

## **ВІДГУК**

офіційного опонента Ямшинського Михайла Михайловича  
на дисертацію Нурадінова Ібрагіма Абдійовича

**«Валкова розливка високоміцних алюмінієвих сплавів для одержання  
прокату з підвищеними механічними властивостями»**, подану на здобуття  
наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 136 – Металургія, галузь знань 13 – «Механічна інженерія»

### **1. Актуальність теми дисертації**

Зростаючі вимоги сучасного машинобудування до якості листового металопрокату з алюмінієвих сплавів зумовлюють необхідність розробки нових наукових і технологічних підходів до виробництва такої металопродукції. Вкрай актуальним для сучасної України є розробка ефективних технологій виробництва тонкого листа з алюмінієвих сплавів високої та середньої міцності, які мають незаперечні переваги перед листовою продукцією з інших матеріалів при створенні аерокосмічної техніки різного призначення. Безумовно, технологія валкового розливки-прокатки металевих сплавів має значні переваги перед класичною схемою виробництва листової металопродукції. Але така схема виробництва тонкого листа з алюмінієвих сплавів на сьогоднішній день застосовується лише для розливки-прокатки чистого алюмінію та близьких до нього сплавів. Тому робота, що спрямована на розроблення науково-методичних підходів та практичних рекомендацій щодо реалізації технології валкової розливки-прокатки саме високоміцних алюмінієвих сплавів з отриманням листового прокату з підвищеними механічними властивостями, є дуже актуальною.

### **2. Загальна характеристика роботи**

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 154 найменувань та 2 додатків. Матеріали роботи викладено на 174 сторінках, містять 18 таблиць, 58 рисунків

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, окреслено мету дослідження та науково-технічні завдання, необхідні для його виконання, представлені методи досліджень, вказані новизна і практичне значення отриманих результатів, надано інформацію щодо зв'язку роботи з науковою тематикою ФТІМС НАН України, наведені відомості щодо особистого внеску здобувача, апробацію, публікації та реалізацію результатів дослідження.

**У першому розділі**, що є літературним оглядом, здійснено глибокий та критичний аналіз сучасного стану та перспектив розвитку промислових технологій отримання тонкого листового прокату із алюмінієвих сплавів.

На основі цього аналізу були сформульовані найбільш перспективні напрями подальших досліджень, встановлено мету роботи та визначені завдання дослідження.

**У другому розділі** представлено порівняльний аналіз досліджуваних

сплавів, їх властивості та обладнання з детальним описом методик, які були здобувачем використані у дослідженнях. Наведено методики фізичного та математичного моделювання

**Третій розділ** дисертаційної роботи присвячений математичному моделюванню тепло- масообмінних процесів у кристалізаторі при валковій розливці дослідних алюмінієвих сплавів. В системі автоматизованих розрахунків ProCAST як основну модель руху рідкої фази в міжвалковому просторі застосовано варіант спрощеного розрахунку за виведеними рівняннями лінійної швидкості для випадкової точки.

За результатами проведення обчислювальних експериментів було визначено оптимальні швидкості валкової розливки для всіх досліджуваних алюмінієвих сплавів з урахуванням ширшого спектра технологічних параметрів.

Для конкретних технологічних режимів розливки досліджуваних сплавів розраховано рівень лінійних швидкостей виходу литих листових заготовок з валкового кристалізатора, що підтверджено фактичними значеннями на лабораторному обладнанні.

Розглянуто вплив гідродинамічних та теплофізичних умов валкової розливки металів на тверднення листової заготовки.

**У четвертому розділі** наведені результати дослідження процесів формування структури і властивостей литих заготовок з алюмінієвих сплавів при їх валковій розливці-прокатці. Визначено хімічний склад та температурні параметри фазових перетворень у досліджуваних сплавах. Визначено вплив швидкості температури охолодження на структуру алюмінієвих сплавів.

