

ВІДГУК
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»

1. Актуальність теми дисертації та її обґрунтованість.

Незважаючи на розвиток нових технологічних процесів отримання високоякісних виробів з мінімальним припуском на механічну обробку або навіть без нього (лиття по моделях, що виплавляються, різні методи пластичної деформації, порошкова металургія і т.п.), технології отримання виробів з використанням способів механічної обробки (токарна, свердління, стругання) все ще достатньо широко розповсюджені. При їх застосуванні в стружку може переходити до 30-40 % металу заготовки. Тому проблема переробки (рециклінгу) стружкових відходів досі є актуальною, не вирішеною остаточно. А це означає погіршення екологічної обстановки і втрату великої кількості легуючих елементів, нестачу яких у промисловості доводиться вирішувати або видобуванням все більших кількостей феросплавів або їх постачанням по імпорту. І хоча в даний час запропоновані і використовуються різні способи переробки стружки, поява нової технології дозволяє зробити черговий крок до розширення можливостей вирішення цієї складної задачі сучасного машинобудування.

Актуальність теми підтверджується також виконаним комплексом науково-дослідних та господарчих робіт, які виконувались у відділі «Плазмово-шлакової металургії» Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. А саме: «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

12X18H10T дослідних нержавіючих відливок і дослідження впливу технологічних параметрів на якість металу» (Договір № 515 від 08.01.2020 р.).

2. Наукова новизна отриманих результатів.

- 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 12X18H10T 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 $1,0-1,2 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, що знаходиться на рівні питомої електропровідності шлаку АНФ-6.

Вважаю, що у дисертації безсумнівно є новизна у виконаних науково-дослідних роботах, вони сформульовані задовільно і у достатній мірі висвітлюють основні результати проведених автором досліджень.

3. Структура та зміст дисертації.

Дисертаційна робота Веретільника О.В. складається з анотації, вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків (актів дослідно-виробничих випробувань отриманих у дисертаційної роботи результатів).

У вступі висвітлено проблеми переробки сталевих стружки, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі дослідження, висвітлено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів. Представлено інформацію про зв'язок роботи з науковими темами та дані про публікацію і апробацію результатів дисертації.

У **першому** розділі відзначено важливість рециклінгу сталевोї стружки, особливо високолегованої, Виконано аналіз існуючих технологій переробки металевих відходів і показані проблеми плавки сталевої стружки в традиційних електродугових та індукційних печах. Наведено приклади застосування електрошлакових технологій для переробки сталевої стружки у небрикетованому вигляді та 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 були при спільній плавці небрикетованої стружки та витратного електроду з кускового брухту в електрошлаковій тигельній печі ємністю 120 кг. Визначено важливий для технології ЕШТП вплив відношення діаметра витратного електрода до діаметру плавильного простору на кількість переплавленої стружки і встановлено, що максимальна кількість стружки переробляється при ступені заповнення плавильного простору від 0,5 до 0,56.

У **четвертому** розділі з урахуванням можливого вихару титана при електрошлаковій плавці виконано термодинамічний аналіз поведінки цього елементу при використанні шлаку АН-295. Показано, що при температурі 1600 °С рівноважний стан по титану, при концентрації в сталі 12Х18Н10Т 0,8 % Ti, настає при вмісті в шлаці АН-295 близько 5 % TiO₂. Експериментально підтверджено вплив введення оксиду титана у шлак на вмісту титану у металі. Рекомендовано при ЕШТП сталі 12Х18Н10Т додавання у шлак АН-295 від 5 до 8 % TiO₂ для збереження вмісту в металі 0,7-0,8 % Ti, що відповідає вимогам технічних умов на цю марку сталі.

У п'ятому розділі наведено результати переробки за розробленою технологією в електрошлаковій тигельній печі ємністю 120 кг небрикетованої стружки жароміцних сплавів на нікелевій основі EI602 та EI437Б і нержавіючої сталі 12X18H10T. 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 12X18H10T металу виготовлено дослідно-промислову партію литих заготовок у вигляді товстостінних плит розміром 360x400x65...100 мм, з яких виготовлено ножі для зняття ґрата при контактнo-стиковому зварюванні рейок рейкозварювальними машинами K922, K930 та K950. 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.

