

ВІДГУК

офіційного опонента Лисенко Тетяни Володимирівни
на дисертацію Донія Олександра Миколайовича

«КОМП'ЮТЕРНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ У ЛИВАРНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВАХ ПРИ ЇХ КРИСТАЛІЗАЦІЇ»,

яка подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за
спеціальністю 05.16.04 – ливарне виробництво

Актуальність теми дисертації та відповідність роботи спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво

Одним із шляхів поліпшення конкурентоспроможності продукції ливарного виробництва є розробка нових та удосконалення наявних технологічних процесів. Зараз в ливарному виробництві розроблено математичні моделі, які дозволяють розраховувати теплопередачу при формуванні виливків, швидкість переміщення фронту кристалізації тощо. Вагомий внесок в цьому напрямку внесли роботи Вейника А. І., Баландіна Г. Ф. та інших. Однак існуючі моделі не дозволяють досить точно описати процес утворення структури литого металу. Первинна структура, яка формується при кристалізації, суттєво впливає на властивості сплаву в твердому стані. Це пояснюється тим, що процеси тверднення та утворення кристалів залежать від теплофізичних та хімічних взаємодій, які відбуваються майже одночасно. Математичний опис таких процесів надто складний. Тому застосування методів імітаційного моделювання та створення комп'ютерних моделей дозволить досліджувати особливості процесів структуроутворення у виливках при кристалізації та свідомо підійти до удосконалення ливарних технологій.

Сучасні уявлення про зародження і зростання твердої фази здебільшого ґрунтуються на положеннях рівноважної термодинаміки і тому не враховують умови кристалізації сплавів в реальних ливарних процесах. У цьому зв'язку дослідження впливу теплофізичних дій на процеси утворення кристалів та їх подальше зростання в сплавах, що тверднуть у різних умовах охолодження, є вельми важливими.

Для одержання виливків із заданими характеристиками міцності необхідно здійснювати своєчасний контроль стану рідкого металу

(температура, наявність в ньому модифікатора, умови охолодження сплаву ті та ін.). Використання для контролю за станом розплаву термічного аналізу, який ґрунтується на реєстрації типових ефектів твердіння сплавів, є найбільш перспективним. Відомі математичні моделі, які зв'язують зміни температури сплаву при твердінні сплаву з процесами кристалізації та формування структури у виливках.

Створення наукових основ і розроблення математичних та комп'ютерних моделей кристалізації сплавів з метою управління структурою і властивостями литого металу відповідають вимогам сучасного матеріалознавства та є актуальними

Матеріали наукових досліджень Донія О.М. за змістом відповідають спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво.

Актуальність теми дисертаційної роботи підтверджується також тим, що вона виконувалася виконувалась в рамках планів робіт НДЛ "Керування якістю рідких металів і сплавів" кафедри "Металознавства і термічної обробки металів" інженерно-фізичного факультету НТУУ "КПІ" відповідно до програм Міністерства освіти і науки України: "Розробити програмні засоби автоматизованого технологічного експрес-контролю та управління якістю рідких металів для виробництва металопродукції з гарантованим складом і властивостями" (№ державної реєстрації (ДР) 0194U000287), "Розробити та освоїти автоматизовані прилади технологічного експрес-контролю якості рідких металів і сплавів з метою виключення браку литва та злитків у металургійному та машинобудівному виробництві" (№ ДР 0194000848), "Розробка експериментальної системи оперативного контролю та управління фазовими перетвореннями в металах та сплавах з регламентованим вмістом водню з метою отримання гарантованих службових властивостей виробів" (№ ДР 0194000859), "Вимірювальна система дистанційного контролю температури рідких та твердих провідних матеріалів на основі термошумових перетворювачів з магнітним зв'язком для технологій металургійного виробництва" (№ ДР 0194U000288), "Локальна система комплексного аналізу та оперативного контролю якості продукції металургійного та ливарного виробництва машинобудівного підприємства" (№ ДР 0194U000288), "Моделювання фазових перетворень при кристалізації і термічній обробці евтетичних структур та розробка композиційних матеріалів для вузлів тертя" (№ ДР 0100U000871).

