DOI: 10.30906/mitom.2025.7.42–43
УДК 669.1.017:621.791.92:669.056.9:621.791.72:620.18

Динамическое прогнозирование макрогеометрии и анализ микроструктуры высокоскоростной лазерной наплавки

ШИЖУЙ ГО[1,2,3], ШОУВЭНЬ ДИН[1], ЦЮАНЬБИНЬ ДУ[4], ШУЙШЭН ЧЭНЬ[5], ЧУАНЬ ГО[6], ЛУЦЗЮНЬ ЦУЙ[1], ИНХАО ЦУЙ[1], СЯОЛЭЙ ЛИ[1], ЮНЦЯНЬ ЧЭНЬ[1], ЮЭ ЧЖАО[1], БО ЧЖЭН[1]

[1] Школа мехатроники и инжиниринга, Чжуньюаньский технологический университет, Чжэнчжоу, Китай (laser@zut.edu.cn)
[2] Центр совместных инноваций в области производства высокопроизводительного лазерного оборудования (Национальный “План 2011”), Чжэцзянский технологический университет, Ханчжоу, Китай
[3] Лаборатория цифрового текстильного оборудования провинции Хубэй, Уханьский текстильный университет, Ухань, Китай
[4] Хэнаньская ключевая лаборатория интеграции интеллектуального производственного оборудования для сверхтвердых материалов, Хэнаньский профессиональный колледж механики и электротехники, Хэнань, Китай
[5] Школа машиностроения и энергетики, Хэнаньский политехнический университет, Цзяоцзо, Китай
[6] Линьчжоуская Компания “Группа Тяжелого Машиностроения”, Аньян, Хэнань, Китай

Исследовано влияние параметров высокоскоростной лазерной наплавки порошком сплава на основе Fe на подложку из стали 45 на макроморфологию и микроструктуру покрытия режущей головки. Получена модель термосиловой связи двухэллипсоидного источника тепла для высокоскоростной лазерной наплавки. Результаты численного моделирования использованы для анализа распределения температурного поля в наплавке. Верификация результатов моделирования, выполненная для режима наплавки при мощности лазера 2000 Вт, скорости сканирования 6 м/мин и скорости подачи порошка 18,18 г/мин, показала их хорошее согласие с экспериментальными данными. При сравнении результатов моделирования и эксперимента установлено, что морфология покрытия близко соответствует прогнозам моделирования с максимальным отклонением его размера 8,3 %. Установлено, что скорость сканирования и скорость подачи порошка существенно влияют на ширину и высоту покрытия. На микроструктуру покрытия влияют градиент температуры и скорость затвердевания расплава. Температурный градиент в верхней части покрытия составлял примерно одну треть от градиента в нижней части, тогда как скорость затвердевания была в восемь раз выше в верхней части, что приводило к образованию мелких зерен в верхней области. В целом, высокоскоростная лазерная наплавка позволила получить более качественную и равномерно выращенную микроструктуру по всей высоте наплавки.

Ключевые слова: высокоскоростная лазерная наплавка; покрытие; макроскопическая морфология; температурное поле; микроструктура.

Статья поступила 22.11.2024 г.

Полный текст статьи будет опубликован в журнале “Metal Science and Heat Treatment”, November, 2025, V. 67, Is. 7 – 8.

Dynamic prediction of macro-geometry and microstructure analysis of high-speed laser cladding

SHIRUI GUO[1,2,3], SHOUWEN DING[1], QUANBIN DU[4], SHUISHENG CHEN[5], CHUAN GUO[6], LUJUN CUI[1], YINGHAO CUI[1], XIAOLEI LI[1], YONGQIAN CHEN[1], YUE ZHAO[1], BO ZHENG[1]

[1] School of Mechatronics Engineering, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou, 450007 China
[2] Collaborative Innovation Center of High–end Laser Manufacturing Equipment (National “2011 Plan”), Zhejiang University of Technology, Hangzhou, 310014 China
[3] Hubei Key Laboratory of Digital Textile Equipment, Wuhan Textile University, Wuhan, 430200 China
[4] Henan Key Laboratory of Intelligent Manufacturing Equipment Integration for Superhard Materials, Henan Mechanical & Electrical Vocational College, 451192 China
[5] School of Mechanical and Power Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000 China
[6] Linzhou Heavy Machinery Group Co., Ltd., Anyang 456550, Henan, China

The effect of high-speed laser cladding process parameters with Fe-based alloy powder on 45 steel substrates on the macroscopic morphology and microstructure of the cladding of cutting head is investigated. A thermal-force coupling model of a dual-ellipsoid heat source for high-speed laser cladding was established. The results of numerical simulation were then used to analyze the temperature field distribution in the cladding. Verification of simulation results performed for cladding mode at 2000 W laser power, 6 m/min scan speed and 18.18 g/min powder feed rate showed their good agreement with experimental data. Comparison of simulation and experiment results showed that the cross-sectional morphology of the coating closely matched the simulation predictions with a maximum size deviation of 8.3 %. It was found that the scan speed and powder feed rate significantly affected the width and height of the coating. The microstructure of the coating is influenced by the temperature gradient and solidification rate in the melt pool. The temperature gradient at the top of the coating was approximately one-third of that at the bottom, whereas the solidification rate was eight times higher at the top, resulting in fine grains in the upper region. Overall, high-speed laser cladding produced a refined and more uniformly grown microstructure from bottom to top.

Keywords: high speed laser cladding, coating, macroscopic morphology, temperature field, microstructure.

Original article submitted 22.11.2024.

The full article will be published in the translated version of the journal “Metal Science and Heat Treatment”, November, 2025, V. 67, Is. 7 – 8.