів з показниками ефективності реального процесу», яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук у спеціалізованій вченій раді Д 08.084.03 за спеціальністю 05.16.02 – Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів

Детальний аналіз дисертації, опублікованих праць та автореферату Меркулова О.Є. «Розвиток теоретичних основ удосконалення доменної плавки при використанні системного аналізу взаємозв'язку параметрів з показниками ефективності реального процесу» дозволяє сформулювати наступні узагальнені висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості висновків, рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, а також загальної оцінки роботи.

### **Актуальність теми дисертаційного дослідження**

Актуальність дисертаційної роботи Меркулова О.Є. обумовлена сукупністю пов'язаних між собою факторів.

Чорна металургія України споживає до 30 % загальної витрати теплоносіїв у промисловості, при цьому питома витрата умовного палива на виробництво 1 т. чавуну складає 637,8 кг/т, у країнах ЄС – 483,4, а в Китаї – 474,4 кг/т. Для металургійної галузі нашої країни характерне малоефективне використання енергоресурсів. У зв'язку з цим вдування в доменну піч пиловугільного палива, збагачення дуття киснем, використання продуктів газифікації вугілля та раціоналізація режимів доменної плавки за рахунок комплексного урахування в об'ємних зонах печі тепломасообмінних та газодинамічних процесів, фазових перетворень та нерівномірності розподілу шихтових матеріалів, тиску та температур є важливими чинниками забезпечення конкурентоспроможності металургійної продукції на світовому ринку.

Актуальність обраної теми визначається також відповідністю завдань, які сформульовані в «Концепції державної цільової науково-технічної програми розвитку та реформування гірничо-металургійного комплексу України до 2020 року», від 27.04.2010 р. та в «Галузевій Програмі енергоефективності та енергозбереження» (Наказ Міністерства промислової політики України за № 152 від 25.02.2009 р.). З огляду на вищенаведене вважаю, що обрана тема докторської дисертації О.Є. Меркулова є актуальною й вміщує в себе результати

багаторічного й системно структурованого дослідження в області виробництва чавуну.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій**

Основними перевагами дисертації є:

– розробка багатозонної математичної моделі доменного процесу, де, на відміну від відомих результатів досліджень, ураховується комплексний зв'язок в об'ємних зонах по висоті та радіусу печі тепломасообмінних і газодинамічних процесів, фазових перетворень та нерівномірності розподілу шихтових матеріалів, а також температур та тиску.

Реалізація цієї моделі у вигляді програмного продукту дозволяє більш точно прогнозувати або удосконалювати параметри доменної плавки;

– Заслуговує увагу аналіз впливу на показники доменної плавки таких параметрів: попередня металізація заліза; використання пиловугільного палива; збагачення дуття киснем; підвищення температури дуття;

– розглянуто вплив нерівномірності розподілу рудного навантаження по радіусу печі на параметри доменної плавки. Показані переваги використання лоткової системи загрузки печі по відношенню до конусної;

– важливим з точки зору значення собівартості чавуну є розділ, де виконано аналіз використання альтернативних технологій заміщення коксу у доменній печі (газифікація вугілля із запропонованими схемами розміщення антрациту, який подається разом із шихтовими матеріалами, вдування коксового газу);

– дуже важливим для оцінки ефективності використання різноманітних факторів є розроблені дисертантом нормативні документи, де ураховується вплив параметрів на економію питомої витрати коксу та збільшення продуктивності доменної печі.

У дисертації представлені результати виконаних автором аналітичних і експериментальних досліджень, спрямованих на обґрунтування додаткових можливостей аналізу процесів і формування заходів щодо підвищення ефективності доменної плавки.

Дисертація Меркулова О.Є. являє собою закінчений логічний результат системного дослідження. Обґрунтованість наукових положень, викладених дисертантом, висновків дисертації й практичних рекомендацій, які виносяться на захист, вірогідність результатів досліджень підтверджуються:

– аналізом розрахункових методів пізнання доменної плавки й обґрунтуванням багатомодульної моделі доменної плавки з формуванням її функціональних характеристик (розділ 1-2);

– коректно виконаним і узагальненим розрахунково-аналітичним дослідженням температурно-теплового і фазового стану доменної плавки (розділ 3-5);

- ефективним застосуванням математичного апарату (розділи 3-5) для чисельної оцінки і пошуку раціональних технологічних режимів;
- практичним застосуванням результатів дослідження (розділ 6).

