

419
21 06 23

До спеціалізованої вченої ради Д 26.182.02
при Інституті електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України

11, вул. Казимира Малевича, Київ, 03150

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу ЄРОХІНА Олексія Геннадійовича «Отримання мікролегованих киснем та кремнієм титанових сплавів методом електронно-променевої плавки», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів»

1. Актуальність теми дисертації та відповідність спеціальності 05.16.02 – Металургія чорних та кольорових металів та спеціальних сплавів

Україна є одним зі світових лідерів за покладами титанових руд і є однією з небагатьох країн в світі, які мають повний цикл виробництва титану. Сплави на його основі відносяться до найбільш інноваційних та стратегічно важливих матеріалів сучасності. Вони застосовуються для виконання найбільш відповідальних і високотехнологічних задач в багатьох галузях промисловості.

Не зважаючи на відпрацьоване промислове виробництво і широке розповсюдження титану та його сплавів, даний клас матеріалів досі залишається високовартісним, а забезпечення його високої якості вимагає додаткових технічних і технологічних зусиль. Здешевлення титанової продукції можна забезпечити з використанням в якості шихти великої кількості вторинної сировини, але при цьому може виникати проблема збільшення кількості домішок.

На практиці це може мати позитивні сторони, які виражаються у впливі на структурно-фазовий стан та зміцненні сплавів. Саме тому останні роки так в усьому світі активно розвивається концепція створення економноголегованих титанових сплавів, зокрема – легованих домішками проникнення. Дослідження цього напрямку не втрачають актуальності та постійно продовжуються.

Таким чином, можна сказати, що дисертаційна робота О.Г. Єрохіна присвячена вирішенню сучасної та вельми актуальної проблеми, яка

знаходиться в світових науково-технологічних трендах і є особливо важливою та актуальною для України. Створення наукових засад і технологічних рішень, які дозволять забезпечити належну якість та рівень механічних властивостей титанових сплавів, мікролегованих киснем та кремнієм після електронно-променевого переплаву має велику економічну доцільність та ресурсозберігаючий потенціал, що відповідає потребам будь-якої сучасної галузі промисловості.

Тема дисертації також повністю відповідає паспорту спеціальності 05.16.02 – Металургія чорних та кольорових металів та спеціальних сплавів.

2. Ступінь обґрунтованості, повнота і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій в дисертаційній роботі

В дисертаційному дослідженні Єрохіна О. Г. проведено достатньо глибокий аналіз застосування титанових сплавів з огляду на їх клас та властивості. Вивчено та проаналізовано роботи, присвячені дослідженню впливу легуючих елементів на властивості титанових сплавів при електронно-променевому перепаві, у тому числі при впровадженні концепції мікролегуювання. Проведено аналіз переваг, недоліків та особливостей впливу мікролегуючих елементів при виплавці титанових сплавів різними способами перепаву. Одержані результати аналізу мають високий ступінь обґрунтування, базуються на глибокому вивченні здобувачем іноземних і вітчизняних літературних джерел, патентів, а також результатів власних теоретичних і експериментальних досліджень.

Важливо відмітити, що проведення експериментальних плавок відбувалось на промисловому високопродуктивному обладнанні. Для цього було розроблено окремі методики, які гармонійно поєднались із виробничим процесом без його суттєвих змін. Це дало змогу оцінювати запропоновані дисертантом гіпотези безпосередньо в реальних умовах при одержанні готової промислової продукції комерційного призначення.

В роботі застосовується сучасне аналітичне обладнання та методи аналізу і обробки даних. Особливо важливо відмітити виконання такого складного завдання, як комплексне дослідження вмісту газів у великій кількості експериментальних зразків.

Отримані в роботі результати та наведені висновки узгоджуються також з даними, відомими з літературних джерел. Результати пройшли апробацію на

авторитетних міжнародних і українських наукових конференціях і були опубліковані у фахових періодичних виданнях.

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

3. Загальна оцінка змісту дисертації

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 136 найменувань, містить 56 рисунків, 17 таблиць. Повний обсяг дисертації складає 149 сторінок, основний зміст викладено на 120 сторінках.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертації, сформульовано мету та завдання досліджень, відзначено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів. Надано інформацію про особистий внесок здобувача, про кількість публікацій та апробації результатів та наведено відомості про структуру та обсяг дисертації.