У **Висновках** дисертаційної роботи в достатній мірі відображають найважливіші її наукові та практичні результати.

4. Практична цінність роботи.

За результатами досліджень, виконаних дисертантом, запропоновано та обґрунтовано застосування нової технології переділу стружки високолегованих сплавів та нержавіючої сталі шляхом електрошлакової тигельної плавки. Виконано дослідно-промислову перевірку металу, отриманого розробленою технологією переплаву, що підтвердила його високу якість та можливість використання в основному виробництві.

5. Обґрунтованість наукових положень у дисертації та їх достовірність.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, сформульованих у дисертаційній роботі, а також висновків та практичних результатів, є високою, мета та завдання досліджень поставлені чітко. Достовірність одержаних результатів не викликає сумнівів. Основні наукові та результати досліджень доповідалися на двох міжнародних конференціях. Основний зміст дисертації та найважливіші результати опубліковано у 7 друкованих праць, в тому числі одна у виданні, яка індексується в міжнародних наукометричних базах даних Scopus, 4 у вітчизняних фахових наукових періодичних виданнях та 2 тезах у збірниках міжнародних науково-технічних конференцій.

6. Зауваження по дисертаційній роботі.

1. Основні зауваження по оформленню дисертації.

1.1. Стор.3 – аббревіатура ІТП без пояснення.

1.2. Стор.4 – ключові слова: «рециклінг», а не переробка.

1.3. Стор.17 - назву 1 глави краще представити інакше, наприклад: Відходи машинобудівного виробництва у вигляді металевої стружки та існуючі методи її рециклінгу.

1.4. Стор.34 - для отримання злитків із використанням СПК колона установки необхідна; проведені дослідження з переплаву сталі 0X18H10T не підтвердили перехід вуглецю з футерування в метал.

1.5. Стор.41 – висновки. Із останнього пункту не зрозуміло яка електрошлакова технологія пріоритетніша

1.6. Стор.65 – в табл.3.1. не представлені техніко-економічні результати плавок ЕШП та ІТП.

1.7. Стор.74 табл. 3.4. Наочніше було б не вказувати номери плавок, а зазначити технології (зараз це розташовано в тексті)

1.8. Стор.104 – на Рис.5.2. не зрозуміло, що зображено поруч з отриманим зливком (із підпису підпису не ясно).

2. Зауваження технічного характеру

2.1. Назву роботі треба конкретизувати, так як у дисертації йдеться про переробку стружки конкретних металів. Наприклад, «Рециклінг

небрикетованої стружки жароміцних сплавів та нержавіючої сталі способом електрошлакової тигельної плавки», або «Розроблення технології реціклінгу небрикетованої стружки жароміцних сплавів та нержавіючої сталі способом електрошлакової тигельної плавки».

2.2. Як розроблені рекомендації на основі плавок у тиглях розміром 160x160 мм та 240x340 мм будуть відрізнятися та корегуватися при проведенні плавок у тиглях іншої ємності.

2.3. Стор. 117 - у висновках п. 5 рекомендують в шлак АН-295 вводити від 5 до 8% TiO_2 , хоча реально вводиться 8%.

2.4. Стор. 99-100 - чомусь електропровідність шлаку АН-295 + 8% TiO_2 порівнюється з АНФ-1П, АНФ-28 і АНФ-32, які невідомо звідки взяли, а свої власні виміри з ще більш «далекими» флюсами АНФ-21 і АНФ-8.

Загальний висновок

Загалом робота Веретільника О.В. є завершеною науковою роботою, яка за кількістю виконаних досліджень, їхньою новизною, науковою та практичною значимістю отриманих результатів повністю відповідає вимогам до робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії та після урахування висловлених зауважень може бути представлена для захисту в спеціалізованій вченої ради ІЕЗ ім. Е.О. Патона.

Рецензент:

провідний науковий співробітник від. №2
ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України,
д.т.н.



Юрій КУСКОВ

Підпис провідного наукового співробітника відділу №2 доктора технічних наук Юрія КУСКОВА засвідчую:

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



Юлія КЛЮЧКОВ