

Title	Development of Laser-Arc Hybrid Welding Process and Evaluation of Mechanical Characteristics of Dissimilar Materials Welded Joints
Author(s)	房, 熙善
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59174
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 ＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed >大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【164】

氏 名 房 熙 善 (Bang Hee-Seon)

博士の専攻分野の名称 博 士 (工学)

学 位 記 番 号 第 2 4 9 5 3 号

学 位 授 与 年 月 日 平成 23 年 9 月 20 日

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第 4 条第 2 項該当

学 位 論 文 名 Development of Laser-Arc Hybrid Welding Process and Evaluation of Mechanical Characteristics of Dissimilar Materials Welded Joints (レーザ-アークハイブリッド溶接プロセスの開発と異種材料溶接継手の力学的特性評価)

論 文 審 査 委 員 (主査) 教 授 金 裕 哲 (副査) 教 授 奈良 敬 教 授 鎌田 敏郎

論 文 内 容 の 要 旨

In this paper, the CO₂ laser-GMAW (Gas Metal Arc Welding) hybrid welding system has been developed and the characteristics of metallurgical and mechanical of dissimilar materials welded joints obtained by newly developed hybrid system have been investigated. Moreover, the features of residual stress and plastic strain generated by dissimilar materials welded joints have been shown for the first time.

Recently, steel structures have become larger and heavier due to advancements in construction and design technology, so there have been ongoing efforts to reduce construction work. Steel structures can be made lighter and more economically with the fabrication of structural members using dissimilar materials. Although joining of dissimilar materials is increasingly in demand, welding between dissimilar materials has been considered almost impossible by the conventional arc welding process. A notable problem in the welding of dissimilar materials is the formation of a brittle intermetallic compound layer that forms at the interface of the welded joints due to the differences in the properties of the materials. To solve this kind of the notable problem, the hybrid welding system was developed and verified the applicability of newly developed the hybrid welding system.

In Chapter 1, research background, objectives and construction of thesis were described.

In Chapter 2, the laser-arc hybrid welding process that combines the 12kW CO₂ laser beam and GMAW process for dissimilar materials, high strength steel (A1132) and stainless steel (STS304L), was developed. The hybrid welding process for dissimilar

materials was optimized by varying four parameters (welding speed, welding current, wire feeding rate, welding voltage) through Grey-based Taguchi analysis. And the welding conditions were decided by evaluating the effect of welding process variables based on the welding defect standard (EN ISO 13919-1) for electron beam and laser welding.

In Chapter 3, metallographic observations of hybrid butt welded joints in dissimilar materials (AH32-ST304L) were performed using SEM (Scanning Electron Microscopy) and that changes in the interface region were investigated by energy dispersive X-ray (EDX). Moreover, mechanical characteristics of laser-arc hybrid welded joints in dissimilar materials (AH32-ST304L) were investigated through the test of hardness, tensile and fatigue in order to guarantee the various required criteria of welding design. Therefore, this chapter attempts to evaluate the metallurgical and mechanical characteristics for the dissimilar materials welded joints obtained by newly developed CO₂ laser-GMAW hybrid welding.

The microstructures of the weld metal (WM) of hybrid and SAW welded joints exhibited well distributed ferrite throughout the matrix. Also, the microstructures of the heat affected zone (HAZ) of hybrid and SAW welded joints were quite different.

Hardness of the hybrid welded joints exhibited within the acceptable range. In the tensile test, all hybrid welded joints fractured in the base metal (BM). Dissimilar materials hybrid welded joints exhibited almost same fatigue strength for similar material STS304L SA welded joints and it was over the design curve for JSSC. Both fatigue strength were comparable to those of BM because fatigue and fracture of welded joints occurred at BM away from welds. When the fatigue joints efficiency was defined as fatigue limit of welds by that of BM, fatigue joints efficiencies of welds was 88%.

In Chapter 4, the characteristics of residual stress and plastic strain generated by laser-arc hybrid welding of dissimilar materials (AH32-ST304L) were elucidated. First, the residual stress measurement for hybrid welded joints was carried out by the X-Ray diffraction method. A heat source model for simulation in non-steady state thermal conduction analysis was determined considering the laser-arc hybrid welding characteristics. To establish the feasibility of the numerical analysis result, residual stress obtained by 2D (two-dimensional) plane deformation thermal elastic-plastic analysis (the pseudo-3D analysis) was compared that of measured by the X-Ray diffraction method.

Residual stress and plastic strain generated by laser-arc hybrid welding of dissimilar materials (AH32-ST304L) were shown for the first time. The maximum of welding residual stress component, σ_{zx} in the welding line direction generated in dissimilar materials welded joints was approximately 15–18% higher than that of similar materials welded joints. The maximum of σ_{zx} generated in STS304L side of dissimilar materials welded joints was about 5% larger than that in AH32 side of welded joints. However, the equivalent stress of dissimilar welded joints shows almost identical value as those of both similar materials.

