

УДК 004.312:621.375.826

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ ЛАЗЕРА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

Поляков В.О.

e-mail: vladyslav.poliakov2@nure.ua

Науковий керівник – к.т.н., Герасименко М.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ФОЕТ
м. Харків, Україна

Laser micromachining requires precise synchronization between the motion system and laser radiation parameters to achieve high-quality processing results. Conventional laser machining systems often suffer from limited working fields of galvanometric scanners and the separation of motion control and laser power control subsystems, which leads to productivity losses and reduced accuracy at contour junctions.

Лазерна мікрообробка матеріалів потребує точної синхронізації між рухом робочих органів установки та параметрами лазерного випромінювання, оскільки від цього залежить якість поверхні, точність геометричних параметрів і стабільність технологічного процесу. У традиційних системах обробки обмежене робоче поле гальванометричного сканера та розділення систем керування переміщенням і лазерним випромінюванням призводять до втрат часу на позиціонування та зниження точності обробки на стиках контурів [1].

Сучасні системи керування лазерними установками будуються на базі вбудованих обчислювальних платформ і високопродуктивних мікроконтролерів, що працюють під керуванням операційних систем реального часу. Така архітектура забезпечує виконання задач інтерпретації керуючих програм, керування приводами переміщення, формування сигналів керування лазером та обробки сигналів зворотного зв'язку. Для формування траєкторії руху використовуються алгоритми інтерполяції, зокрема алгоритм Брезенхема, що дозволяє ефективно обчислювати координати дискретної траєкторії при мінімальних обчислювальних витратах.

Для підвищення плавності руху та зменшення кількості зупинок під час обробки складних контурів застосовується метод попереднього аналізу блоків траєкторії (Multi-Blocks Look Ahead, MBLA). Даний підхід передбачає аналіз послідовності команд наперед та об'єднання окремих сегментів траєкторії у блоки, що дозволяє оптимізувати швидкісний профіль руху та підвищити ефективність обробки [2].

Важливою задачею високошвидкісної лазерної обробки є синхронізація переміщення багатоосьової платформи та гальванометричного сканера. Для цього застосовується розподілена

архітектура керування на базі високошвидкісних промислових мереж, що забезпечує взаємодію підсистем позиціонування і керування лазерним випромінюванням у режимі реального часу. Це дозволяє реалізувати технологію обробки «на льоту» (on-the-fly machining), за якої переміщення платформи та відхилення лазерного променя відбуваються одночасно без зупинок системи позиціонування, що значно скорочує час виконання операцій порівняно з традиційним покроковим скануванням [1].

Незмінна потужність лазера при зниженні швидкості переміщення променя, зокрема на ділянках різкої зміни траєкторії, призводить до надмірного нагріву та локального переплавлення матеріалу [3]. Для усунення цього ефекту застосовується метод динамічної адаптації потужності. У цьому випадку контролер системи керування у режимі реального часу визначає співвідношення між швидкістю переміщення променя та потужністю лазера і формує відповідні керуючі сигнали для джерела випромінювання (рис. 1) [2]. Застосування такого підходу дозволяє забезпечити більш рівномірний розподіл енергії вздовж траєкторії обробки, стабілізувати технологічний процес та зменшити ймовірність виникнення дефектів.

