

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата технічних наук, доцента,
доцента кафедри комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки,
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Турти Марини Валентинівни

на дисертаційну роботу

Честних Миколи Володимировича

«Матрична формалізація розподілу характеристик електромагнітного поля у металевому розплаві при протіканні електричного струму»,

яка подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Актуальність теми дослідження

Забезпечення високої якості продукції ливарного виробництва є складовою загального тренду підвищення ефективності переробки викопних природних ресурсів у контексті обмеженості їх наявної кількості. Серед методів підвищення якості литого металу кондукційна електрострумова обробка (КЕСО) розплавів за показниками «ціна-якість» є одним з найбільш перспективних. Ефективність КЕСО залежить від багатьох параметрів (параметрів джерел струму, електрофізичних характеристик об'єкта обробки, типів електродних систем, технологічних регламентів обробки тощо), які визначають топологію і характеристики електромагнітного поля, що впливають на процеси перемішування металу і показники якості виливок.

Процеси ливарного виробництва є багатоваріантними, багатофакторними та багатопараметричними і традиційно використовують емпіричні технологічні регламенти. Побудова науково-обґрунтованих регламентів можлива на основі результатів математичного моделювання, що може проводитися із застосуванням різних розрахункових принципів визначення топології і характеристик електромагнітного поля, жоден з яких не є універсальним. Тому розширення функціональних можливостей методів математичного моделювання процесів при КЕСО задля отримання верифікованих результатів є актуальним питанням, зокрема важливою є задача удосконалення методу розбиття масивних провідників на елементарні комірки для матричної 2D/3D формалізації характеристик електромагнітного поля у металевому розплаві при його обробці електричним струмом, розробка відповідних алгоритмів керування інтенсивністю електротехнологічних процесів навантаження об'єкта обробки.

Новизна отриманих результатів

В дисертаційній роботі Честних Миколи Володимировича наведено три пункти наукової новизни:

1. Здійснено розвиток методу розбиття масивних провідників на елементарні комірки (М-К) в частині формалізації розподілу характеристик

електромагнітного поля, що дозволило досліджувати процеси електрострумової обробки металевих розплавів з урахуванням особливостей їх енергетичного навантаження для визначення ефективних режимів обробки.

Перший пункт новизни демонструє розвиток математичної моделі масивних провідників, призначеної для моделювання процесів електрострумової обробки металевих розплавів. Однак в представленій моделі відсутні показники енергетичного навантаження і показники, які характеризували б ефективність режимів обробки. У фізичній моделі наявне визначення об'ємної електромагнітної сили, яке відсутнє в математичній моделі. Ефективність режимів обробки визначається процесом перемішування розплаву, тобто передбачає врахування в моделі не тільки топології поля і розподілів потенціалів і напруженостей електромагнітного поля, а й діючих сил, моментів, густини розплаву. Тому цей пункт доцільно було б викласти у наступному вигляді: *Здійснено розвиток методу розбиття масивних провідників на елементарні комірки (М-К) в частині формалізації розподілу характеристик електромагнітного поля, що дозволило досліджувати процеси електрострумової обробки металевих розплавів з урахуванням особливостей топології і параметрів електромагнітного поля при різних технологічних процесах.*

2. Вперше запропоновано спрощену концепцію наскрізного енергетичного керування інтенсивністю електротехнологічних процесів навантаження об'єкта обробки задля отримання виливків високої якості.

Другий пункт наукової новизни стосується керування якістю вихідного продукту – виливок. Отримані в роботі результати віртуальних і фізичних експериментів дозволяють здобувачу наполягати на науковому обґрунтуванні запропонованої концепції керування інтенсивністю електротехнологічних процесів, однак в роботі відсутні статистично доведені залежності між параметрами енергетичного навантаження і показниками якості отриманих виливків. Тому, можливо, правильніше було б викласти у наступній редакції: *Вперше запропоновано спрощену концепцію наскрізного енергетичного керування електротехнологічними процесами обробки металевих розплавів на основі експериментально виявлених залежностей задля керування якістю виливків.*

3. Визначено умови та фактори, за яких застосування удосконаленого М-К забезпечує достатній рівень верифікації отриманих результатів, що дає можливість ефективного використання даного методу при моделюванні процесів електрострумової обробки розплавів

Верифікація результатів моделювання проведена шляхом фізичного експерименту в діапазоні частот слідування імпульсів до 3,2 кГц, тому рекомендації щодо частот до 125 кГц не можна вважати достатньо обґрунтованими. Більше до цього пункту зауважень немає.

В цілому можна зробити висновок, що робота Честних Миколи Володимировича має ознаки наукової новизни в достатньому об'ємі для присудження здобувачу наукового ступеня доктора філософії згідно пункту 6 «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.

Відповідність теми дисертації та рівня наукової обґрунтованості результатам досліджень

Тема дисертації у загальному вигляді відповідає наведеним у ній дослідженням.