У першому розділі дисертантом розглянуто властивості та області застосування сплавів на основі титану. Викладено загальні відомості про властивості, класифікацію сплавів на основі титану. Вивчено та проаналізовано роботи по дослідженню впливу легуючих елементів на властивості титанових сплавів при ЕПП. Вивчено умови та особливості мікролегуювання. Проведено аналіз переваг, недоліків та особливостей поведінки мікролегуючих елементів при виплавці титанових сплавів різними видами переплаву.

У другому розділі розглянуто технологічне обладнання, матеріали та методики проведення досліджень. Також показано аналітичне обладнання, описано його характеристики та обґрунтовано необхідність його застосування.

У третьому розділі описано процес мікролегуювання киснем сплавів титану, які було одержано в умовах ЕПП. Проаналізовано процес розчинення діоксиду титану в титановому розплаві та створено відповідні математичні моделі, які описують цей процес на основі рівнянь дифузії. Розроблено спосіб отримання бездефектних зливків титану з регламентованим вмістом кисню.

Четвертий розділ присвячено вивченню процесів випаровування компонентів титанових сплавів в умовах ЕПП та розробці технології мікролегуювання кремнієм сплавів титану з подальшим одержанням з них якісних зливків.

У висновках викладено найбільш важливі наукові та практичні результати аналітичного характеру та власних досліджень.

Дисертація та список використаних літературних джерел оформлені відповідно до вимог та прийнятих стандартів.

4. Наукова новизна та практична цінність отриманих результатів

Наукова новизна і практична цінність результатів дисертаційних досліджень полягає в поєднанні нових науково-технологічних підходів одержання мікролегованих киснем і кремнієм зливоків титанових сплавів промислового формату.

До наукової новизни належать наступні положення:

1. Вперше методами математичного моделювання встановлено закономірності розчинення частинок діоксиду титану в розплаві титану, а саме: лінійна швидкість розчинення діоксиду титану знаходиться в межах 7...25 мкм/с, а підвищення температури розплаву на 100 К зменшує тривалість повного розчинення частинки в 3.5 рази.

2. Вперше встановлено закономірності випаровування легуючих елементів з титанового сплаву VT9, який мікролеговано кремнієм на рівні 0.20...0.35 %, під час електронно-променевого плавлення зливка діаметром 600 мм: втрати алюмінію випаровуванням збільшуються від 0.5 % при швидкості плавки більше 700 кг/год до 3.0 % при швидкості плавки менше 100 кг/год та лінійно зростають при підвищенні концентрації алюмінію в початковій шихті з коефіцієнтом пропорційності 0.10...0.15; концентрація кремнію під час електронно-променевого плавлення практично не змінюється; вміст в зливку сплаву VT9 молібдену та цирконію при швидкостях плавки до 300 кг/год збільшується в порівнянні з їх концентрацією в вихідній шихті на 0.05 – 0.2 %, що пов'язано з відносно великими втратами алюмінію на випаровування при таких швидкостях плавки.

3. Вперше показано, що в металі зливка титанового сплаву VT9, отриманого методом електронно-променевого плавлення, кремній знаходиться у вигляді твердого розчину, а його мікроструктура має двофазну $\alpha+\beta$ -структуру, де первинні β -зерна мають оторочку α -фази товщиною 5–10 мкм, а в об'ємі зерна пластини α -фази утворюють колонії, ширина яких складає 50–300 мкм, товщина α -пластин становить 1,5–6 мкм; в проміжках між α -пластинами розташована β -фаза завтовшки 0,3–1,5 мкм.

4. Практичне значення роботи

Практичне значення отриманих результатів обумовлене визначними технологічними та промисловими досягненнями, які полягають в наступному:

1. Вперше в світовій практиці отримано зливок титану діаметром 1100 мм, який мікролеговано киснем на рівні $0,30 \pm 0,1$ %, та маса якого складає більше 12 тон.

2. Розроблено електронно-променеву технологію отримання великих (діаметром 600 мм) та надвеликих (діаметром 1100 мм) злиwkів титану з регламентованим вмістом кисню та масою 5...6 та 11...13 тон відповідно.

