

ВІДГУК

рецензента

на дисертаційну роботу **Веретільника Олександра Віталійовича**
за темою: **«Рециклінг небрикетованої стружки жароміцних сплавів і
нержавіючої сталі методом електрошлакової тигельної плавки»**,
яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 136 «Металургія»

Актуальність обраної теми.

Тема дисертаційної роботи Веретільника О.В. присвячена дослідженню особливостей та закономірностей електрошлакової тигельної плавки небрикетованої сталевих стружки, розробці ефективної технології переробки стружки жароміцних сплавів і нержавіючої сталі та дослідженню якості отриманих злитків із відходів металу.

На основі аналізу різних видів електрошлакової переробки металевих стружки визначено, що найкращі техніко-економічні показники має спільна плавка небрикетованої стружки та витратного електрода з кускового брухту в електрошлаковій тигельній печі. Визначено оптимальні геометричні параметри електрошлакової тигельної плавки стружки та виконано аналіз поведінки титану та алюмінію при електрошлаковій плавці жароміцних сплавів та нержавіючої сталі з використанням шлаку АН-295. Розроблено основи технології електрошлакової тигельної плавки (ЕШТП) небрикетованої стружки. Показано високу якість металу, що отримується при електрошлаковій переробці стружки жароміцних сплавів та нержавіючої сталі.

Ступінь обґрунтованості, положень, висновків і рекомендацій. повнота і достовірність наукових

Отримані дисертантом наукові результати, сформульовані принципи і висновки мають наукову значимість та практичну цінність.

У роботі використані теоретичні та експериментальні методи досліджень. При проведенні експериментальних досліджень в лабораторних умовах використано сучасне обладнання та спеціально розроблено фізичні моделі, використані сучасні методи дослідження процесів, які протікають при одержанні методом ЕШП зливків титанових сплавів, нікеліду титану та прецизійних сплавів.

Достовірність отриманих результатів у цілому, пояснення наукових положень, висновків і рекомендацій, що впливають з роботи не викликають ніяких сумнівів, оскільки теоретично обґрунтовані і мають експериментальне підтвердження. Вони підтверджені в багатьох роботах інших дослідників, апробовані на авторитетних міжнародних і українських наукових конференціях, семінарах, опубліковані у фахових виданнях.

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

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційну роботу виконано в Інституті електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України у відділі «Плазмово-шлакової металургії» Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України відповідно до планів науково-дослідних робіт в рамках тем: "Дослідження процесів плавлення та кристалізації металу при плазмово-дуговій та електрошлаковій виплавці зливків із відходів тугоплавких, високореакційних і жароміцних металів та сплавів і плазмово-індукційному вирощуванні крупних профільованих монокристалів вольфраму та молібдену" (2018-2020 рр., № д/р 0118U100514); № 1.6.2.1.20.1); „Виплавка із відходів сталі 12X18H10T дослідних нержавіючих відливок і дослідження впливу технологічних параметрів на якість металу" (Договір № 515 від 08.01.2020 р.).

Загальна характеристика змісту дисертації.

Дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів основної її частини, загальних висновків, списку використаних джерел і 2 додатків. Вона викладена на 124 сторінках, включаючи 23 таблиці та 41 рисунок.. Повний обсяг дисертації складає 319 сторінок.

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, проаналізовано стан проблеми, сформульована мета і головні завдання дослідження, вказано предмет і об'єкт дослідження, визначена наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, висвітлено особистий внесок здобувача в розробку проблеми.

У першому розділі відзначено важливість рециклінгу сталевих стружки, особливо високолегованої, енерго- та ресурсозбереження, а також зменшення забруднення навколишнього середовища. Виконано аналіз існуючих технологій переробки металевих відходів і показані проблеми плавки сталевих стружки в традиційних електродугових та індукційних печах, у тому числі необхідність брикетування стружки, значний вигар металу та окислення легуючих елементів. Наведено приклади застосування електрошлакових технологій для переробки сталевих стружки у брикетованому та небрикетованому вигляді, показано переваги та перспективність такого виду плавки для рециклінгу стружки високолегованих сталей та сплавів.

У другому розділі наведено дані щодо методики проведення експериментів та досліджень з електрошлакової переробки стружки, опис використаного обладнання, вмісту і характеристик використовуваних сталей, сплавів і шлаків.