The maximum plastic strain component, ϵ_{zx}^p , in the welding line direction of similar and dissimilar materials welded joints was in this order, $\epsilon_{AH32-ST304}^p > \epsilon_{STS304}^p > \epsilon_{AH32}^p$. Equivalent strain ϵ_{EQ}^p of dissimilar welded joints was slightly higher value than that ϵ_{EQ}^p of similar materials (A1132 and STS304L) welded joints.

In Chapter 5, knowledge obtained from each chapter was summarized and the possibility on the application of laser-arc hybrid welding to dissimilar materials (AH32-ST304L) has been established.

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文では、鋼構造物作製における高能率化、高品質化および軽量化を達成するべく、既存のアーク溶接では接合界面に厚い金属間化合物層が生成され、要求強度を満たすことが困難な高張力鋼（AH32）とステンレス鋼（STS304L）との接合を達成するべく、CO₂ レーザと GMAW とのハイブリッド溶接システムを開発している。そして、溶接条件の選定における多くのパラメータから最適な条件を見出す手法を提示すると共に、この手法に従い得られた条件下で溶接を行い、溶接継手部に欠陥のないこと、さらには、冶金的、力学的検討を行い、溶接部の健全性を確認している。一方、ハイブリッド溶接継手の残留応力を測定すると共に、2次元平面変形（擬似3次元）熱弾塑性解析により、実験結果をシミュレーションしている。そして、解析結果を実験結果と照合し、解析結果の妥当性を確認後、一連の解析を行い、ハイブリッド溶接により異種鋼材溶接継手に生じる残留応力・塑性ひずみの特徴を提示している。

本論文は 5 章から構成されている。

第 1 章では、本研究の背景および既往の研究について述べると共に、研究の目的・構成について述べている。

第 2 章では、通常のアーク溶接では界面に厚い金属間化合物層が生成され、十分な接合強度を得るのが難しいとされる高張力鋼（AH32）とステンレス鋼（STS304L）異種鋼材の接合を目的に、12kWCO₂ レーザ-GMAW ハイブリッド溶接システムを開発している。そして、AH32 と STS304L 同種鋼材に対し、新たに開発したハイブリッド溶接システムを用いて溶接継手を作製すると共に、ここで得られた知見を基に、AH32-ST304L 異種鋼材の接合における最適溶接条件を提示している。この条件下で溶接継手を作製し、溶接欠陥の存在有無を EN ISO13919-1 に照らして評価し、欠陥などが存在しないことを確認している。

第 3 章では、SEM（走査型電子顕微鏡）および EDX（エネルギー分散型 X 線）を用いて、AH32-ST304L 異種鋼材接合部に対し、冶金的観察を行うと共に、力学的な基本特性を保証するため、硬さ、引張および疲労試験を実施している。結果によれば、既存のアーク溶接では、接合界面に厚い金属間化合物が生成されるが、ハイブリッド溶接では、

強度を左右するような厚い金属間化合物層が生成されていないことを確認している。一方、硬さ試験において軟化域や硬化域がないこと、引張試験において、STS304L 鋼母材の引張強度と同程度の引張強度を有していることを確認している。また、JSSC に示されている疲労設計曲線 D 等級以上の疲労強度を有していることを確認している。

第 4 章では、レーザーアークハイブリッド溶接で生じる残留応力を X 線回折法により測定している。一方、ハイブリッド溶接シミュレーションモデルを提示し、このモデルを用いて、2 次元平面変形（擬似 3 次元）熱弾塑性解析を実施している。そして、解析で得られた残留応力と実験結果とを比較検討し、解析結果の妥当性を確認後、ハイブリッド溶接で異種鋼材に生じる残留応力・塑性ひずみの特徴を提示している。

第 5 章では、各章で得られた主な結果を総括すると共に、結論を述べている。

以上のように、本論文は既存のアーク溶接では厚い金属間化合物層の生成により、要求強度を満たすことが困難な異種鋼材の接合において、要求強度を満たすべく、CO₂ レーザと GMAW のハイブリッド溶接システムを開発している。これを用いて、AH32-STS304L の溶接継手を作製し、得られた継手の健全性を冶金的、力学的観点から確認している。さらには、ハイブリッド溶接を対象としたシミュレーションモデルを提示し、モデルの妥当性を検証後、熱弾塑性解析を行い、ハイブリッド溶接により異種鋼材に生じる残留応力・塑性ひずみの特徴を明らかにしている。今後の異種鋼材を用いた構造物の作製において、接合強度を担保する課題の解決に向け、大きく寄与するものと期待される。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。