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

Високий ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Донія О.М. забезпечується глибоким критичним аналізом іноземних та вітчизняних літературних джерел, а також логічним підходом до реалізації створення математичних та комп'ютерних моделей для вивчення процесів формування структури у ливарних алюмінієвих сплавах при їх кристалізації.

У першому розділі досить повно виконано аналіз літературних джерел з визначенням мети та завдань дослідження.

Визначено основні чинники, що впливають на процеси формування первинної структури у сплавах, які забезпечують високу якість металовиробів. На сучасному етапі розвитку промисловості України однією з головних задач є підвищення конкурентоспроможності металопродукції з міцнішими властивостями на рівні світових стандартів. На структуру та властивості литого металу значно впливають умови кристалізації сплавів.

Проаналізовано існуючі системи контролю стану рідкого металу та прогнозу заданих структури і властивостей металів у закрісталізованих сплавах, які побудовані на основі термічного аналізу.

Розглянуто можливість розробки термошумового датчика температури, в основу якого покладено закон Найквіста.

Проведено аналіз методів дослідження процесу кристалізації

Розглянуто також математичні моделі кристалізації металів і сплавів, які розроблені на базі динамічної теорії твердіння металевих виливків

За результатами аналізу існуючих систем і способів для вивчення стану розплавленого металу та процесів кристалізації сплавів визначено мету та задачі у даній роботі.

В другому розділі проведено узагальнення принципів методики побудови підсистеми комп'ютерного термічного аналізу для прогнозу стану металевих розплавів на основі алюмінію.

В роботі за результатами аналізу існуючих датчиків для систем дослідження стану ливарних розлавів визначили основні вимоги до конструкції відбірника доз металу.

Визначено загальну похибку вимірювального каналу підсистеми КТА, величина якої відповідає розрахунковій.

Автором для системи КТА запропоновано безконтактний термошумовий датчик для вимірювання температури, який складається з контура, що магнітно

зв'язаний з металом, який досліджується, та з перетворювача напруги шуму у контурі. Розраховано передаточну характеристику датчика та максимальну величину шумів на виході вимірювального контуру, виконано оцінку чутливості у динамічному діапазоні. Показано можливість безконтактного вимірювання температури рідкого та закрісталізованого сплаву за допомогою термошумового термометра.

У третьому розділі наведено принципи математичної обробки кривих охолодження та розроблено математичні моделі, які застосовуються в підсистемі КТА інформаційно-технологічного комплексу для прогнозування структури і властивостей у литих виробках.

Наведено результати випробування підсистеми КТА, які показують доцільність її застосування в лабораторних та промислових умовах.

Прогноз властивостей і управління процесом їх формування у сплавах з використанням КТА здійснюється за допомогою математичних моделей, які пов'язують параметри кристалізації, що визначаються по КО із службовими характеристиками сплавів. Ці моделі є регресійними рівняннями, які створені за експериментальними даними, одержаними за допомогою методу найменших квадратів, адекватність яких перевіряли по таблиці залишків.

Автором для сплавів системи Al-Si розроблено математичну модель для визначення масової частки кремнію у доевтектичних сплавах АК7, АК8, АК9 з використання їх температури ліквідус і солідус.

У четвертому розділі наведено результати випробування підсистеми КТА, які показують доцільність її застосування в лабораторних та промислових умовах.

Наведений прогноз властивостей і управління процесом їх формування у сплавах з використанням КТА здійснюється за допомогою математичних моделей, які пов'язують параметри кристалізації, що визначаються по КО із службовими характеристиками сплавів. Ці моделі є регресійними рівняннями, які створені за експериментальними даними, одержаними за допомогою методу найменших квадратів, адекватність яких перевіряли по таблиці залишків.

В роботі для сплавів системи Al-Si розроблено математичну модель для визначення масової частки кремнію у доевтектичних сплавах АК7, АК8, АК9 з використання їх температури ліквідус і солідус.

Автором для впровадження системи КТА у виробництво рекомендовано ввести у існуючі технології, що створені відповідно нормативним документам. В роботі наведено варіант включення таких системи в технологічний процес

плавлення і розливання алюмінієвих сплавів. На всьому технологічному циклі виділені важливі етапи: початки процесів, плавлення, рафінування і модифікування сплавів, розливання металу в форми або в роздавальні печі та їх закінчення. За допомогою системи КТА можна оперативнo визначити склад металу при його плавленні. Також за допомогою зануреного у розплав пробовідбірника можна контролювати його температуру. При цьому точність вимірювання температури буде вище, ніж у існуючих промислових приладів.