Розглянуто вплив режимів валкової розливки, гарячої прокатки та термічної обробки досліджуваних алюмінієвих сплавів на міцнісні та пластичні властивості листового прокату з них. При цьому для всіх сплавів визначено оптимальне співвідношення параметрів мікроструктур, за яких кінцевий листовий прокат має максимальний рівень механічних властивостей.

**У загальних висновках дисертації** належним чином сформульовано основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи, які дозволили вирішити поставлені цілі та завдання.

### **3. Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни**

1. Вперше одержано аналітичні залежності для розрахунку швидкостей валкової розливки-прокатки алюмінієвих сплавів В95, АМг5 і АД35, які забезпечують отримання листових заготовок заданої товщини.

У науковій літературі відсутні дані про наявність таких рівнянь для визначення лінійної швидкості валкового розливання високоміцних алюмінієвих сплавів. За допомогою цих рівнянь було визначено значення швидкостей валкової розливки для усіх досліджуваних алюмінієвих сплавів, які забезпечили отримання з них



якісних листових заготовок при різних значеннях вихідних технологічних параметрах: товщина заготовок, кут меніску, радіус валків, температура перегріву розплаву тощо.

2. Розроблено ефективний механізм інтенсифікації теплообмінних процесів у валковому кристалізаторі. Він полягає у зміні характеру руху пристінкового шару охолоджувальної води з ламінарного режиму на турбулентний шляхом нанесення шорсткості (виступів) на внутрішніх поверхнях валків. При цьому в ньому тепловідведення теплопровідністю змінюється на тепловідведення конвекцією.

На відміну від схеми тепловідведення з гладких поверхонь стандартних валків-кристалізаторів розроблений механізм підвищення інтенсивності тепловідведення у валках з шорсткістю на поверхнях теплообміну полягає у зміні характеру руху пристінкового підшару потоку. Під час набігання потоку води на виступ за ним утворюється вихор, який руйнує структуру ламінарного підшару, турбулізуючи його. У результаті цього ламінарний підшар повністю руйнується або зменшується за товщиною, що сприяє підвищенню тепловіддачі до 45 %. Поряд з інтенсифікацією тепловідведення, шорсткість завдяки турбулізації пристінкового прошарку потоку істотно знижує ймовірність утворення накипу на теплообмінній поверхні, а, відповідно, збільшує періоди профілактичного обслуговування валків-кристалізаторів.

3. Вперше розроблено технологічні режими валкової розливки-прокатки високоміцних алюмінієвих сплавів з широкими інтервалами кристалізації ( $\geq 160^\circ\text{C}$ ) та отримані з них листові заготовки.

Розроблені механізм інтенсифікації теплообмінних процесів у валковому кристалізаторі та методика вибору технологічних параметрів валкової розливки високоміцних алюмінієвих сплавів дозволив вперше у світовій металургійній практиці отримати цим методом литі листові заготовки зі сплаву В95, який має широкий інтервал кристалізації  $162^\circ\text{C}$ .

4. Встановлено взаємозв'язок між параметрами первинної кристалічної будови листових заготовок з алюмінієвих сплавів марок АД35, АМг5 і В95 та особливостями формування структури і властивостей кінцевого листового прокату з них. Представлено їх залежності від технологічних режимів валкового розливання, гарячої прокатки та термічної обробки цих сплавів.

Встановлені закономірності зміни структур та властивостей листових заготовок з цих алюмінієвих сплавів на кожному етапі технологічного процесу «валкова розливка – гаряча прокатка – термічна обробка». Показано, що рівень механічних характеристик на всіх етапах визначається розміром первинних кристалів  $\alpha\text{-Al}$  та інтерметалідних фаз, які суттєво залежать від режимів гарячої прокатки та термічної обробки. Для усіх сплавів визначено оптимальні режими гарячої прокатки та термічної обробки, що забезпечують максимальний рівень

механічних властивостей одержуваної листової продукції. При цьому для усіх сплавів забезпечується такий рівень механічних характеристик штаб, який перевищує відповідні стандартні межі (наприклад, для сплаву В95 межа міцності перевищує стандартний рівень на 5 %, а відносне подовження – 3,3 разів).

