

УДК 621.791.927.7

Пулька Ч.В. д.т.н., проф., Михайлишин М.С., к.ф-м.н., доц., Сенчишин В.С. к.т.н.,  
Окіпний І.Б. к.т.н., доц., Шарик М.В., Гаврилюк В.Я.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ РОЗРОБЛЕННІ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ІНДУКЦІЙНОГО НАПЛАВЛЕННЯ

Ch. Pulka Dr., Prof., M. Mykhailyshyn Ph.D., Assoc. Prof., V. Senchyshyn Ph.D.,  
I. Okipnyi Ph.D., Assoc. Prof., M. Sharik, V. Havryliuk

### THE USE OF MATHEMATICAL MODELING IN THE DEVELOPMENT OF NEW TECHNOLOGICAL PROCESSES OF INDUCTION SURFACING

**Abstract.**The paper presents the peculiarities of the application of mathematical modeling in the development of new technologies and processes of induction surfacing. On the basis of the considered mathematical models, algorithms, graphical dependencies and tabular data were obtained, which allow determining the structural dimensions of heating sources (inductors and systems), as well as the vibration parameters of parts without conducting an experiment, which allows to reduce the time and material costs associated with the development new technological processes.

Розроблення нових технологічних процесів індукційного наплавлення деталей машин є актуальною проблемою як в технологічному так і в практичному плані. Це дозволяє досягти значної економії енергії та коштів внаслідок оптимізації технологічних процесів із застосуванням засобів математичного моделювання в порівнянні із засобами експериментального підбору.

В доповіді академіка Б.Є. Патона „Проблеми зварювання на межі віків”, яка була зроблена на Міжнародній конференції „Зварювання та споріднені технології – в ХХІ столітті” в листопаді 1998 р. в м. Києві, відмічено, що при розробленні нових технологічних процесів при зварюванні, наплавленні і т.п. багато сил і енергії витрачається на проведення експериментів, які пов’язані з великими матеріальними затратами. Для їх зменшення при проектуванні нових технологічних процесів необхідно розробляти таке математичне моделювання, яке охоплювало б багатогранність явищ, що відбуваються в цьому технологічному процесі, що призведе до зменшення кількості експериментів. Цільовий експеримент в даному випадку повинен використовуватися з метою перевірки теоретичних даних.

Дана робота присвячена оптимізації процесу індукційного наплавлення шляхом застосування математичного моделювання. Даний спосіб наплавлення широко застосовується при виготовленні робочих органів ґрунтообробних машин. Це здійснюється з метою підвищення їх експлуатаційних характеристик, і в свою чергу процесу самогострювання в процесі експлуатації. Даний тип деталей мають різні конструктивні форми, тому при їх наплавленні необхідним є розроблення нових конструкцій нагрівальних систем, що потребує значних матеріальних і трудових затрат.

З метою цього авторами були розроблені математичні моделі, які дозволяють теоретично визначати та вибирати необхідні параметри нагрівальних систем із врахуванням особливостей конструкції деталей. Так, були створені теоретичні засади та рекомендації для проектування енергоощадних нагрівальних джерел і систем одночасного індукційного наплавлення по всій робочій поверхні тонких деталей і розробка нових технологій і обладнання при мінімальних термінах та матеріальних затратах для їх практичної реалізації.

Були розроблені математичні моделі для проектування енергоощадних нагрівальних джерел (індукторів, систем - індуктор, тепловий та електромагнітний екрани (ІТЕЕ) та індуктор-магнітопровід) з урахуванням їх тепло-, електрофізичних, енергетичних, механічних та геометричних параметрів з використанням енергоощадного режиму наплавлення. На їх основі створені інженерні методики розрахунку нагрівальних систем для реалізації нового напрямку технології індукційного наплавлення тонких деталей. Отримані теоретичні та експериментальні результати підтвердили обґрунтованість застосування вибраних моделей з достатньою для інженерних розрахунків і практичних цілей точністю.