У п'ятому розділі розроблено систему імітаційного моделювання процесу структуроутворення при твердінні виливків, яка є алгоритмом, що враховує основні уявлення про кристалізацію металів та сплавів.

Розглянувши кристалізацію чистого металу або бінарного сплаву виділено основні макро фізичні процеси, що визначають її хід.

Вперше розроблена імітаційна модель процесу структуроутворення в бінарних сплавах при їх кристалізації з використанням кліткового автомату, робота якого керується зовнішніми умовами охолодження виливка.

Після розробки моделі показано, що імітаційна модель процесу структуроутворення при кристалізації алюмінію за візуальною схожістю реальних структур з модельними характерними ознаками процесу кристалізації є адекватною.

Аналіз структури алюмінію, який одержаний за допомогою моделі показує, що при різних умовах кристалізації змінюється структури твердого металу. При цьому можуть утворитися класична тризонна структура, зона транскристалізації або дисперсна структура в литому металі.

У шостому розроблено методику підготовки моделі для проведення обчислювального експерименту та представлено результати дослідження процесів структуроутворення у сплавах з допомогою імітаційного моделювання при їх кристалізації.

Показано, що обчислювальний експеримент за допомогою системи імітаційного моделювання структуроутворення у сплавах надає можливість визначати кількісні параметри процесу кристалізації, що зробити в реальних умовах виробництва литих виробів практично неможливо.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів, отриманих в дисертаційній роботі, забезпечують:

- застосування методів контролю і прогнозування структури сплавів під час кристалізації;
- застосування методів контролю і прогнозування властивостей металів у твердому стані;
- оцінка стану ливарних розплавів із застосуванням підсистеми термічного аналізу;
- методи імітаційного моделювання процесу утворення структури при кристалізації;
- комп'ютерне моделювання кристалізації металів і сплавів;
- застосування отриманих моделей та закономірностей та для формулювання наукової новизни дисертаційної роботи;
- дослідно-промислові перевірки для ливарних підприємств, на яких згідно двох актів підтверджено ефективність використання підсистеми комп'ютерного термічного аналізу в якості експрес аналізатора стану розплавів алюмінієвих сплавів.

Основні наукові результати дисертаційної роботи

1. Вперше за результатами аналізу математичних рівнянь, які описують переміщення фронту кристалізації та розповсюдження хвилі переключень в двовимірному клітковому автоматі, встановлено залежність критичного розміру зародка при кристалізації металів від теплопровідності, питомої теплоємності, густини та швидкості охолодження розплаву.

2. Вперше розроблені наукові принципи створення комп'ютерних моделей кристалізації як чистих металів так і бінарних сплавів систем евтектичного типу. Зазначені принципи базуються на поєднанні застосування кліткових автоматів з математичними моделями теплопередачі та дифузії і дозволяють в обчислювальному експерименті спостерігати за структуроутворенням, а також досліджувати динаміку утворення центрів кристалізації за різних умов охолодження металу у рідкому, а також у твердо-рідкому станах.

3. Вперше на прикладі чистого алюмінію, а також сплавів Al + 8,2 % Si та Al + 3,8 % Cu за допомогою комп'ютерної моделі кристалізації металів, встановлено вплив швидкості охолодження на закономірності та динаміку утворення центрів кристалізації.

4. Отримала подальший розвиток динамічна теорія кристалізації металевих сплавів внаслідок уточнення формул розрахунку за кривою

охолодження кількості твердої фази і швидкості її росту, а також створена математична модель кристалізації бінарного сплаву.

5. Вперше доведена можливість створення безконтактного індуктивного термошумового перетворювача для вимірювання температури металів в рідкому та твердому станах.

Практичне значення отриманих результатів. На основі теоретичних та експериментальних досліджень створений інформаційно-технологічний комплекс прогнозування структури і властивостей литих деталей, який складається з системи імітаційного моделювання процесу кристалізації сплавів та комп'ютерного термічного аналізу.