У третьому розділі наведено результати експериментів з переробки брикетованої та небрикетованої стружки різними методами – ЕШП, ІТП та ЕШТП. Показано, що найменші питомі витрати електроенергії 0,55-0,65 кВт·год/кг та найбільша продуктивність процесу 130-160 кг/год були при спільній плавці небрикетованої стружки та витратного електрода з кускового брухту в електрошлаковій тигельній печі ємністю 120 кг. Виконано дослідження з визначення важливого для розробки технології ЕШТП параметра – впливу відношення діаметра електрода, що переплавляється, до діаметру плавильного простору на кількість переплавленої стружки і встановлено, що максимальна кількість стружки переробляється при ступені заповнення плавильного простору від 0,45 до 0,6. Показано, що при ЕШТП внаслідок плавки стружки у шарі шлаку

без контакту з атмосферою втрати на вигар становлять 2,0-2,5 % головним чином за рахунок вигорання сторонніх домішок та залишків змазувально-охолоджувальної рідини.

У четвертому розділі виконано термодинамічний аналіз поведінки титану при електрошлаковій плавці сталеві стружки з використанням шлаку АН-295. Показано, що при температурі 1600 °С з розрахунку рівноважний стан по титану, при концентрації в сталі 12Х18Н10Т 0,8 % Ti, настає при вмісті в шлаці АН-295 близько 5 % TiO_2 . Експериментально визначено, що в умовах ЕШТП сталі 12Х18Н10Т з використанням шлаку АН-295 для збереження вмісту в металі 0,7-0,8 % Ti необхідно вводити в шлак 8 % TiO_2 . Визначено, що питома електропровідність шлаку АН-295 з добавками 8 % TiO_2 при 1600 °С близька до питомої електропровідності шлаку АНФ-6, який широко застосовується при ЕШП.

У п'ятому розділі наведено результати переробки за розробленою технологією в електрошлаковій тигельній печі ємністю 120 кг небрикетованої стружки жароміцних сплавів на нікелевій основі ЕІ602 та ЕІ437Б і нержавіючої сталі 12Х18Н10Т. При плавці стружки сплаву ЕІ602 застосовувався шлак АН-295, сплаву ЕІ437Б, з метою виключення втрат із металу титану, в шлак додавалось 3 % TiO_2 , а нержавіючої сталі – 8 % TiO_2 . Показано, що хімічний склад виплавлених сплавів та сталі, в тому числі за вмістом титану та алюмінію, відповідають вимогам технічних умов на дані марки металу. Виконані на заводі «Зоря»-«Машпроект» металографічні дослідження та випробування механічних властивостей показали високу якість жароміцних нікелевих сплавів, отриманих електрошлаковою тигельною плавкою зі стружки. З отриманого при плавці стружки сталі 12Х18Н10Т металу отримано дослідно-промислову партію литих заготовок у вигляді товстостінних плит розміром 360х400х65...100 мм, з яких виготовлено ножі для зняття ґрата при контактено-стиковому зварюванні рейок рейкозварювальними машинами К922, К930 та К950. Дослідження якості нержавіючої сталі показало, що метал при електрошлаковій тигельній плавці рафінується від сірки, газів і неметалічних домішок, за хімічним складом і механічними властивостями повністю відповідає вимогам, що до нього пред'являються.

Підсумовуючі отримані результати слід зауважити, що виконані дослідження дозволили розробити ефективну технологію переробки стружки жароміцних сплавів та нержавіючої сталі методом електрошлакової тигельної плавки, яка є економічно доцільною і дозволяє отримувати якісний метал придатний для використання за призначенням.

Найбільш важливими результатами роботи, що мають наукову новизну, слід вважати:

- вперше експериментально визначено вплив співвідношення між діаметром струмопідвідного електрода і розміром плавильного простору на умови плавлення небрикетованої стружки та встановлено, що максимальне залучення стружки на плавку досягається при указаному співвідношенні від 0,5 до 0,56;

- вперше термодинамічними розрахунками обґрунтовано та практично підтверджено, що при електрошлаковій плавці сталі 12Х18Н10Т з використанням шлаку АН-295 для збереження в металі концентрації титану в межах, необхідних за технічними умовами, необхідно вводити в шлак від 5 до 8 % TiO_2 ;
- вперше визначено вплив добавок оксиду титану на електропровідність шлаку АН-295 та встановлено, що шлак АН-295 + 8 % TiO_2 при температурі 1600 °С має питому електропровідність $1,0\text{--}1,2 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$, що знаходиться на рівні питомої електропровідності шлаку АНФ-6.

