

Вх. № 693  
19.04.2024

## ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, доцента

**Власова Анатолія Федоровича**

на дисертаційну роботу **Дученко Анни Миколаївні** «*Флюси з низьким вмістом шкідливих домішок та обмеженою окислювальною здатністю для зварювання і наплавлення низьколегованих сталей*», представлену на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 – Зварювання та споріднені процеси і технології

### **1.Актуальність теми дисертації і її зв'язок з планами відповідної галузі**

У виробництві металоконструкцій все ширше застосовуються сучасні низьколеговані сталі з високим рівнем міцності та пластичності. Помітно загострилася проблема забезпечення необхідного складу флюсів і, відповідно, їхньої якості через погіршення стану сировини, застосовуваної у виробництві флюсів, через її забрудненість шкідливими домішками – сіркою і фосфором. Зважаючи на це, актуальною є розробка нових зварювальних матеріалів, до яких висуваються підвищені вимоги стосовно обмеження вмісту в них шкідливих домішок - сірки, фосфору, а також газів - азоту й водню. Для попередження окиснення в процесі зварювання легуючих і мікролегуючих елементів зварювальні матеріали повинні мати низьку окиснюючу дію на метал зварю- вальної ванни і забезпечувати вміст кисню в зварному шві 0,02-0,04 %.

Для обмеження окиснювальної дії флюсів при зварюванні необхідно застосовувати теоретичні і експериментальні дослідження термодинамічної активності іонів кисню, а також хімічних сполук, що входять до складу багатокон- нентних флюсів. Отримання низьководневих флюсів неможливе без досліджень процесів термічної десорбції із них водню, виконаних із застосуванням сучас- них методів.

Вирішення цієї проблеми можливе лише на основі досліджень перебігу фізико-хімічних процесів у шлакових розплавах при зварюванні і їх виготов- ленні у флюсоплавильних печах. В науковій літературі існують лише окремі роботи з цієї тематики, які потребують додаткового узагальнення, тому, вико-

нання даної роботи є актуальним як з наукової, так і практичної точки зору.

Актуальність теми також підтверджується результатами впровадження та виконаним на протязі 2006-2020 р.р. комплексом науково-дослідних робіт ІЕЗ ім.Є.О.Патона в рамках тем 15/16 «Розробити енергоефективні, ресурсозаощадливі технології виробництва плавлених та агломерованих флюсів з використанням відходів промислових підприємств України» (№ 0106U000936, 2006-2008 р.р.), 15/1 «Створення оксидних шлакових систем з регульованою окислювальною здатністю та розробка на їх основі нового покоління малотоксичних флюсів для зварювання низьколегованих високоміцних сталей» 0109U004059, 2009-2011 р.р.), 15/8 «Розробка принципів керування структурнозалежними властивостями солеоксидних шлакових розплавів і створення нових матеріалів для дугових та електрошлакових процесів» (№ 0112U001515, 2012-2014 р.р.), 15/2 «Високотемпературні дослідження будови і фізико-хімічних властивостей оксидно-галогенідних шлакових систем і розробка малоактивних флюсів для зварювання низьколегованих високоміцних сталей та електрошлакового переплаву сталей і сплавів, що містять легкоокислювані елементи»(№0115U003129, 2015-2017р.р.), 15/4 „Дослідження високотемпературних фізико-хімічних властивостей гетерогенних шлакових розплавів і створення новітніх матеріалів і процесів автоматизованого електродугового зварювання об'єктів транспортної інфраструктури ”(№0118U000188, 2018-2020р.р.); теми цільової програми НАН України «Фундаментальні проблеми створення матеріалів з наперед заданими властивостями, методів їх з'єднання й обробки» 15/28 «Дослідження фізико-хімічних процесів міжфазової взаємодії металу, шлаку та газу в нерівноважних умовах існування зварювальної ванни з метою створення нових матеріалів з прогнозованими металургійними і структурнозалежними властивостями» (№ 0107U002790, 2007-2011 р.р.). Дученко А.М. була в них виконавцем.

## **2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Наукові положення і висновки підтверджуються застосуванням сучасних методів досліджень. Термічну десорбцію водню із сировинних матеріалів і

флюсів, а також вміст дифузійного водню в металі зварних швів виконували методом газової хроматографії. Розрахунки перебігу хімічних реакцій у флюсоплавильних печах і в шлакових розплавах виконувались із урахуванням теплоємності вихідних речовин і продуктів реакцій із застосуванням пакету Matcad. Вони добре узгоджуються з високотемпературними експериментальними дослідженнями термодинамічних властивостей шлакових розплавів методом електрорушійної сили. В'язкість шлаків вимірювали ротаційним віскозиметром. При дослідженні зварних швів застосовували хімічний і спектральний аналіз, оптичну металографію і методи визначення механічних властивостей в атестованій лабораторії. Вміст газів [O],[N],[H] у металі зварних швів визначали методом відновлювального плавлення в потоці інертного газу.