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання розробити науково-методичні підходи та практичні рекомендації щодо реалізації валкової розливки-прокатки високоміцних алюмінієвих сплавів з отриманням листового прокату з підвищеними механічними властивостями – здобувач виконав повною мірою і оволодів методологією наукової діяльності.

Представлені у дисертації наукові положення забезпечуються тим, що автором було опрацьовано значну кількість сучасних літературних джерел, результатів досліджень як вітчизняних, так і зарубіжних вчених. Висновки і рекомендації автора є логічними і витікають з результатів проведених досліджень.

Достовірність наукових положень, точність одержаних експериментальних результатів, рекомендацій та висновків дисертаційної роботи забезпечено використанням розробленого обладнання, використанням методів фізичного та математичного моделювання, вивчення властивостей отриманого прокату, коректною інтерпретацією одержаних експериментальних результатів, що узгоджуються з існуючими теоретичними даними в галузі металургії.

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів дослідження підтверджена апробацією на міжнародних науково-практичних конференціях.

#### **4. Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана українською мовою. Опис та результати досліджень викладено послідовно та зрозуміло із використанням загальноприйнятої термінології.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог Наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

**5. Практичне значення роботи** – в роботі розроблено фізичні та математичні моделі є універсальними і, змінюючи вихідні дані (геометричні, температурні, швидкісні тощо), можуть бути використані для проведення наукових досліджень з вивчення процесів валкової розливки-прокатки для інших типів металевих сплавів.

Розроблено ефективний спосіб підвищення теплової роботи валкового кристалізатора шляхом нанесення шорсткості на внутрішніх поверхнях бандажів валків, вздовж яких переміщається потік охолоджувальної води.

На основі результатів досліджень запропоновано моделі визначення рівня основних технологічних параметрів (температура перегріву, інтенсивність тепловідведення, товщина заготовки, швидкість розливки тощо), що забезпечують стабільність процесу валкової розливки-прокатки будь-яких алюмінієвих сплавів. Одержанням листових заготовок із даних сплавів на



лабораторній установці з двовалковим кристалізатором доведено коректність запропонованого принципу визначення технологічних параметрів їх розливки.

Використання металургійними підприємствами розробленої технології валкової розливки-прокатки алюмінієвих сплавів дозволить їм суттєво підвищити ефективність виробництва листової металопродукції.

Теоретичні та експериментальні результати, які представлено в дисертаційній роботі можуть бути використані в навчальному процесі студентів технічних вузів на відповідних кафедрах та в лекційному курсі аспірантів.

#### **6. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях**

Основні матеріали та результати дисертації викладено в 15 наукових працях, 7 з яких опубліковано у наукових фахових виданнях України, у тому числі одне видання входить до міжнародної наукометричної бази SCOPUS, та 8 публікації у матеріалах конференцій.

Вказані публікації, в цілому, відображають основний зміст дисертації, об'єм і характер проведених теоретичних та експериментальних досліджень.

#### **7. Оцінка змісту дисертації та дотримання принципів академічної доброчесності**

Дисертаційна робота написана автором самостійно. За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Нурадінова І.А. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 136 Металургія та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Металургія».

За результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння можна зробити висновок, що дисертаційна робота Нурадінова Ібрагіма Абдійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

Текстові співпадіння складають – 14 % (найбільша схожість група посилань 1,75 % та 1,71%) містить власні назви, загальні твердження в літературному огляді, а також посилання на деякі речення з власних тез доповіді у збірнику конференцій та наукової статті.

Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело, тому робота є оригінальною та не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень

#### **8. Загальні зауваження по роботі**

1. Стор. 25 автор описує універсальність математичних моделей для інших типів металевих розплавів. В той же час відсутній опис для яких саме «інших» металевих сплавів.