3. Розроблено технологію отримання злиwkів жароміцного титанового сплаву VT9 методом електронно-променевого плавлення з проміжною ємністю, яка забезпечує високу якість металу як за хімічним складом так і за структурою.

4. Розроблено електронно-променеву технологію оплавлення бічної поверхні злиwkів титану діаметром до 1100 мм та жароміцного титанового сплаву VT9 діаметром до 600 мм, яка забезпечує підвищення техніко-економічних показників технології.

Варто відзначити, що автор дисертаційної роботи брав безпосередню участь в розробці та впровадженні результатів досліджень в промислове виробництво злиwkів мікролегованих киснем і кремнієм титанових сплавів на Державному підприємстві «Науково-виробничий центр «Титан» Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України.

5. Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи в наукових публікаціях та апробація роботи

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 29 наукових працях, із них 19 – у фахових наукових періодичних виданнях України та закордоном, 1 наукова праця проіндексована у міжнародних науково-метричних базах Scopus та Web of Science, 19 праць задовольняють вимоги МОН України щодо публікації результатів дисертаційних робіт у фахових наукових виданнях, 7 – матеріали наукових конференцій. Отримано 3 патенти України на винахід. Основні положення і результати дисертації доповідалися на 3 міжнародних науково-практичних конференціях та отримали позитивну оцінку наукової спільноти.

Прочитати результати цієї дисертації можна за адресою: Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м.Київ, вул.Патона, 37

6. Зауваження по роботі

Все сказане вище свідчать про високий науковий рівень роботи та її відповідність вимогам і якості, що пред'являються до робіт, які подаються на здобуття наукового ступеня «кандидата технічних наук». Однак, слід відмітити декілька зауважень до даної роботи:

1. В розділі 1 зустрічаються відсутні логічні переходи між інформаційними блоками в тексті (наприклад – кінець с. 32 – с. 33)

2. В розділі 1 назва підрозділу 1.5. «Математична модель процесів ЕПП» потребує пояснення – як одна модель може описувати декілька процесів ЕПП? Імовірно автор мав на увазі «Математичне моделювання процесів ЕПП».

3. В авторефераті не згадується частина обладнання, яке перелічено в розділі 2 дисертації.

4. Також в розділі 2 незрозуміло, для чого наводяться експлуатаційні характеристики спектрометра SPECTROPORT (робоча напруга, габарити, вага, тощо) замість, наприклад, принципу його роботи, або діапазону вимірювання елементів, точності, тощо.

5. В розділі 3 наведено зображення УЗК-скану і сказано, що піки в лівій частині відповідають «відображенням сигналів від кордонів зерна». Виникає питання, чому картина сигналу змінюється, якщо зеренна структура не зникає і границі зерен також? Можливо піки в лівій частині вказують на пористість, або наявність мікротріщин біля поверхні зливка?

6. У розділі 4 наведено рівняння Ленгмюра та показано, як знайти або розрахувати його складові. Далі рівняння не застосовується для розрахунків, а лише для теоретичної оцінки процесів випаровування компонентів. Також відсутні значення характеристик, які були фактично пораховані в даному розділі. Наприклад, це стосується значень парціального тиску елементів.

7. В роботі є неправильно перекладені з російської мови терміни: кордон зерна, рівновісна пружність, тощо. Також присутні стилістичні та граматичні помилки, чорно-білі фотографії структур та недоперекладені графіки.

7. Загальний висновок

Вказані зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертації Єрохіна О.Г. «Отримання мікролегованих киснем та кремнієм титанових

сплавів методом електронно-променевої плавки», яка є завершеним науковим дослідженням, що розв'язує важливу науково-технологічну проблему створення технології виробництва зливків мікролегованих титанових сплавів тими елементами, які одночасно можна вважати як технологічними домішками, так і зміцнюючими компонентами.

Дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9, 11, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 щодо докторських дисертацій, а її автор, **ЄРОХІН Олександр Геннадійович**, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів.

Офіційний опонент


**Заст. зав. відділу процесів
плавки та рафінування сплавів
ФТІМС НАН України,
канд. техн. Наук**


Михайло ВОРОН

Підпис Михайла ВОРОНА засвідчую

**Т.в.о. ученого секретаря
ФТІМС НАН України
д.т.н., ст.н.с.**




Юлія КВАСНИЦЬКА