Достовірність основних положень і висновків, сформульованих в роботі, не викликає сумнівів та підтверджується успішними промисловими випробуваннями.

### **3. Новизна наукових та практичних досліджень, достовірність отриманих результатів**

-Вперше визначено термодинамічну ймовірність перебігу хімічних реакцій в промислових печах по виготовленню зварювальних флюсів із врахуванням теплоємності вихідних речовин і продуктів реакцій. Встановлено, що роздільне введення компонентів шихти, зокрема оксиду кремнію, окремо від іншої маси шихти, запобігає утворенню комплексних сполук у шлаковому розплаві, що перешкоджають видаленню фосфору.

-Вперше створено термодинамічні моделі десульфурзації і дефосфорації шлакового розплаву стосовно процесів виготовлення зварювальних флюсів в промислових печах. Отримана залежність парціального тиску діоксиду сірки, коефіцієнти якої визначаються початковими мольними концентраціями компонентів шихти. Збільшення парціального тиску діоксиду сірки в шлаковому розплаві відповідає зменшенню вмісту сірки у флюсі і, відповідно, в наплавленому металі при його застосуванні при зварюванні.

- Вперше встановлено, що при зварюванні під флюсами, виготовленими методом дуплекс-процесу, вміст дифузійного водню в наплавленому металі нижче приблизно на 30% у порівнянні із флюсами, виготовленими в газополуменевій печі. Термічна десорбція водню із флюсів, виготовлених методом дуплекс-процесу, відбувається переважно при температурах до 600 °С. На основі розробленої методики вперше встановлено, що при багатодуговому зварюванні вміст дифузійного водню в наплавленому металі вище приблизно на 40 % у порівнянні із однодуговим процесом.

- Досліджено зміну термодинамічної активності іонів кисню в шлакових розплавах при введенні в них розкислювачів. Вперше встановлено, що в залежності від типу розкислювача і складу шлакового розплаву тривалість часу, при якій термодинамічна активність іонів кисню в розплаві знаходиться на мінімумі, змінюється від 10 до 160 с. При цьому присутність феросиліцію в розплаві найбільше сприяє підвищенню тривалості часу  $a_{O_2}$  на мінімумі.

#### **4. Значимість для науки та практики висновків і рекомендацій автора.**

На основі проведених досліджень автором одержано результати, які запропоновано використовувати при розробці і впровадженні у виробництво сучасних матеріалів для зварювання і наплавлення.

Експериментальні й теоретичні дослідження перебігу пірометалургійних реакцій в промислових флюсоплавильних печах, термодинамічної активності компонентів шлакових розплавів, а також процесів термічної десорбції з них водню на основі запропонованих в дисертаційній роботі методик дозволяють істотно знизити кількість складних металургійних експериментів, скоротити час і витрати на розробку нових флюсів для зварювання.

На основі проведеного дослідження перебігу процесів взаємодії у флюсоплавильних печах розроблено рекомендації щодо рафінування шлакового розплаву від шкідливих домішок, які дозволяють досягти зниження вмісту сірки у розплаві до 4 разів і фосфору до 2,6 разів. Застосування плавлених напівпродуктів в шихті агломерованих флюсів дозволяє підвищити їх експлуатаційні

характеристики, знизити залежність флюсового виробництва від якості сировинної бази, використовувати у виробництві флюсів низькосортні руди та відходи промислових підприємств України і, тим самим, значно знизити собівартість виробництва флюсу при забезпеченні його високої якості.

Розроблені рекомендації ведення процесу плавлення зварювальних флюсів методом дуплекс-процесу широко впроваджені у виробництві цілого ряду промислових марок флюсів на ПрАТ «Запоріжсклофлюс». При цьому в них суттєво обмежено граничний вміст сірки і фосфору.

Нові створені флюси пройшли успішну промислову перевірку. Плавлений флюс АН-69 пройшов дослідно-промислове випробування на ДП МОУ «Київський механічний завод» при відновленні вертикального вала екскаватора Е652 і успішно впроваджений на цьому заводі при відновлювальному наплавленні зношених валів екскаваторів. Агломерований флюс марки АНК-43 випробуваний при багатодуговому швидкісному зварюванні сталі 10Г2ФБ дротом Св-08Г1НМА і досягнуто холодостійкість металу зварних швів  $KCV_{40C} = 85,9$  Дж/см<sup>2</sup>. Агломерований флюс марки АНКС-28А у поєднанні із дротом Св-10НМА рекомендовано до застосування при виготовленні мостових конструкцій із сталі 06ГБД при температурі експлуатації до -40 °С.