Практичні результати роботи, їх рівень і ступінь впровадження.

На підставі проведених досліджень розроблено технологічний процес переробки стружки жароміцних сплавів та нержавіючої сталі способом електрошлакової тигельної плавки. Дослідно-виробниче випробування на підприємствах ДП НВКГ «Зоря-Машпроект» та ДП «Зварювання тиском НТК ІЕЗ ім. Є.О. Патона» металу, отриманого зі стружки жароміцних сплавів EI602 і EI437Б та нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, підтверджують високу його якість і придатність для використання в основному виробництві.

Повнота викладення результатів в опублікованих працях. Апробація результатів дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в опубліковано у 7 друкованих працях, в тому числі одна у виданні, яка індексується в міжнародних наукометричних базах даних Scopus, 4 у вітчизняних фахових наукових періодичних виданнях та 2 тези у збірниках міжнародних науково-технічних конференцій.. Опубліковані праці відображають основні положення, результати, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації.

Основні наукові положення та результати досліджень апробовані на міжнародних науково-практичних конференціях та семінарах: «Перспективні технології, матеріали й обладнання у ливарному виробництві», Краматорськ, 21-24 вересня 2021р. та «Нові матеріали і технології в машинобудуванні», Київ, 2023 р..

Відповідність дисертації та автореферату встановленим вимогам.

Дисертація та автореферат оформлені згідно з діючими вимогами. Дисертаційна робота відповідає паспорту за спеціальністю – 136 «Металургія».

Основні зауваження щодо змісту дисертації.

Разом з високою оцінкою представленої докторської дисертації, слід відзначити такі зауваження:

1. Наукова новизна. Вважаю, що

П.1 доцільно було б доповнити інформацією щодо кількості залученої стружки у плавлення при встановленому співвідношенні між діаметром електроду та розміром плавильного простору.

п.3 більше схожий на практичне значення ніж на наукову новизну. Не вказано на що впливає, окрім електропровідності, в науковому сенсі та техніко-

економічних показників додавання до АН-295 + 8 % TiO_2 та на збереження титану у металі у відсотковому еквіваленті. На скільки змінилась ціна шлаку?

2. Перший розділ. Суть першого розділу полягає в тому, щоб провести аналіз спеціальної літератури за обраною темою та зробити висновки щодо повноти вирішення задач іншими авторами. Розділ перший повторює абзаци з вступу (с. 17, с. 21, с. 22). Загальний об'єм літературного огляду перевищує 20% від загального об'єму дисертації і складає 33%. Доцільно було б скоротити.

На стор. 39 некоректно формулювання «хорошої провідності електричного струму» та «легковажних відходів».

В літературному огляді всі наведені дані мають бути підтверджені відповідними посиланнями, але автор не завжди дотримується цього правила.

3. Другий розділ. В підрозділі 2.1 на стор.47 наводиться інформація що для дослідних плавок, які проводились в даній роботі, використовувалися суміш флюсів АНФ-6 та АН-295, але не наведено пропорції і не пояснюється які саме фізико-хімічних властивостей необхідно забезпечити в процесі плавки. В підрозділі 2.2 на стор.48 зазначено, що в першому розділі дисертаційної роботи було доведено, що найбільш придатним і ефективним способом переплаву некомпактних металевих відходів з високолегованої нержавіючої сталі і різних жароміцних сплавів є електрошлакова плавка в футерованій тигельній печі, але якісних і кількісних аргументів не зазначено

На стор. 59 у висновках по розділу у п.2 зазначено, що на базі установки А-550 створено дослідно-промислову електрошлакову установку для експериментальних досліджень, але не зрозуміло ким створено, коли або проведена модернізація. А якщо створено, то які конструкційні особливості і чим відрізняється?

Висновок П.4 носить декларативний характер, сказано, що визначені основні методики проведення експериментів і досліджень по переробці стружки жароміцних сплавів і нержавіючої сталі різними методами, але доцільно навести які саме методики та методи.

