

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Бозбей Людмили Сергіївни**  
**«Вдосконалення процесу вакуумно-дугового переплаву сталі шляхом**  
**використання конвективної структури з вільними межами»,**  
що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

### **1. Актуальність теми дослідження**

Розвиток атомної енергетики є неможливим без створення сучасних конструкційних матеріалів із заданими властивостями. Для активної зони атомних реакторів нового покоління матеріали повинні мати високу радіаційну стійкість, низьку активацію при експлуатації, жароміцність. В такому випадку використовують конструкційні матеріали на основі дисперсно-зміцненої оксидами сталі, що збагачені киснем, ітрієм, марганцем, хромом або кремнієм. Дисперсно-зміцнені оксиди сталі містять досить невеликі концентрації частинок оксиду нанометрового розміру. Ці частинки відіграють вирішальну роль у поліпшенні радіаційної стійкості матеріалу та збільшенні міцності матеріалу.

Дисертаційна робота спрямована на вирішення важливої науково-технічної проблеми вдосконалення технологічного процесу вакуумно-дугового переплаву сталей з метою підвищення однорідності легуючої домішки з використанням упорядкованих конвективних структур. Це дасть змогу вирішити основну проблему даного процесу – отримання дисперсно-зміцнених оксидами сталей з високим ступенем гомогенізації. Виходячи з цього вважаю, що тема дисертаційної роботи Бозбей Л. С. є актуальною.

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

Дисертаційна робота являє собою рукопис обсягом 140 сторінок машинописного тексту, у тому числі 101 сторінки текстової частини. Дисертація складається зі вступу, основної частини, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 117 найменувань та 4-х додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, відзначено її зв'язок із науково-дослідними роботами Інституту проблем машинобудування

ім. А. М. Підгорного НАН України, де виконана робота. Сформульовано мету й задачі дослідження. Вказано об'єкт, предмет та методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено інформацію про публікації та апробацію викладеного в роботі матеріалу, а також відзначено особистий внесок здобувача.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, а також визначено коло проблем, що пропонуються для вирішення у дисертаційній роботі; наведені дані про зв'язок дисертації з науково-дослідними роботами організації, в якій виконано роботу. Сформульовано мету і задачі дослідження, наведено об'єкт, предмет та методи дослідження. Визначено наукову новизну роботи і практичне значення отриманих результатів. Також наведено інформацію про апробацію роботи та публікації її результатів, зазначено особистий внесок здобувача.

У першому розділі розглянуто способи отримання легованих сталей та сучасний стан дослідження теплофізичних процесів, що відбуваються при цьому. Відзначено, що можна забезпечити максимальну гомогенізацію легуючої домішки за рахунок її переносу в розплаві сталі внаслідок конвективної течії, що має стійку упорядковану структуру. Автором запропоновано використання конвективних структур, що виникають у наслідок перепаду температур в розплаві, для підвищення рівномірності розподілу легуючих домішок по всьому об'єму сталі.

Таким чином, автором були визначені шляхи для розробки заходів з удосконалення конструктивних та режимних характеристик установок для отримання дисперсно-зміцнених оксидами сталей, які використовуються для отримання матеріалів із заданими властивостями для сучасних енергетичних реакторів.

На основі публікацій вітчизняних і зарубіжних авторів проведено аналіз опису результатів експериментального і теоретичного дослідження впорядкованих конвективних структур, що виникають в нерівномірно нагрітій знизу рідині, яка знаходиться в гравітаційному полі.

Другий розділ присвячено експериментальному дослідженню закономірностей протікання фізичного процесу зародження і розвитку упорядкованих конвективних структур в горизонтальному шарі в'язкої нестисливої рідини, що підігрівається знизу.

Третій розділ дисертації присвячено математичному моделюванню тепломасопереносу в елементарній конвективній комірці.

У четвертому розділі розглядається метод удосконалення процесів гомогенізації оксидної фази металу при вакуумно-дуговому виготовленні реакторних сталей.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації базується:

- на аналізі літературних джерел за даною проблемою, коректній постановці мети і задач дослідження;
- на використанні сучасних методів дослідження, програмних продуктів та математичного апарату;
- на співставленні отриманих результатів з результатами інших дослідників та даними експериментів;
- на загальноприйнятих допущеннях і обмеженнях, що є досить правомірними, та забезпечують повторюваність результатів з достатньою точністю.