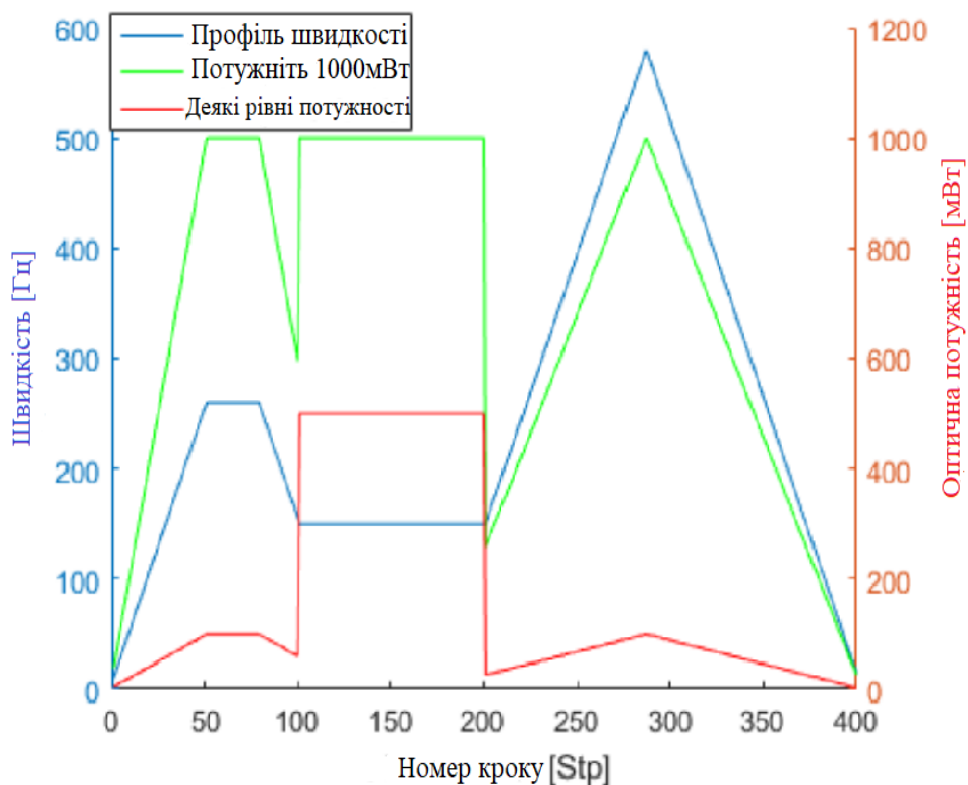


Рисунок 1 – Профіль динамічної адаптації потужності лазерного випромінювання

Використання вбудованих систем на базі мікроконтролерів відкриває широкі можливості для реалізації алгоритмів обробки сигналів та керування технологічними процесами у режимі реального часу. Такі системи забезпечують збір експериментальних даних від датчиків [4], їх попередню обробку, аналіз та формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів. Подібні підходи застосовуються у різноманітних вимірювальних, діагностичних та технологічних системах, де мікроконтролери виконують функції збору, обробки й аналізу даних у реальному часі [5], що забезпечує підвищення ефективності та адаптивності роботи складних технічних систем.

Таким чином, комплексне використання алгоритмів попереднього планування траєкторії, технології синхронізації «на льоту», динамічного керування потужністю лазерного випромінювання та статистичних методів оптимізації технологічних параметрів дозволяє підвищити ефективність і точність лазерної мікрообробки. Інтеграція систем керування на базі сучасних мікроконтролерів забезпечує швидке виконання алгоритмів, адаптивне регулювання параметрів технологічного процесу та інтеграцію обладнання у сучасні інтелектуальні виробничі системи.

Список використаних джерел:

1. Yin Y., Zhang C., Zhu T., et al. Development of a laser scanning machining system supporting on-the-fly machining and laser power follow-up adjustment // *Materials*. 2022, 15 (16): 5. 479.
2. Lopes D. Development of a laser computer numerical control machine. Electrical and Computer Engineering Department, IST, Lisbon, Portugal.
3. Wang Zh., Xu L., Su X. The design and implementation of the micro laser engraving machine based on STM32 // *Proc. of the 2016 Int. Conference on Education, Management and Computer Science*. 2016.
4. Mozgova I., Yanchevskiy I., Gerasymenko M., Lachmayer R. Mobile automated diagnostics of stress state and residual life prediction for a component under intensive random dynamic loads // *Procedia Manufacturing*. 2018. Vol. 24. P. 210-215.
5. Gerasymenko M. A mobile real-time system for stress state diagnostics and residual life prediction of structural components // *Grundlagen Der Modernen Wissenschaftlichen Forschung, IX Internationalen Wissenschaftlich-Praktischen Konferenz*. Zurich, 2026. P. 156-158.