

№ 04-21
Г.

ВІДГУК

**офіційного опонента на дисертаційну роботу
ГНІЗДИЛА ОЛЕКСАНДРА МИКОЛАЙОВИЧА
«ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПЛАЗМОВО-ІНДУКЦІЙНОГО
ВИРОЩУВАННЯ КРУПНИХ ПРОФІЛЬОВАНИХ
МОНОКРИСТАЛІВ ВОЛЬФРАМУ»,
представлену на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук за спеціальністю
05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів
та спеціальних сплавів»**

Розробка новітніх технологій одержання конструкційних і функціональних матеріалів для високотехнологічних та стратегічних галузей промисловості на основі оригінальних наукових розробок та інноваційних рішень є світовою тенденцією і має особливе значення для України. Це, зокрема, стосується одержання монокристалів тугоплавких металів для потреб військової, космічної, хімічної, електронної промисловості. Тому дисертаційна робота О.М. Гніздила, спрямована на інтенсифікацію технології вирощування крупних профільованих монокристалів вольфраму, є актуальною і важливою – як для науки, так і для практичної сфери.

Робота являє собою логічний розвиток досліджень фахівців Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України в напрямку створення і удосконалення плазмово-індукційної зонної плавки (ПЗП), основні теоретичні засади і практичні напрацювання якої були висвітлені в роботах Ю.В. Латаша, Г.М. Григоренка, Ю.М. Помаріна, І.В. Шейка, В.О. Шаповалова. Завдяки

цим розробкам стало можливим одержувати найбільші монокристали вольфраму і молібдену в світі.

Однак однією з головних перешкод на шляху до більш широкого використання монокристалів тугоплавких металів є висока собівартість їх одержання та необхідність інтенсифікації технології – як у частині збільшення продуктивності, так і здешевлення процесу при одночасному забезпеченні відповідності структури і властивостей монокристалів вимогам стандартів.

Ця проблема вирішується у дисертаційній роботі О.М. Гніздила за рахунок підвищення швидкості нарощування монокристала, додержання при цьому належних теплових умов, передусім – градієнта температур у монокристалі на межі рідкої та твердої фаз. Додаткова економія може бути досягнута за рахунок зменшення вартості плазмоутворюючих газів.

Слід також зазначити, що застосування малоінерційної, безконтактної, енергетично високоефективної термосилової дії електромагнітних полів при одержанні монокристалів є відомим напрямком у світовому матеріалознавстві, якому приділяється значна увага в середовищі фахівців з електромагнітної обробки матеріалів, фундаментальної та прикладної магнітної гідродинаміки.

Дисертація О.М. Гніздила структурно складається зі вступу, чотирьох основних розділів, загальних висновків, додатку та списку використаної літератури.

У першому розділі автором здійснено детальний аналіз проблеми одержання великих монокристалів тугоплавких металів. Показано, що теплове поле є ключовим аспектом в технології вирощування монокристалів тугоплавких металів, оскільки від його характеристик залежать умови формування структури. Ро-

зглянуто основні сфери застосування монокристалів вольфраму. На підставі вивчених літературних даних і виконаного аналізу сучасного стану питання були сформульована мета та задачі дослідження.

Другий розділ дисертації присвячений підбору дослідницького обладнання, вибору наявних і розробці нових методик дослідження. Так, з огляду на особливості технологічного процесу ПЗП, вивчення характеристик теплового поля монокристала здійснювалося на математичній моделі. В її основу була покладена модель, запропонована В.О. Шаповаловим на основі рівняння теплопровідності, де індукційний і плазмовий нагрів були задані у вигляді відповідних межових умов. Для можливості одержання більш достовірних даних існуюча модель була доповнена системою рівнянь електромагнітного поля.

Третій розділ дисертації О.М. Гніздила включає в себе дослідження впливу швидкісних режимів плазмового джерела та потужності індукційного джерела енергії на характеристики теплового поля. Також з метою підвищення економічної ефективності процесу уперше були проведені дослідження можливості заміни дорогого плазмовоутворюючого газу – гелію – на більш дешевий водень. Одержані дані дали уявлення про вплив технологічних параметрів процесу на динаміку зміни геометрії рідкометалевої ванни і у подальшому були використані для оптимізації технологічних режимів при вирощуванні великих монокристалів тугоплавких металів. Так, зокрема, корекція математичного експерименту за результатами натурного дозволила одержати ряд важливих і корисних характеристик картини теплового поля в високотемпературній області та встановити реальні теплові умови, в яких формується монокристал.