## **5. Повнота викладу основних результатів дисертації у фахових виданнях**

За темою дисертаційної роботи опубліковано 24 наукові праці, у тому числі 10 статей у фахових виданнях, що рецензуються, з яких 2 роботи оприлюднені в періодичних наукових виданнях держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу та у виданнях України, що внесені до реєстру міжнародних наукометричних баз даних, 14 в інших журналах, збірниках наукових праць і матеріалах конференцій.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Апробація роботи на наукових конференціях є достатньою.

## **6. Рекомендації з використання результатів і висновків дисертації**

Результати роботи можуть бути застосовані при розробці не тільки нових флюсів для електродугового зварювання і наплавлення, а й інших матеріалів в процесах, де шлакова фаза контактує з розплавленим металом: порошкових дротів і електродів для ручного дугового зварювання, флюсів для електрошлакового переплаву, МБЛЗ та ін.

Запропонований підхід до розрахунку ймовірності перебігу хімічних реакцій у флюсоплавильних печах, який передбачає врахування теплосмності, може бути застосований при навчанні студентів не тільки зварювальної, а й металургійних спеціальностей.

Отримані результати є цінними для підприємств металургійної та машинобудівної галузей: ПАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» ім. А. М. Кузьміна», ПАТ «Азовмаш», ПАТ «МК «Азовсталь», ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат», ПАТ «Запоріжсклофлюс», ПАТ «Нікопольський завод феросплавів». Запропоновані методики досліджень фізико-хімічних властивостей шлакових розплавів можуть бути застосовані і знайти подальший розвиток в дослідженнях у даному напрямку вчених Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАНУ, Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сикорського», Приазовського державного технічного університету.

## **7. Оцінка змісту дисертації.**

Робота виконана в ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України, м.Київ. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів та висновків. Загальний обсяг роботи становить 206 сторінок, включаючи 45 рисунків та 39 таблиць, список посилань з 108 найменувань на 11 сторінках та 4 додатки. Представлений автореферат дисертації містить 20 сторінок машинописного тексту, в тому числі список з 24 робіт, опублікованих автором за темою дисертації.

Дисертаційна робота виконана на високому науково-технічному рівні, містить достатній обсяг виконаних досліджень, оформлена згідно з вимогами ДАК України до змісту і об'єму кандидатських дисертацій.

**У вступі** надано обґрунтування актуальності теми дисертації, сформульовано мету роботи і основні завдання досліджень, описано об'єкт, предмет та методи досліджень, окреслено наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів, наведено відомості щодо апробації результатів роботи, кількості публікацій за темою дисертації із зазначенням власного внеску автора.

**У першому розділі** проведено аналіз сучасних тенденцій розвитку низьколегованих сталей, які використовуються при зварюванні відповідальних конструкцій. Визначено, що підвищений рівень вимог до міцності та пластичності можна досягти лише за умови забезпечення в металі наднизького вмісту шкідливих домішок – сірки і фосфору, газів – азоту і водню, а також кисню на рівні 0,02 - 0,04 %.

Показана актуальність теоретичних досліджень перебігу процесів у флюсоплавильних печах з метою розробки рекомендацій щодо зниження в шлаковому розплаві шкідливих домішок, створення флюсів з обмеженою окиснювальною дією на метал зварювальної ванни та технологій виготовлення низьководневих флюсів. Визначено методи досліджень.

**У другому розділі** на основі розрахунків ймовірності перебігу термохімічних реакцій у флюсоплавильних печах розроблені рекомендації стосовно обмеження вмісту у флюсах шкідливих домішок – сірки і фосфору. Розроблені термодинамічні моделі десульфурзації та дефосфорації шлакового розплаву і на цій основі створено флюс АН-69 для наплавлення валів екскаваторів.

**У третьому розділі** проведено дослідження із розробки технології виготовлення низьководневих флюсів. Досліджено вміст і характер термічної десорбції водню із зварювальних флюсів, виготовлених за традиційною технологією в газополуменевій печі та запропонованою методом дуплекс-процесу. Встановлено, що вміст дифузійного водню в наплавленому металі при зварюванні під флюсами, виготовленими методом дуплекс-процесу, нижче приблизно на 30% порівняно із зварюванням під флюсами, виплавленими в газополуменевій печі.

У четвертому розділі виконані експериментальні дослідження впливу шлакової і металевої фази на термодинамічну активність іонів кисню та оксиду кремнію в шлаковому розплаві. Визначено активність іонів кисню у флюсах, виплавлених за технологіями плавки в газополуменевій печі і методом дуплекс-процесу. Стосовно розробки агломерованих флюсів визначено вплив додавання розкиснювачів до шлакового розплаву на зміну термодинамічної активності в ньому іонів кисню. Досліджені активності  $\text{SiO}_2$  при 1673 К в модельних шлаках системи  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{CaF}_2$  та визначено вплив на неї деяких добавок. Досліджено вплив активності іонів кисню і активності оксиду кремнію на вміст кисню в краплях і наплавленому металі при зварюванні під флюсом.