2. Рис. 2.1 Схема лабораторної установки. Автор в роботі установки зазначає циркуляцію води в замкненому об'ємі, яка з часом може нагрітися до 100 °С. Швидкість руху води в каналі зазначено в широкому діапазоні. В роботі не зазначено час протікання дослідження, яка температура води досягається і з яким кроком змінювали швидкість руху в каналі.

3. В описі дослідження стор. 73 відсутня інформація щодо діаметру термоелектронів ХА та час реакції системи на отримання першого результату. Під час проведення дослідження не враховано інерційність системи.

4. Табл. 3.3 значення розраховані температури мають високу точність, що не може бути досягнуто на виробництві. Автору доцільно було б округлити значення або надати величину похибки вимірювання з урахуванням точності вимірювання термопари типу ХА.

5. Автор проводить дослідження швидкості руху в каналі від 0,2 до 10 м/с (стор. 65), в той же час на стор. 97 власні результати дослідження підтверджує відомими значеннями від 1,5 до 2,0 м/с. Таким чином в роботі відсутні пояснення збільшення швидкості руху в 5 разів.

6. Деякі графічні залежності (розділ 3 та 4) не мають підписів вісей, що ускладнює сприйняття інформації.

7. Висновки до розділу п. 3.3 та 3.4 мають загально-відому інформацію, автору доцільно було б їх підсилити результатами власних досліджень.

8. В п. 4.2 автор помилково посилається на методику дослідження на п.2.7.

9. Без представлення кривих охолодження не можливо перевірити достовірність висновків щодо швидкості охолодження 1000 °С/с. Автор не пояснює вибір температури заливання сплавів (табл. 4.2). Відсутні пояснення по іншим матеріалам форми, оскільки автор відзначає «...згідно з літературними даними швидкість охолодження металу, що твердне, під час валкової розливки залежить від температури розплаву, що розливається, і перебуває в межах 1000÷1700 °С/с [34, 49]», виникає питання до коректності підбору матеріалу форми.

10. В структурі роботи зазначено 2 додатки, але в роботі наявний 1 додаток.

Зроблені зауваження не знижують цінності досягнутих результатів, наукового та практичного рівня дисертаційної роботи.

### **Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам**

В цілому дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Нурадїнова Ібрагіма Абдїйовича на тему «**Валкова розливка високоміцних алюмінієвих сплавів для одержання прокату з підвищеними механічними властивостями**» є завершеною науковою роботою, має теоретичне і прикладне значення. Дисертаційна робота містить одержані автором науково обґрунтовані результати, що в сукупності дозволяють вирішити важливу задачу по створенню нових технологій валкової розливки-прокатки високоміцних алюмінієвих сплавів з широким інтервалом кристалізації для отримання листової металопродукції для авіабудування, що має суттєве значення для механічної інженерії, зокрема металургії та матеріалознавства.

Дисертація Нурадїнова Ібрагіма Абдїйовича є завершеною кваліфікаційною науковою роботою, що має внутрішню єдність, характеризується системністю



нових знань щодо об'єктивних законів природи, базується на фундаментальних положеннях сучасної науки і свідчить про особистий внесок автора в науку, містить нові науково обґрунтовані результати, які не викликають сумніву.

Мова та стиль дисертації відповідають вимогам до науково-технічних текстів та публікацій.

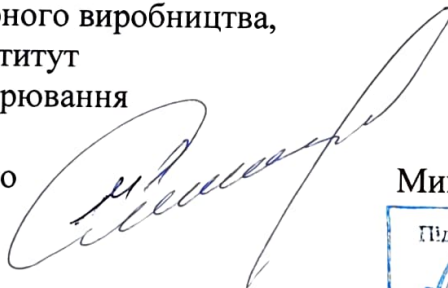
Відмічені недоліки роботи не мають вирішального значення щодо формулювання наукової новизни та оцінки дисертації в цілому.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Нурадінов Ібрагім Абділович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 136 Металургія.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри ливарного виробництва,  
Навчально-науковий інститут  
матеріалознавства та зварювання  
ім. Є.О. Патона,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського



Михайло ЯМШИНСЬКИЙ