Достовірність висновків, отриманих здобувачем, підтверджена достатнім об'ємом, відтворенням та збіжністю теоретичних розрахунків з промисловими даними.

Вищенаведене свідчить про те, що обґрунтованість результатів, положень, висновків і пропозицій, отриманих в дисертаційній роботі, не викликає сумніву.

### **Наукова новизна дисертаційної роботи**

Дослідження присвячене створенню та виявленню нових закономірностей доменної плавки за рахунок розробки методу комплексного розрахунку зональних і інтегральних характеристик доменної плавки і проведення на його основі узагальненого параметричного аналізу режимів функціонування технології при різних газо–дутьових параметрах, складі шихти, нерівномірності розподілу матеріалів і використанні альтернативних коксозберігаючих технологій. Вивчення процесів тепломасообміну, газодинаміки і фазових перетворень в противотоці матеріалів і газів дозволило встановити ряд закономірностей, що визначають поведінку системи в різних технологічних ситуаціях. Виявлення розглянутих і інших можливих закономірностей ґрунтується при уявленні процесів доменної плавки у вигляді комплексу поліморфних температурно-концентраційних, фазових і газодинамічних полів в об'ємі доменної печі, дискретизованої на 120 локальних об'ємів (12 по висоті і 10 радіальних), які пов'язані між собою єдиною системою матеріально-теплового балансу з виявленням лімітуючого локального об'єму.

До найбільш суттєвих, з наукової точки зору, результатів дисертації Меркулова О.Є. можна віднести наступне:

- Виявлені закономірності трансформації температурно-концентраційних, фазових і газодинамічних полів в об'ємі доменної печі, а також поперечних перетоків газу по висоті стовпа шихти при зміні параметрів доменної плавки.
- Встановлена складна система прямих і зворотних зв'язків параметрів зони розм'якшення і плавлення, а також втрат теплоти через стіни з комплексом вхідних, проміжних і вихідних параметрів доменної плавки.
- Виявлені закономірності перенесення теплоти з одних радіальних кільцевих зон в інші при збагаченні дуття киснем і збільшенні температури дуття.

### **Практичне значення одержаних результатів**

Практична цінність отриманих в результаті виконання дисертантом роботи визначається:

1. З 2015 року на металургійних підприємствах, що відносяться до «Метінвест Холдинг» введено керівний документ «Доменні печі. Нормативи витрат коксу й продуктивності» РД 3409 3721 2015. Цей документ містить методику, призначену для використання при аналізі змін питомих витрат коксу й продуктивності доменних печей під впливом змін складу й характеристик шихтових матеріалів, палива, технологічних параметрів доменної плавки й організаційних факторів ведення виробництва чавуну (параметричний аналіз).

2. На основі виконаного параметричного аналізу сформовані умови комплексного використання кращих параметрів плавки з позицій максимального скорочення витрат коксу за рахунок його заміщення пиловугільним паливом (250 кг/т) і коксівним газом зі збільшенням температури дуття до 1300 °С й концентрації в ньому кисню 25 % при вмісті заліза в повністю офлюсованій шихті до 60 % і необхідному поліпшенні металургійних властивостей коксу й сировини, а також оптимізації розподілу матеріалів на колошнику. Розрахунками встановлена можливість скорочення витрат коксу в зазначеному режимі до 200 кг/т чавуну.

3. Запропоновано спосіб подачі гарячих відновлювальних газів у фурменну зону доменної печі через змонтований на фурменному приладі реактор–газифікатор для одержання гарячого відновлювального газу з регульованим коефіцієнтом надлишку окислювача (патент на корисну модель 117035).

4. Розроблено пристрій подачі дуття й відновлювальних газів у доменну піч, який оснащений другим газовим трактом подачі дуття в реактор–газифікатор пиловугільного палива (патент на корисну модель за № 117584).

### **Повнота викладання наукових результатів та рекомендацій в опублікованих працях**

За темою дисертаційної роботи опубліковано 35 наукових праць, у тому числі: 2 монографії, 7 – статей у фахових наукових виданнях, 14 – статей у виданнях, індексованих у наукометричних базах Scopus і WoS, 3 – патенти, 9 – матеріали наукових конференцій.