В п'ятому розділі викладені результати досліджень із розробки флюсів із обмеженим вмістом шкідливих домішок. Показано перспективність застосування плавлених напівпродуктів у виготовленні агломерованих зварювальних флюсів. Створені флюси марок АНК-43 і АНКС-28А і отримані результати їх випробувань при зварюванні низьколегованих сталей марок 10Г2ФБ і 06ГБД відповідно.

**Висновки** дисертації повністю висвітлюють найважливіші наукові і практичні результати дисертації. Вони сформульовані конкретно і логічно, у відповідності до змісту дисертації. Зміст дисертації та автореферату ідентичний, він достатньо повно висвітлює результати, наведені в самій дисертації.

В той же час необхідно відзначити наступні зауваження:

1. В розділі 1 ретельно проаналізовано літературні дані стосовно форм існування водню в зварювальних флюсах, його термічної десорбції, але відсутня інформація стосовно металургійних реакцій зв'язування водню у нерозчинні в металі зварювальної ванни сполуки. А без такого порівняння важко визначити ефективність запланованого підходу до створення низько водневих зварювальних флюсів.

В розділі 1 авторка критично оцінює застосування формули основності для визначення окислювальної здатності флюсів на метал при зварюванні, але в розділі 3 на стор. 92 характеризує взяті для досліджень флюси АН-47АП і АН-



348А як нейтральний і кислий, тобто у відповідності до вищезазначеної формули основності.

2.В розділі 2 на стор. 58 авторка відмічає важливість утворення металевої фази для видалення фосфору із шлакового розплаву. При цьому вона стверджує, що існують «такі концентраційні і температурні умови, при яких металева фаза буде складатися в основному із заліза і фосфору, а перехід у неї марганцю і кремнію буде мінімальним». Але які саме ці умови в тексті не говориться.

3.Недостатньо обґрунтованим є вибір марганцевосилікатних зварювальних флюсів для моделювання процесів десульфурації і дефосфорації шлакових розплавів в Розділі 2, тоді як створені в Розділі 5 агломеровані флюси базуються на іншій шлаковій системі.

4.3 тексту дисертації (стор.67-70) незрозуміло, які вимоги висуваються до розробленого у розділі 2 флюсу марки АН-69.

5.Також неясно, чим відрізняються взяті в Розділі 3 для досліджень термічної десорбції водню флюси АН-348А, АН-348АП, ОСЦ-45, ОСЦ-45М, крім вказаних особливостей їх технології виготовлення і будови зерен.

6. На рис. 5.5, 5.6 наведено фотографії зовнішнього вигляду зварних швів, але при цьому незрозумілий розмір цих об'єктів, що затруднює їх порівняння, бо мова йде і про трьохдугове, і про чотирьохдугове зварювання. При фотографуванні разом з об'єктами слід застосувати лінійку.

7.Не приведена собівартість виготовлення 1т.розроблених флюсів АН-69, АНКС-28А, і АНК\_43 у порівнянні з існуючими марками флюсів для наплавлення і зварювання високоміцних сталей.

8.Відсутні дані впливу зниження сірки і фосфору на 0,02% на механічні властивості наплавленого металу і утворення гарячих тріщин при зварюванні високоміцних сталей.

Зроблені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, не знижують її цінності і можуть бути враховані авторкою в подальших дослідженнях.

## 8. Загальна оцінка дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Дученко Анни Миколаївни «Флюси з низьким вмістом шкідливих домішок та обмеженою окислювальною здатністю для зварювання і наплавлення низьколегованих сталей», є завершеною роботою, в якій на основі комплексу фундаментальних і прикладних досліджень перебігу пірометалургійних реакцій в промислових флюсоплавильних печах та визначення фізико-хімічних властивостей шлакових розплавів, застосовуваних при зварюванні і наплавленні сталей дано нове рішення актуальної науково-технічної проблеми створення нових флюсів для зварювання і наплавлення, які забезпечують підвищення якості металу зварних швів із низьколегованих сталей за рахунок обмеження вмісту шкідливих домішок, водню та кисню.

За актуальністю, отриманими науковими результатами, практичною цінністю дисертаційна робота А.М.Дученко відповідає вимогам пунктів 9, 11 та 12 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника (постанова Кабінету міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а Дученко Анна Миколаївна - заслуговує на присудження їй наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 «Зварювання і споріднені процеси і технології».

Професор кафедри «Обладнання і технологій зварювального виробництва» Донбаської державної машинобудівної академії МОН України, доктор технічних наук, доцент

 Власов А.Ф.

Підпис Власов А.Ф. засвідчую:

Проректор з наукової роботи,  
управління і розвитком  
міжнародних зв'язків,  
професор, докт. хім. наук





М.А.Турчанін