### **3. Достовірність одержаних результатів**

Достовірність отриманих наукових результатів роботи підтверджено верифікацією сформованої математичної моделі, експериментальними даними, та порівнянням результатів в граничних випадках з відомими результатами інших авторів. Також буда проведена додаткова перевірка отриманих результатів шляхом їх порівняння з іншими фізичними процесами, а саме поведінкою конвективних комірок Бенара на Сонці.

Достовірність та обґрунтованість основних наукових положень дисертаційної роботи підтверджується також її апробацією на науково-практичних конференціях, публікаціями у наукових фахових виданнях, впровадженням в Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут» і використуванні в навчальному процесі Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна на кафедрі фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології.

### **4. Основні наукові результати досліджень та наукова новизна дисертації**

Наукова новизна полягає у наступному:

1. Вперше експериментальним шляхом встановлено, що на перехідних етапах у горизонтальних шарах рідини, що рівномірно підігрівається знизу, з вільними граничними умовами, формуються однакові стійкі конвективні структури циліндричної форми, які названо елементарними конвективними

комірками (ЕКК). Їх кількість зростає із збільшенням температури нижньої межі шару, а розміри та форма залишаються незмінними.

2. Вперше отримані нові аналітичні вирази для швидкості течії та збурення (відхилення величини від аналогічної у стані механічної рівноваги) температури у циліндричній ЕКК.

3. Вперше теоретично отримано значення безрозмірного (віднесеного до товщини шару) діаметру ЕКК для шару з вільними межами, що дорівнює 3,44.

4. Вперше запропоновано здійснювати гомогенізацію частинок легуючої домішки за рахунок її переносу в розплаві сталі внаслідок конвективної течії, що має стійку структуру, при безупинному рівномірному надходженні легуючої домішки у розплав металу.

5. Запропоновано новий методологічний підхід до конструювання катоду, який забезпечує безупинне рівномірне надходження порошку легуючої домішки у розплав при вакуумно-дуговому переплаві сталі.

## **5. Практичне значення результатів дисертаційної роботи**

Практичне значення полягає у наступному:

1. Вдосконалена конструкція катоду вакуумної дугової печі. Отримані значення геометричних параметрів порожнин катоду, що містять порошок діоксиду цирконію, при яких забезпечується його безупинне рівномірне надходження у розплав.

2. Визначені розміри частинок нанодисперсного порошку  $ZrO_2$ , при яких відбувається їх просторова гомогенізація в процесі отримання ДЗО сталі 08Х18Н10Т.

3. Елементарні конвективні комірки можна застосовувати для дослідження конвективного тепломасопереносу у горизонтальних шарах рідини у різних технічних об'єктах та технологічних процесах, на основі чого можна проводити модернізацію існуючих та розробку нових конструкцій та технологій.

4. Результати дисертаційної роботи впроваджені у Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут» при вдосконаленні процесу виготовлення ДЗО сталей на експериментальному зразку установки вакуумно-дугового переплаву, та використовуються у навчальному процесі у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна на кафедрі фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології.

## **6. Повнота викладення результатів дисертації в публікаціях**

Основний зміст цієї роботи відображений в 16 публікаціях, в тому числі 6 статтях, з яких 3 – в журналах і збірках, внесених в перелік спеціалізованих видань України, де можуть публікуватися результати дисертаційних робіт (в тому числі 1, що індексується в наукометричній базі Scopus, 1 – в закордонному журналі, що індексується в наукометричній базі Scopus, 2 – в інших журналах); 1 патенті України на винахід; 8 матеріалах наукових конференцій; 1 методичному посібнику для студентів.

Автореферат достатньо повно відображає основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи. Зміст автореферату ідентичний змісту основних положень дисертації.

## **7. Апробація результатів дисертації**

Матеріали дисертації доповідались та обговорювалися на X конференції молодих вчених та спеціалістів ІПМаш НАН України, 2013 р., Харків, Україна; International conference MSS-14 «Mode conversion, coherent structures and turbulence», Moscow, Russia, 2014; IV Міжгалузевій наук.-практ. конф. «Інноваційні шляхи модернізації базових галузей промисловості, енерго- і ресурсозбереження, охорона навколишнього природного середовища», 25–26 березня 2015 р., Харків, Україна; Міжн. наукова-практичній конф. «Стійкий енергетичний розвиток: теорія, практика, перспективи», 2015 р., Харків, Україна; XII конференції молодих вчених та спеціалістів; ІПМаш НАН України, 2015 р., Харків, Україна; Intern. Young Sci. Forum on Appl. Phys. YSF–2015, 2015, Dnipropetrovsk, Ukraine; XI Int. Sci. Conf.: Electronics and Appl. Phys., Oct. 21–24, 2015, Kyiv, Ukraine; XVII Міжнародній наукова-практичній конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті», 29–30 вересня 2016 р., Київ, Україна.