У четвертому розділі дисертації О.М. Гніздила одержані ним результати були застосовані для розробки дослідно-промислової технології вирощування плоских профільованих монокристалів вольфраму, забезпечення високих показників її продуктивності та економічної ефективності, а також дослідженню показників якості одержаних монокристалів. Так, були відпрацьовані технологічні режими роботи плазмового джерела нагріву, модернізовано індукційний вузол з метою забезпечення перерозподілу електромагнітної енергії по висоті злитка, оптимізовано витрату плазмоутворюючої газової суміші.

У результаті проведеної роботи згідно з розробленою технологією уперше були вирощені великі плоскі монокристали вольфраму розмірами $22 \times 180 \times 210$ мм з високими показниками інтенсифікації процесу. Також були отримані рекомендовані маси злитка, які становили 14, 30, 55 кг для різних швидкісних режимів, що забезпечує економію електроенергії до 64% від базової технології.

Показано, що профільований злиток вольфраму, отриманий при швидкостях переміщення металеві ванни від 17 до 70 мм/хв, являє собою монокристалічне тіло з кристалографічною орієнтацією відповідної орієнтації зародкового кристала. Встановлено, що з ростом інтенсифікації процесу вирощування, тобто зі збільшенням максимальної швидкості переміщення металеві ванни відбувається подрібнення субструктури при рівномірному розподілі щільності дислокацій по всьому об'єму монокристала. При цьому дезорієнтація малокутових меж є значно меншою допустимого максимального нормованого значення.

Отже, можна стверджувати, що в ході виконання досліджень за темою дисертаційної роботи її автором, О.М. Гнізди-

лом, було особисто одержано низку нових наукових і практичних результатів.

Використання результатів досліджень інших авторів має виключно ознайомлювальну та порівняльну мету і оформлено належним чином у вигляді відповідних посилань та цитувань.

Дослідження за темою роботи проведені на досить високому рівні формулювання наукових ідей і підходів щодо їх реалізації з подальшим втіленням у вигляді технічних рішень і технологічних рекомендацій. Їх новизна та ефективність також підтверджена двома патентами України на винаходи.

Методичне та апаратне забезпечення досліджень відповідає сучасному рівню, а також є адекватним складності і особливостям вирішуваних задач.

Одержані О.М. Гніздилом наукові і практичні результати не суперечать сучасним теоретичним уявленням відповідних науково-технічних дисциплін щодо процесів за тематикою роботи, ґрунтуються на класичних закономірностях фундаментальної науки. Проведені дослідження узгоджені з робочими планами науково-дослідних робіт за конкурсною тематикою.

Наукові та практичні результати досліджень О.М. Гніздила, які представлені у дисертації і її авторефераті, повною мірою оприлюднені у вигляді публікацій (23 друковані роботи) у вітчизняних та закордонних фахових виданнях, що входять до переліку ДАК МОН України, а три з них – до міжнародної наукометричної бази Scopus. Також ці результати були представлені на ряді престижних науково-практичних конференцій, у т. ч. за межами України. Особистий внесок здобувача в опублікованих працях цілком відповідає представленим у дисертаційній роботі результатам.

При цьому щодо викладення результатів досліджень та їх інтерпретації у тексті дисертації О.М. Гніздила і тексті автореферату є певні зауваження, зокрема:

1. На мій погляд, не зовсім вдало сформульовано пункт 1 наукової новизни – адже передусім автором було визначено закономірності впливу плазмового та індукційного джерел нагріву на формо- і структуроутворення монокристалів у залежності від швидкості їх нарощування і вже на основі одержаних залежностей у подальшому було вперше розв'язано проблему інтенсифікації технології плавки.

