



Title	Numerical Modelling for Laser Welding Pool Thermal-Dynamics and Material Mixing of Cast-Iron, Carbon-steel and Ni-Alloy
Author(s)	Zhang, Renzhi
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/105485
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (Z H A N G R E N Z H I)	
論文題名	Numerical Modelling for Laser Welding Pool Thermal-Dynamics and Material Mixing of Cast-Iron, Carbon-steel and Ni-Alloy (鑄鉄・炭素鋼・Ni合金のレーザ溶接溶融池における熱流体と材料混合の数値解析モデリング)
論文内容の要旨	
Laser welding has advantages in high quality joining dissimilar materials and high precision joining with minimal thermal distortion. However, due to the difference of dissimilar material properties, laser welding can cause asymmetric molten pools, unstable keyholes, and uneven mixing. To clarify these phenomena, experimental observation and a three-dimensional CFD simulation were conducted to study laser welding of carbon steel and cast iron with a nickel-based filler wire. The model incorporated temperature-dependent properties, surface tension, recoil pressure, and droplet transfer to reproduce transient molten pool behavior. This work aims at quantitatively elucidating heat transfer, fluid flow, and interactions of three dissimilar materials (Cast-Iron, Carbon-steel and Ni-Alloy) in molten pool, also providing an in-situ visualization into keyhole formation, molten-pool thermodynamics and element transport in laser welding, as well as evaluating the influence of filler position of welding wire on molten shape. Chapter 1 outlined the fundamentals and status of laser welding, with emphasis on its application to dissimilar materials and related challenges. The progress of numerical simulation in analyzing molten pool dynamics was reviewed, and the influence of thermal–fluid behavior on joint performance was discussed. Additionally, the research purpose and objectives on this dissimilar material laser welding were introduced. Chapter 2 described the numerical model and computational methodology used in this study. The chapter outlined the geometric configuration, material properties, and governing equations applied in the CFD analysis. The boundary conditions, mesh design, and heat source model were introduced to reproduce the transient keyhole dynamics molten pool behavior and the material mixing in two dissimilar materials of the base metals. Finally, the model validation was presented by comparing simulated temperature distribution and molten pool shape with experimental results, confirming the reliability of the developed numerical approach. Chapter 3 discussed the simulation and experimental results of three dissimilar materials laser welding between carbon steel and cast iron using a nickel-based filler wire. The transient evolution of keyhole dynamics, molten pool flow, and temperature distribution were analyzed in detail. The effects of droplet transfer and Marangoni convection on element mixing and pool stability were clarified. Finally, the simulated results were compared with experimental observations to verify the model’s accuracy and reveal the mechanisms governing dissimilar metal laser welding. Chapter 4 presented the relationship between the wire feeding position and molten zone shape. Through the CFD-based mechanism study, a hybrid heat source model for temperature field prediction was developed for practical engineering applications. The developed hybrid heat source model was efficient and accurate to analyze the molten zone morphology in dissimilar laser welding. It reproduced the asymmetric molten pool shape observed in experiments and clarified the influence of welding wire feeding position on molten zone geometry. The model accurately predicted the temperature history compared with the experimental measurement. Chapter 5 summarized the main conclusions and presented the extended future research issues. summarized the main conclusions and presented the extended future research issues, highlighting the significance of the findings and their implications for improving the understanding of the welding mechanisms involved. This research, especially the developed CFD model for visualizing the dynamic flow and multi-materials mixing in the molten pool during laser welding, is beneficial for the practical application of laser welding in the improvement of welding quality.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (ZHANG RENZHI)			
論文審査担当者	(職)		氏 名
	主査	教授	麻 寧緒
	副査	教授	大沢 直樹
	副査	准教授	辰巳 晃
論文審査の結果の要旨			
レーザー溶接は、高精度な接合技術として異種金属の接合に適用されている。しかし、異種金属のレーザー溶接では、溶融池の非対称性、キーホール不安定化、材料混合の不均一性が生じる。本研究は、ニッケル系溶接ワイヤを用いた炭素鋼と鋳鉄のレーザー溶接時における物理現象の解明における、三次元CFD (Computational Fluid Dynamics) シミュレーション有効性の検証を目的としている。具体的には、実測した溶融状態の温度依存材料物性値を用いて、表面張力、蒸発反力、溶滴移動などを考慮した三次元CFDモデルを開発し、3種異材レーザー溶接におけるキーホール・溶融池形成と溶融池内の動的流動・材料混合を定量的に評価すると共に、レーザー溶接ワイヤの供給位置や溶融形状の関係を明らかにしている。 第1章では、レーザー溶接の基本事項および異材接合への応用を中心に、現状と課題を概説している。また、溶融池の動的挙動を解析する数値シミュレーションの既往研究を調査し、熱流動挙動が接合性能に与える影響に関する知見を総括するとともに、異種金属レーザー溶接に関する研究課題を明示している。 第2章では、本研究におけるCFD解析の支配方程式と計算手法を説明すると共に、数値解析モデルを構築している。熱流体の材料モデルに必要な材料物性値（固体と溶融状態の密度変化、粘度、表面張力、比熱、熱伝導率、潜熱）およびそれらの温度依存性を測定して数式化し、計算格子、境界条件、熱源モデルを決定している。そして、キーホールの非定常な挙動と溶融池内の材料混合を解析し、温度分布および溶融池形状の計算結果を実験結果と比較して、開発モデルの有効性と精度を検証している。 第3章では、炭素鋼と鋳鉄をニッケル系溶接材料でレーザー溶接する際の、キーホールの動的挙動、溶融池の動的流動、温度分布をシミュレーションし、結果を可視化し、その結果から溶滴移動およびマランゴニ対流が材料混合および溶融池の安定性に与える影響を明らかにしている。さらに、実験結果とシミュレーション結果を比較することにより、CFDモデルの精度を検証している。 第4章では、溶接ワイヤ供給位置と溶融域形状との関係を実験的に調査し、その結果に基づいて、レーザー溶接の熱源と溶接ワイヤの溶融モデルを考慮したハイブリッド熱源モデルを新たに開発している。そして、開発モデルにより実験で観察された非対称な溶融池形状が再現できることを示すと同時に、溶接ワイヤの供給位置が温度分布および溶融池形状に与える影響を明らかにしている。 第5章では、本研究の主な結論をまとめ、今後の研究課題について述べている。 本研究で開発したCFDモデルは、レーザー溶接の溶融池内における3種材料の流動および混合の再現と、計測が困難な溶融池内の複雑な物理現象の可視化を可能にするので、異材レーザー溶接の溶接性改善と溶接品質向上に有益である。 本論文の研究手法と成果は、レーザー溶接溶融池内の複雑な動的物理現象の解明のみならず、他の溶融溶接や積層造形の解析にも応用でき、高品質な溶接によるモノづくりに寄与する所が大きい。 よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。			