Запропоновано метод визначення режимів процесу тверднення виливків з використанням аналізу структуроутворення в них та комп'ютерної моделі кристалізації сплавів в рамках обчислювального експерименту. Новий метод дає змогу раціонально впливати на структуру виливків шляхом зміни технологічних режимів і керуючих впливів на сплави.

Створений пакет прикладних програм для ЕОМ на основі розробленої методики, яка впроваджена в навчальному процесі інженерно-фізичного факультету Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", використовується студентами при виконанні лабораторних та курсових робіт за дисциплінами, що пов'язані з процесами кристалізації металів та сплавів.

Для виробничих умов доцільно доповнити створеним інформаційно-технологічним комплексом засоби контролю за процесами плавлення і формування виливків із Al-Si сплавів. Це дозволить оперативно управляти процесом формування литого металу на всіх етапах його одержання за різними технологіями.

Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи в наукових публікаціях

Представлені результати є підсумком роботи, що проведена автором особисто і під його керівництвом зі співробітниками та студентами НТУУ "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", а також у співдружності з працівниками інших інститутів і підприємств України. Матеріали роботи докладені та обговорені: IX Міжнародна науково-практична конференція «Нові матеріали і технології в машинобудуванні - 2017» Україна, Київ: НТУУ «КПІ» (30 – 31 травня 2017 р.); Міжнародна наукова конференція «Матеріали для роботи в екстремальних умовах - 6» Україна, Київ: НТУУ

Розроблено імітаційну модель кристалізації, що розглядає розплав як мережу ймовірнісних кліткових автоматів тригерного типу, для реалізації якої створено математичний апарат і програмне забезпечення.

Визначено оптимальне співвідношення критичного розміру зародка з коефіцієнтами теплопровідності, питомої теплоємності, густини та швидкості.

Автор виконав комплекс обчислювальних експериментів, в яких для алюмінію і сплавів на його основі систем Al-Si та Al-Cu досліджені процеси гомогенного утворення центрів кристалізації (кількість та швидкість утворення) та вплив на них умов охолодження та модифікування.

Узагальнені принципи розроблення систем комп'ютерного термічного аналізу та експрес контролю металевих розплавів. Зокрема, визначені основні параметри вимірювального каналу (оцінені необхідні точність, роздільна здатність і частота дискретизації), обґрунтовані конструктивні дані первинних перетворювачів і засоби стабілізації параметрів. Розроблені алгоритми математичної обробки кривих охолодження (первинна обробка термограми; варіанти математичних моделей процесів кристалізації малих доз чистого металу та бінарних сплавів; алгоритм розрахунку теплофізичних параметрів твердіння дослідних зразків), а також алгоритми і програми для керування процесами формування литих виробів. Доведено, що створений інформаційно-технологічний комплекс дозволяє прогнозувати структуру та властивості сплавів на етапах їх приготування.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 49 наукових праць, з них 32 статі у наукових виданнях (з них 20 у наукових фахових виданнях України, 10 статей у виданнях іноземних держав, 7 статей у виданнях, які включені до міжнародної наукометричної бази Skopus, 6 включені до міжнародної наукометричної Web of Science та 17 статей у виданнях, які включені до міжнародної наукометричної бази Google Scholar), 1 препринт і 16 праць – тези доповідей в збірниках матеріалів Міжнародних та республіканських конференцій.

Аналіз публікацій дає підставу вважати, що наукові положення, висновки та рекомендації, які отримані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені в наукових працях.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації й достатньо повно відбиває основні наукові результати, отримані здобувачем.