## **8. Оформлення дисертації**

Дисертація являє собою рукопис, обсягом 140 сторінок машинописного тексту, у тому числі 101 сторінка основної текстової частини. Дисертація складається зі вступу, основної частини, що складається з 4 розділів, висновків, списку використаних джерел з 117 найменувань та 4 додатків.

Дисертація і автореферат написані відповідно до вимог до науково-технічним текстам. Автореферат є ідентичний за змістом з викладеними положеннями дисертаційної роботи та достатньо повно відображає всі наукові

результати, які були отримані здобувачем.

## **9. Основні зауваження по дисертаційній роботі**

1. У підрозділі 1.2 розглянуто роботи різних авторів щодо моделювання процесів при плавленні та твердінні сталі в металургійному виробництві. У той же час значний обсяг досліджень за даною тематикою виконано в Дніпровському державному технічному університету та Національній металургійній академії України, результати яких не розглядалися автором. Тому бажано було в літературному огляді за темою дисертації проаналізувати труди вчених цих наукових шкіл.

2. На мій погляд, у першому розділі дисертаційної роботи необхідно було додати матеріали, присвячені конструктивним та параметричним характеристикам теплотехнологічного обладнання, що застосовується в процесі вакуумно-дугового переплаву сталі. Також у списку використаних джерел відсутні посилання на патенти, що стосуються конструкції вакуумно-дугових печей.

3. На стор. 46 роботи наведені теплофізичні властивості вакуумної олії, що використовувалась в експерименті, з посиланням на джерело [96]. Дана робота являє собою довідник з властивостей металів та сплавів, де відсутні характеристики цієї оливи.

4. У підрозділі 2.2 наведено опис експериментальної установки для дослідження конвективних структур. Але в тексті підрозділу відсутні дані, які саме термопари використовувалися для визначення температур рідини. Крім того, у роботі відсутня оцінка погрішності виміру температури за допомогою цих термопар.

5. На стор. 55 (підрозділ 2.5) описано дослідження впливу локальної зміни температур на верхній межі шару розчину безконтактним чином. При цьому в тексті відсутні дані щодо конкретних значень температури рідини та мідного щупу, який використовувався в експерименті.

6. У підрозділі 2.4 наведені матеріали щодо дослідження розмірів конвективних комірок за допомогою створення штучних перешкод (кілець різного діаметру). У той же час у розділі 4 відсутні дані щодо використання отриманих результатів при створенні експериментальної установки для вакуумно-дугової плавки металів.

7. На стор. 48 наведені дані щодо динаміки утворення конвективних комірок у залежності від температурного режиму, з яких видно, що зміна


температури між верхнім та нижнім шаром рідини лише на 2 градуси, призводить до зменшення кількості утворених комірок в 3 рази. З опису та схеми експериментальної установки для отримання сталей (підрозділ 4.1) незрозуміло, яким чином підтримувався відповідний температурний режим, який забезпечує рівномірний розподіл конвективних комірок.

#### 10. Загальний висновок по дисертаційній роботі

На основі розгляду дисертації, автореферату і наукових публікацій здобувача вважаю, що представлена до захисту дисертаційна робота «Вдосконалення процесу вакуумно-дугового переплаву сталі шляхом використання конвективної структури з вільними межами» виконана на актуальну тему та є закінченим науковим дослідженням. Зроблені зауваження дещо знижують наукову цінність, але дозволяють у цілому позитивно оцінити дисертаційну роботу Бозбей Л.С., так як вона містить нові, науково обґрунтовані результати, що спрямовані на вдосконалення технології вакуумно-дугового переплаву сталей.


Вважаю, що представлена до захисту дисертація відповідає вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, а її автор Бозбей Людмила Сергіївна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент  
кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри теплотехніки  
та енергоефективних технологій  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»

 О.В. Кошельнік

Підпис к.т.н., доцента Кошельнік О.В. підтверджую,  
Вчений секретар Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»,  
д.т.н.



  
О. Ю. Заковоротний