Рівень обґрунтованості результатів досліджень в цілому базується на використанні досвіду попередніх досліджень, які пройшли відповідну апробацію та являються визнаним, як об'єктивні та достовірні; на загальній теорії електромагнітного поля і теорії керування; на використанні загальноновизнаних прикладних програмних засобах, зокрема LtSpice.

Слід також відзначити, що окремі теоретичні положення, які отримані у дисертаційній роботі, перевірялися на адекватність за допомогою проведення експериментальних досліджень, які якісно обґрунтували основні результати, які були отримані теоретично.

Отже, дисертаційна робота Честних Миколи Володимировича містить достатню обґрунтованість наукових результатів досліджень.

Рівень виконання поставленого наукового завдання

Наукове завдання дисертаційної роботи Честних Миколи Володимировича складається з наступних завдань:

1. Аналіз методів моделювання електромагнітного поля у масивних металевих провідниках при їх обробці кондукційним електричним струмом

Перший пункт виконано частково, тому що формування математичної моделі (ММ), оскільки не розглянуті особливості моделювання електромагнітного поля у масивних металевих провідниках при їх обробці кондукційним електричним струмом різної частоти.

2. Визначення особливостей використання методу розбиття масивних провідників на елементарні комірки (М-К) в умовах протікання електричного струму різного типу через масивний провідник.

Другий пункт можна вважати виконаним, хоча в алгоритмі моделювання електромагнітних полів у розплаві при його електрострумовій обробці із застосуванням М-К доцільно було б конкретизувати критерії, за якими обирається площа перерізу і розміри комірок.

3. Розробка методологічних засад та програмної реалізації матричної формалізації розподілу електричних характеристик у металевому провіднику при застосуванні М-К для моделювання у 2D та 3D форматах.

Третій пункт завдання можна вважати в цілому виконаним, хоча вибір середовища реалізації математичної моделі в роботі не обґрунтовано.

4. Перевірка удосконаленого методу М-К шляхом порівняння результатів моделювання процесів при обробці струмом металевого розплаву з відповідними результатами, отриманими методом МСЕ і методом фізичного моделювання.

Четвертий пункт завдання виконано частково, оскільки на математичній моделі досліджувалися частоти струмів до 200 кГц, а на фізичній моделі – частоти слідування імпульсів до 3,3 кГц.

5. Розробка алгоритму керування інтенсивністю електротехнологічних процесів навантаження об'єкта обробки задля отримання виливків високої якості.

П'ятий пункт завдання можна вважати в цілому виконаним, хоча коректніше було б використати у розробленому алгоритмі статистичні залежності між параметрами енергетичного навантаження і показниками якості отриманих виливків, отримані в результаті фізичного експерименту.

6. Розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо проєктування технологічних процесів електрострумової обробки масивних провідників у технологіях ливарного виробництва.

Науково обґрунтовані рекомендації щодо проєктування технологічних процесів електрострумової обробки розплавів як масивних провідників можна вважати в цілому розробленими, хоча видається представляти ці рекомендації у вигляді правил *modus ponens*.

Таким чином, можна вважати, що поставлені у дисертаційній роботі Честних Миколи Володимировича завдання в цілому вирішені.

Рівень оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності

Честних Микола Володимирович показав наявність базових знань та вмінь, які потрібні для проведення наукових досліджень, здатність ґрунтовно планувати і послідовно отримувати верифіковані наукові результати.

В першому розділі дисертаційної роботи проведено аналіз стану розроблення проблеми, зокрема, особливостей кондукційної електрострумової обробки розплавів алюмінієвих сплавів різними типами струмів і методів моделювання цих процесів, обґрунтовані задачі дослідження. Доведено, що використання методу розбиття масивних провідників на елементарні комірки може суттєво доповнити науковий доробок щодо кондукційної електрострумової обробки розплавів алюмінієвих сплавів.

В другому розділі роботи розроблені розрахункові алгоритми розбиття масивних провідників на елементарні комірки для моделювання розподілу електромагнітних полів у 2D/3D форматах та підходи до їх реалізації.

Третій розділ роботи присвячено розробці парадигми спрощеної наскрізної системи енергетичного керування якістю литого металу у технологіях ливарного виробництва при застосуванні енергетичних методів обробки розплаву, яка передбачає окремі процедури керування для трьох стадій: проєктування, виготовлення, споживання. Запропонована система керування на стадії проєктування дозволяє визначати на базі експериментальних даних та імітаційного моделювання параметри та

архітектуру технологічного модуля, знаходити обґрунтовані раціональні практичні рішення для технологічних регламентів, а на стадії виготовлення – вирішувати проблему забезпечення необхідних параметрів технологічного процесу шляхом регулювання за відхиленням величини енергії, яка вводиться у розплав.

У четвертому розділі роботи наведено результати експериментальних досліджень декількох режимів електрострумової обробки розплаву алюмінієвого сплаву АК7, які підтвердили ефективність енергетичного регулювання параметрів розплаву з точки зору скорочення енерговитрат і позитивний вплив на структуру і механічні властивості отриманих виливків.