4. Третій розділ. В підрозділі 3.1 на с. 61 некоректно використовується термін густини, коли мова йде про щільність. Також зазначено, що щільність брикетів та заготовок становила від 55 до 60 % від густини литого металу, поясніть будь ласка як порівнювали щільність брикетів і густину металу.

5. Четвертий розділ. В п. 4.2. було б доречно доповнити даними на скільки змінюється вартість шлаку з додаванням 5 – 8 % мас. оксиду титану.

На стор. 96 наведено результати вимірювання електропровідності шлаку з додаванням 12% TiO_2 , але експериментально не відпрацьовано. Також не зрозуміло порівняння зі стандартними шлаками для ЕШП АНФ-8, АНФ-21, які не використовуються для експериментальних робіт.

На стор. 100 автором сказано, що з даних на рис. 4.7 видно, що електропровідність шлаку АН-295 з 8 % TiO_2 близька до аналогічного показника у шлаку АНФ-6, але на рис. Спостерігається суттєва різниця від 0,6 та 0,8 й 0,8 та 1,2 $\text{ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ відповідно при температурі 1600°C (від 35 до 50%)

6. П'ятий розділ. Присвячений дослідженню якості металу, однак наведено тільки одна макроструктура, зовсім не представлено результатів досліджень мікроструктур та фактографічних досліджень поверхонь зламів, хоча спостерігається суттєве підвищення характеристик пластичності, але не вказано причину такого явища. Також було б доцільно навести результати досліджень неметалевих включень

У висновках за розділом в п. 3, 5, 6 автор дає твердження про високу якість металу, хімічну і структурну однорідність досліджуваного зливка без відповідних металографічних досліджень. Вважаю це не коректним.

В. п. 8 автор стверджує про економічну доцільність застосування технології переробки стружки жароміцних сплавів та нержавіючої сталі методом електрошлакової тигельної плавки, однак якісних показників не наведено.

7. Загальні висновки. П. 3 було б доцільно доповнити грошовим еквівалентом.

П. 8 сказано, що дослідження якості металу, отриманого способом електрошлакової тигельної плавки стружки сплавів ХН77ТЮР (ЕІ437Б) і ХН75МБТЮ (ЕІ602) та нержавіючої сталі 12Х18Н10Т за всіма показниками, у тому числі за хімічним складом та механічними властивостями, він відповідає вимогам технічних умов на дані марки металу, але які саме показники не вказано.

П.9 необхідно доповнити конкретними даними щодо економічної доцільності.

8. Список літературу. Всього 55 посилань, що не є достатнім, необхідно доповнити. Тільки одна стаття з автором дисертації. 12 посилань на авторів з рф, після 2014, та навіть 2022 років. 7 посилань на авторів з беларусі, в.т.ч на публікації після 2014 року, 8 посилань на авторів з СРСР. Вважаю, що слід замінити посилання та більше розкрити, що відбувається у світі за даним направленням.

Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам.

Дисертація Веретільника Олександра Віталійовича на тему: «Розробка технології електрошлакової плавки високолегованих некомпактних вторинних металів і сплавів» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій теоретично обґрунтовані і експериментально досліджені технології електрошлакової плавки високолегованих некомпактних вторинних металів і сплавів.

Робота викладена грамотною науково-технічною мовою, добре проілюстрована, таблицями і графічним матеріалом.

Загалом, дисертаційна робота Веретільника Олександра Віталійовича є завершеною, досить об'ємною науковою працею, яка за актуальністю, змістом, науковою новизною, практичним значенням, достовірністю та обґрунтованістю одержаних результатів, повнотою опублікування результатів у наукових фахових виданнях, обсягом і оформленням відповідає основним вимогам до дисертацій доктора філософії та після врахування й виправлення матеріалу за

висловленими зауваженнями та пропозиціями вона може бути представлена до захисту за спеціальністю – 136 «Металургія»

Рецензент
Завідувач відділу №16
ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України
доктор технічних наук

Ганна ПОЛІШКО

Підпис завідувача відділу №16 д.т.н. Полішко Г.О. засвідчую:

Учений секретар ІЕЗ
ім. Є.О. Патона НАН України
к.т.н.



Ілля КЛОЧКОВ