Рекомендації щодо використання результатів дослідження

Результати промислового випробування системи комп'ютерного термічного аналізу в умовах ДП «Металургія» (м. Київ) та ВАТ «Артемаш» (м. Київ) підтверджують її ефективність для експрес аналізу стану алюмінієвих розплавів. Система імітаційного моделювання кристалізації включена в учбовий процес у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (м. Київ) та в Сумському державному університеті (м. Суми). Результати досліджень доцільно застосовувати в навчально-наукових програмах ВНЗів для підготовки спеціалістів в галузі кристалізації металів.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. На мою думку назва дисертації, об'єкт та предмет дослідження не зовсім корелюються між собою. Як що предметом дослідження є структуроутворення алюмінієвих виливок, то назва роботи повинна звучати так: «Прогнозування структури у ливарних алюмінієвих сплавах за рахунок використання комп'ютерних моделей.»
2. На стр. 103 наведена методика визначення похибки вмісту кремнію у ливарних Al-Si сплавах. Не зрозуміло з яких міркувань можна вважати коректною цю похибку и у сплавах Al-Si-Mg.
3. На стор. 130 наведена розроблена математична модель термощумового перетворювача. В роботі не сказано, яким чином була підтверджена адекватність цієї моделі.
4. На стор. 151 наведена математична модель затвердіння невеликої порції рідкого металу, для опису теплового потоку з поверхні проби в якій використовується закон Ньютона – Ріхмана. Не вказан температурний діапазон твердіння проби, для якого можна використовувати цю залежність.
5. Не зрозуміло, з яких міркувань автор вибирав марку сплавів для різних досліджень. Ак7, Ак8, Ак9 - для визначення масової частки кремнію, Ак 12 – для прогнозу механічних властивостей закристалізованого сплаву.
6. Розділ 4. В роботі нема пояснень, чи можливо впроваджувати систему КТА у виробництво при різних видах лиття, наприклад при литті під тиском.
7. Розділ 5. Не зовсім зрозуміло, чи імітаційна модель кристалізації металів та сплавів, яка розроблена автором, є універсальною, т.т.

- чи можна використовувати її для доєвтектичних та заєвтетичних алюмінієвих сплавів, чи ні.
8. Розділ 6. На стор.319 наведені результати моделювання формування структури сплаву Al- 3,8% Cu в залежності від швидкості охолодження від 0,17 до 0,67 град/с. Не зрозуміло, чому вибраний саме цей діапазон швидкостей.
 9. Автором неведена багата кількість математичних моделей та досліджень. Для всебічного розуміння проведеної роботи бажано було б створити класифікацію, яка б зв'язувала розроблені моделі, марки сплаву, вид ливарної форми, умови кристалізації, прогнозовану структуру виливків та їх експлуатаційні характеристики.
 10. В відповідність до чинного міжнародного законодавства і національного законодавства України будь-яка «комп'ютерна програма» відноситься до об'єктів інтелектуальної власності, а саме - до об'єктів авторського права. Нажаль, Доній Олександр Миколайович не має «Свідоцтва України про охорону авторського права» на свої програми.

Загальні висновки

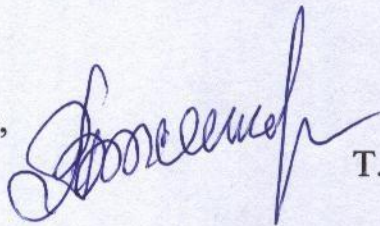
Зазначені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки та високого рівня дисертації Донія Олександра Миколайовича «КОМП'ЮТЕРНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ У ЛИВАРНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВАХ ПРИ ЇХ КРИСТАЛІЗАЦІЇ» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.16.04 – ливарне виробництво. Дисертаційна робота є завершеною науково-дослідною працею.

Дисертаційна робота містить не захищені раніше наукові положення і одержані автором нові наукові результати в області теорії та практики ливарного виробництва, які вирішують важливу науково-прикладну проблему створення комп'ютерних моделей для прогнозування структури у ливарних алюмінієвих сплавах при їх кристалізації.

Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 10, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету

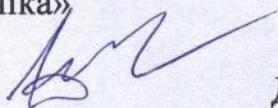
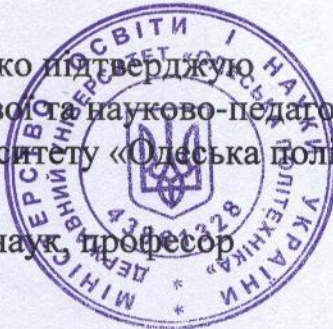
Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, щодо докторських дисертацій, а її автор, **Доній Олександр Миколайович**, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.04 – ливарне виробництво.

Офіційний опонент
завідувач кафедри технології та
управління ливарними процесами
Державного університету
«Одеська політехніка» МОН України,
доктор технічних наук, професор



Т. В. Лисенко

Підпис Т. В. Лисенко підтверджую
Проректор з наукової та науково-педагогічної роботи,
Державного університету «Одеська політехніка»
МОН України
доктор технічних наук, професор



Д.В.Дмитришин