Також слід відзначити наявність поодиноких відхилень від вимог та правил оформлення дисертаційних робіт (наприклад, с.38), але всі вони носять обмежений характер, що суттєво не впливає на загальну якість викладеного матеріалу.

Таким чином, можна констатувати логічний та ґрунтовний підхід до наукового дослідження обраної теми дисертаційної роботи, а також достатній рівень володіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Повнота викладення положень дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертації висвітлені у 9 публікаціях, зокрема у 6 статтях (з яких: 3 – у журналах, які індексуються у базі Scopus; 2 – у журналі, що входить до переліку фахових наукових видань України). Дві публікації зроблені у матеріалах міжнародної науково-технічної конференції, і одна публікація – у матеріалах всеукраїнської науково-технічної конференції.

Пункти наукової новизни дисертаційної роботи повністю висвітлені в опублікованих статтях, а кількість публікацій відповідає пункту 8 «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.

Відсутність порушення академічної доброчесності

За результатами вивчення рукопису дисертаційної роботи Честних Микола Володимировича, а також аналізу наданого їм звіту щодо перевірки тексту рукопису електронним сервісом Turnitin від 21.04.2025 р., порушень академічної доброчесності не було встановлено.

Використані здобувачем окремі наукові положення і результати інших науковців мають посилання на відповідні джерела.

Зауваження щодо змісту дисертаційної роботи

Враховуючи достатній рівень представлення теоретичних та експериментальних результатів наукових досліджень, слід відзначити наступні недоліки, питання та недостатньо обґрунтовані аспекти дисертаційної роботи:

1. У «Переліку скорочень, умовних позначень, одиниць і термінів»

відсутні окремі позначення, зокрема об'ємна електромагнітна сила (с.99).

2. В математичній моделі відсутнє визначення енергії, яка вводиться в розплав за час обробки і має відповідати енергії кристалізації, і визначення об'ємної електромагнітної сили, хоча сама модель не накладає ніяких обмежень на їх обчислення.

3. Можливості аналізу процесів у розплаві, які надає розроблена модель, використані неповністю, зокрема, визначені потенціали на границях комірок і відомі схеми заміщення комірок дозволяють визначати енергії, що припадають на кожную комірку, визначати відповідність цих енергій необхідній енергії кристалізації і прогнозувати якість виливку по комірках і виливку в цілому.

4. Вибір площини перерізу і розмірів комірок (с.45) в алгоритмі моделювання електромагнітних полів у розплаві при його електрострумовій обробці із застосуванням М-К здійснюється за невизначеними в роботі критеріями і правилами.

5. Результати, отримані на математичній і фізичній моделі, є важко порівнюваними, оскільки на математичній моделі досліджувалися частоти струмів до 200 кГц (рис.2.62), а на фізичній моделі – частоти слідування імпульсів до 3,3 кГц (табл.4.2).

6. Не є обґрунтованим застосування для широкого досліджуваного діапазону частот однакових схем заміщення комірок.

7. При проведенні експериментів задекларована, але не продемонстрована стабільність значення енергії, що вводиться в розплав, необхідна за розробленою парадигмою спрощеної наскрізної системи енергетичного керування.

Загальна оцінка дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Честних Миколи Володимировича на тему: «Матрична формалізація розподілу характеристик електромагнітного поля у металевому розплаві при протіканні електричного струму» є цілісною, завершеною науково-дослідною роботою, яка виконана за актуальною темою, містить теоретичні та експериментальні дослідження, які спрямовані на вирішення науково-прикладного завдання – удосконалення методу розбиття масивних провідників на елементарні комірки для матричної 2D/3D формалізації характеристик електромагнітного поля у металевому розплаві при його обробці електричним струмом; розробку відповідних алгоритмів керування інтенсивністю електротехнологічних процесів навантаження об'єкта обробки. Робота відповідає вимогам до оформлення дисертації, затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40 (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019).

Роботу позитивно відрізняє застосування сучасних програмних засобів для моделювання складних фізичних процесів, доповнених власною розробкою, та проведення експериментальних досліджень на спеціалізованій установці із залученням для аналізу результатів оптичного метало-графічного мікроскопа.

Аналіз змісту дисертаційної роботи і опублікованих праць за темою дослідження дозволяє зробити висновок, що всі пункти наукової новизни, які мають місце, належним чином відображено у роботі.

Дисертаційна робота за науковим рівнем, практичною та науковою цінністю, обґрунтованістю основних результатів, кількістю публікацій та дотриманням принципів академічної доброчесності відповідає вимогам «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, а її автор Честних Микола Володимирович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри комп'ютерних
технологій та інформаційної безпеки,
Національного університету
кораблебудування
імені адмірала Макарова

_____ Марина ТУРТИ

Підпис засвідчую:
Вчений секретар

_____ Світлана УТКІНА