2. Пункт 5 наукової новизни щодо здешевлення плазмоутворюючої суміші за рахунок варіювання вмісту її складових є безумовно важливим, однак передусім практичним здобутком. До того ж, не зовсім зрозуміло, наскільки складнішою, тривалішою та дорожчою є підготовка суміші газів з більшою кількістю компонентів. Також, в табл. 4.1 на стор. 154 дисертації (табл. 2 на стор. 18 автореферату) в контексті відпрацювання технології згадано лише аргон-гелієву суміш з фіксованим вмістом гелію 70%.

3. Навпаки, пункт 2 практичного значення отриманих результатів цілком може претендувати на наукову цінність в частині охоплення особливостей передачі електромагнітної енергії у ланцюзі «індуктор – холодна стінка – злиток» і температурозалежних характеристик матеріалу.

4. Хотілося б більш точного пояснення і застосування часто вживаного автором терміну «рівень інтенсифікації процесу». Про що саме йдеться – збільшення лінійної швидкості джерела плазмового нагріву, збільшення потужності індукційного нагріву, зменшення витрати плазмоутворюючих газів, зростання загаль-

ної продуктивності процесу, зменшення собівартості продукції, чи взагалі про певний комплексний чинник?

5. Також з тексту не до кінця зрозуміло, чому при збільшенні швидкості переміщення рідкометалевої ванни фактично у 16 разів (з 20 мм/хв до 320 мм/хв) температурний градієнт попереду ванни в процесі її переміщення зростає трохи більше ніж у 2 рази (зі 170 до 350 К/мм). Можливо, мається на увазі не зростання, а коливання градієнту у зазначених межах?

6. У розділі 3 дисертаційної роботи наведені, на мій погляд, цікаві розрахункові дані щодо коефіцієнту сумарної потужності індукційного джерела (табл. 3.3, стор. 134-136 дисертації), які дозволяють спростити розуміння технологічної побудови та технічної реалізації процесу. Однак вони, на жаль, не увійшли до автореферату – ймовірно, через обмеження щодо його обсягу.

7. Можливо, для наглядного пояснення технологічних переваг розробленого процесу слід було б вказати відносні показники – наприклад, збільшення продуктивності за одиницю часу при зменшенні енерговитрат (або їх співставній витраті), здешевленні вартості плазмоутворюючої суміші тощо.

8. Не зовсім зрозуміло, з чим пов'язана саме ступенева інтенсифікація технології (у 3, 8 та 18 разів), чи варто взагалі розглядати варіанти 3 і 8 разів при наявності 18, і чи є взагалі певна верхня межа інтенсифікації – якщо так, то як саме і чим вона лімітується?

Проте вказані зауваження не зменшують високого рівня дисертації О.М. Гніздила, якості одержаних автором результатів, наукової та технологічної цінності роботи.

Не підлягає жодному сумніву, що дисертація О.М. Гніздила є завершеною оригінальною науковою працею.

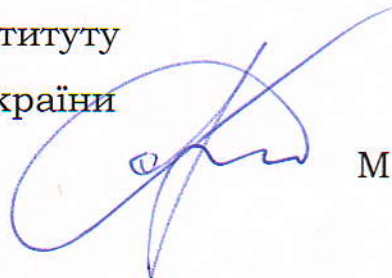
Дисертація О.М. Гніздила та її автореферат оформлені згідно з нормами ДСТУ 3008:2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення» і чинними вимогами ДАК МОН України. Мова викладення матеріалів дисертації є технічно і літературно грамотною, використана наукова термінологія є загальноприйнятою.

Автореферат дисертації цілком відповідає її змісту та дає належну інформацію про виконані О.М. Гніздилом дослідження і одержані наукові теоретичні та практичні результати.

Отже, виходячи з вищевикладеного, вважаю, що дисертаційна робота «Інтенсифікація процесу плазмово-індукційного вирощування крупних профільованих монокристалів вольфраму» відповідає вимогам, що пред'являє ДАК МОН України до кандидатських дисертацій, а її автор, Гніздило Олександр Миколайович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».

Офіційний опонент –

Кандидат технічних наук,
заступник завідувача відділу магнітної гідродинаміки
Фізико-технологічного інституту
металів та сплавів НАН України



М.С. Горюк

Підпис Горюка М.С. засвідчую:

Вчений секретар ФТІМС НАН України,
кандидат технічних наук



В.Л. Лахненко