Усі публікації містять результати особистої роботи автора на окремих етапах дослідження і відображають основні положення і висновки дисертаційної роботи.

### **Основні зауваження до дисертаційної роботи**

1) Розділ 1 видається дещо надмірним в плані обґрунтування переваг доменної плавки для виплавки чавуну.

2) Слід віддати належне тому, що автор детально проаналізував досягнення вітчизняної науки, однак в останній час у світовій літературі в якості наукової бази при моделюванні потокових процесів в доменній печі використовують Computational Fluid Dynamics, CFD. Це недостатньо знайшло відображення в дисертації.

3) З опису моделі не ясно, які припущення приймаються щодо частки кожного з вертикальних елементів в реалізації тих чи інших фізико-хімічних процесів. Наприклад: яким чином розвиток процесу дисоціація карбонатів (або інший процес) розподілене по вертикалі? Разом з тим, саме від таких припущень повинен залежати результат моделювання. Природно, що чим більше елементів в зональній моделі, тим більше доводиться приймати припущень, які не ґрунтуються на практичних даних. У зв'язку з цим автору при описі моделі необхідно було звернути увагу на обґрунтування вибору розподілу граничних умов для елементів моделі в вертикальному і горизонтальному напрямках. Можливо, слід було проілюструвати графічно опис розділу 2.3.2 (це могло б посилити методичну обґрунтованість моделі). Це особливо актуально в зв'язку з тим, що автор не тільки аналізує якісний вплив різних чинників на зміну ходу процесів в доменній печі, але претендує на кількісну оцінку у вигляді нормативного документу.

4) Дивним видається проілюстрована рівність температур шихти і газу для ряду випадків (рис. 3.10 і ін). В умовах рівності масових теплоємностей потоків шихти та газу  $W_{ш} = W_{г}$  різниця температур газу і шихти прагне до мінімуму, але не може перетворитися в нуль (у всякому разі, в реальних умовах доменної печі).

5) В математичній моделі доменного процесу дисертант, на відміну від відомих результатів досліджень, урахував комплексний взаємозв'язок тепломасообмінних та газодинамічних процесів, фазових перетворень, а також нерівномірності розподілу шихтових матеріалів. Все це призводить до збільшення точності розрахунків. Однак в дисертації відсутні данні щодо конкретних значень зменшення похибок розрахунків.

6) В розділі 2 не приведені базові рівняння теплопередачі та масообміну, а також не наведені данні щодо методики розрахунку коефіцієнту теплопередачі від горнових газів до кусків шихтових матеріалів, які у верхній частині доменної печі знаходяться у твердому стані, а в нижній – у розплавленому.

Зроблені зауваження не ставлять під сумнів достовірність матеріалів дисертації її основних положень і висновків, не знижують теоретичну та практичну цінність роботи.

### **Загальна оцінка дисертаційної роботи.**

Загалом дисертаційна робота та її автореферат оформлені акуратно викладені в логічній послідовності, написані технічно та стилістично грамотно з використанням сучасної науково-технічної термінології. Основні розділи в дисертаційній роботі достатньо повно ілюстровані рисунками та таблицями, відображають усі отримані експериментальні результати та наукові положення. Загальні висновки щодо роботи відповідають результатам досліджень. Зміст автореферату цілком відповідає тексту та положенням дисертації.

Наукова новизна та результати, які виносяться на захист, повністю відповідають темі, цілі та проблемі дисертаційної роботи, а сама дисертація виконана на достатньо високому науково-технічному рівні з використанням сучасних методів дослідження.

За темою, змістом та використаними методиками дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.16.02 – Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів.

Дисертаційна робота Меркулова О.Є., яка представлена на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук, є завершеною науково-дослідною роботою. Аналіз матеріалів дисертації, її новизна, висновки і рекомендації дозволяють стверджувати про відповідність вимогам пунктів 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету міністрів України за № 567 від 24 липня 2013 р., зі змінами, затвердженими постановами Кабінету Міністрів України від 19.08.2015 р. за № 656 та від 30.12.2015 р. за № 1159, а її автор Меркулов Олексій Євгенович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів.

Офіційний опонент -

доктор технічних наук, професор кафедри  
екології, теплотехніки та охорони праці  
Національної металургійної академії України

Грес Л.П.

Підпис Греса Л.П. засвідчую:  
Начальник відділу кадрів



Шифрін В.С.