На основі створених математичних моделей обґрунтовано застосування комбінованого екранування теплових та електромагнітних полів при індукційному наплавленні. Це дозволило здійснювати керування розподілом температури в процесі наплавлення плоских деталей, в тому числі замкнених, і створити однакову температуру у всій зоні наплавлення. За рахунок цього було досягнуто рівномірне розплавлення наплавлювального металу, що дозволило усунути перегрівання основного металу на торці деталей та призвело до покращення якості наплавлювального металу по всій робочій поверхні. На основі розроблених математичних моделей були сконструйовані нагрівальні системи індуктор-тепловий та електромагнітний екрани (ІТЕЕ), які дозволили скоротити час наплавлення та зекономити затрати електроенергії. На основі проведених експериментальних досліджень було підтверджено ефективність застосування системи (ІТЕЕ). Сумарна економія електроенергії при цьому складає приблизно 42...56% на один виріб.

Математичне моделювання процесу індукційного наплавлення показало, що тепла енергія, скерована на одночасне індукційне наплавлення, формується та спрямовується в екранованому тепловому полі фіксованих параметрів. Таке поле забезпечує рівномірне кероване виділення тепла в зоні наплавлення, що підвищує рівномірність товщини шару наплавленого металу на 12% в широкому спектрі їх конструктивних та експлуатаційних параметрів. На основі запропонованих моделей отримано числові результати і графічні залежності, що дозволяють підбирати конструктивні параметри індукторів і нагрівальних систем виходячи із потреб технологічного процесу. Також, це дозволяє визначати коефіцієнти екранування, за допомогою яких можна здійснювати керування температурою в зоні наплавлення.

Наступним етапом оптимізації процесу індукційного наплавлення було проведено математичне моделювання нагрівальної системи індуктор-феритний магнітопровід. Застосування такої нагрівальної системи дозволяє скоротити час наплавлення однієї деталі з 60 до 50 с та зменшити витрати електроенергії на 20% в порівнянні з індуктором без магнітопроводу. Дана технологія є ефективною при наплавленні тонких деталей переважно великих розмірів і складної конфігурації.

Крім економії енерговитрат та підвищення стабільності товщини наплавленого шару металу, даний спосіб удосконалюється в напрямку підвищення експлуатаційних характеристик наплавлених деталей. Так, з метою підвищення зносостійкості наплавленого шару, було запропоновано застосування додаткових технологічних операцій, а саме механічної вібрації деталей в процесі наплавлення. За літературними даними встановлено, що застосування вібрації призводить до подрібнення структурних складових і підвищує експлуатаційні характеристики отриманих деталей в 1,5 рази. На основі цього було розроблено розрахунково-математичну модель, яка описує зміну параметрів структури наплавленого шару металу індукційним способом залежно від співвідношення характеристик і властивостей порошкоподібних твердих сплавів та параметрів вібрації, за яких забезпечуються оптимальні розміри структурних складових наплавленого металу, що дозволяють покращити службові характеристики наплавлених

деталей. Розроблена математична модель дозволяє, в залежності від типу порошкоподібного твердого сплаву, визначати параметри вібрації (амплітуду та частоту коливань) залежно від заданих характеристик порошкоподібного твердого сплаву та розмірів заданих структурних складових наплавленого металу. Дана модель, також дозволяє прогнозувати величину структурних складових в залежності від заданих параметрів вібрації. Це дозволить застосовувати один і той же наплавлювальний порошкоподібний твердий сплав при наплавленні деталей із різними показниками зносостійкості, тобто розширити його експлуатаційні характеристики і умови експлуатації.

Враховуючи вище сказане, можна зробити висновок, що застосування математичного моделювання процесу індукційного наплавлення в разі зменшує трудові та матеріальні затрати при розробленні нових прогресивних технологій, а також дозволяє на основі розроблених моделей підбирати необхідні конструктивні параметри нагрівальних систем та режими наплавлення в залежності від конструкції деталей та експлуатаційних умов її роботи.