

レーザー溶接の技術蓄積と最適条件の検討 ーレーザーによる鉄/アルミニウムの突合せ溶接ー

小川 俊文*¹

Accumulation of LASER Welding Technology and Examination of Optimal Conditions

- LASER Butt Welding with Iron/Aluminum -

Toshifumi Ogawa

構造物の軽量化が進められており多様な異材接合が要求されている。一方、近年は低価格かつ多機能なレーザー溶接機が登場しており、国内のレーザー溶接機普及は更に進むことが予想される。本研究では、ディスクレーザ発振器を用いたレーザー溶接システムにより、板厚1.0 mmの鉄/アルミニウムの突合せ溶接（開先I型，下向き）に関する基礎データ習得を行った。レーザー出力，溶接速度，溶接加工位置，レーザービームのコアとリングのパワー配分比率を最適化することで，角変形が無く，溶接部にボイド欠陥のない溶接ビードを得ることが出来た。

1 はじめに

アーク溶接やティグ溶接は高度な技術が求められ，技術の習得に長い時間を要する。一方，レーザー溶接は，一度溶接条件を確立すれば，誰でも短時間の訓練により技術を習得でき，基準を満足する溶接が可能である。近年，価格が安く機能も充実したレーザー溶接機が登場していることから，今後は国内におけるレーザー溶接機の普及が更に進むものと考えられる。

自動車を始めとする世の中の構造物は軽量化が進められている。金属系構造物の多くに鉄鋼材料とアルミニウム系材料が使用されているため，鉄/アルミニウムの異材接合に関する研究が行われている¹⁾。そこで本研究では，レーザーによる鉄/アルミニウムの突合せ溶接に関する基礎データ習得を目的とした。

2 実験方法

2-1 供試材料と実験方法

供試材料には，柔らかく，成形性・加工性に優れており，機械，自動車，家電など幅広い分野で使用される冷間圧延工鋼板（SPCC：Steel Plate Cold Commercial）と，加工性，耐食性，溶接性が優れており，日用品や家庭用品，電気器具などに使用される純度99.5 %以上の純アルミニウム板（A1050）を用いた。板厚は1.0 mmとした。

レーザー溶接は，Trumpf(株)製 5 kW級ディスクレーザ発振器(TruDisk 5000)，(株)安川電機製 6軸多関節

ロボット(MOTOMAN-MC2000 II)と2ポジションナー(MOTOPOS-D250B)，Trumpf(株)製 加工ヘッド(BEO D-70)で構成されるレーザー加工システムで行った(図1)。レーザー出力は2,000 W，溶接速度100 mm/sに固定し，溶接加工位置とレーザービームのコアとリングのパワー配分比率を変化させて溶接を行った(図2)。サイズ50 mm×100 mmの板材を溶接治具に突合せて固定し，溶接長さ80 mmの突合せ溶接（開先I型，下向き）を行った。溶接雰囲気は，板上面，下面ともアルゴン雰囲気とした。



図1 レーザ加工システム

*1 機械電子研究所

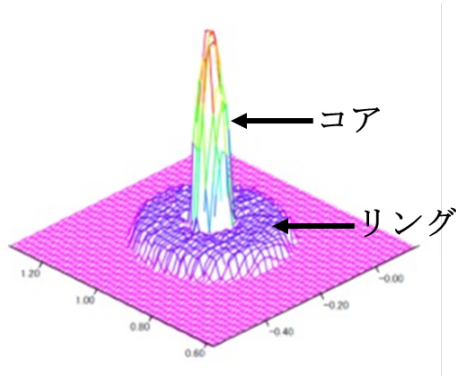


図2 レーザビームのコアとリングの説明

2-2 評価方法

溶接ビードの外観観察は、実体顕微鏡((株)ニコン SMZ745T)で行った。溶接部断面の組織観察は、樹脂埋め鏡面研磨後、実体顕微鏡で行った。溶接部断面における元素マッピング分析は、電子線マイクロアナライザー(日本電子(株) JXA-8200SP)で行った。溶接部断面における硬さ試験は、マイクロビッカース硬さ試験機((株)ミットヨ HM-100)で行った。

3 結果と考察

3-1 溶接ビード外観

溶接ビードの外観観察は、溶接ビード80 mmの中央部分で行った。観察倍率は10倍とした。溶接加工位置を突合せ面とした場合を図3に示す。パワー配分比コア40 %の場合、表ビード、裏ビード共に良好であった。コア30 %の場合は、溶接ビードが溶接方向に割れていた。コア50 %の場合は、溶接ビードが溶け落ちていた。

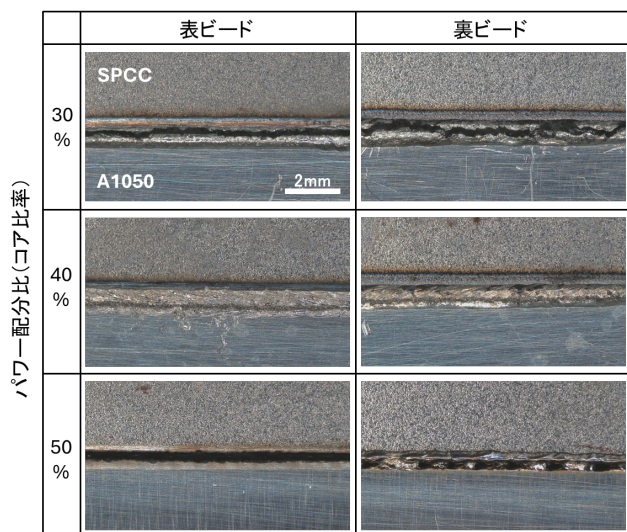


図3 溶接加工位置を突合せ面とした場合の溶接ビード外観の比較

溶接加工位置を突合せ面からA1050側に150 μ mシフトさせた場合を図4に示す。パワー配分比が変わっても、図3で観察された溶接方向のビード割れやビード溶け落ちは観察されなかった。しかし、溶接方向に直行する向きにクラックの発生が観察された。

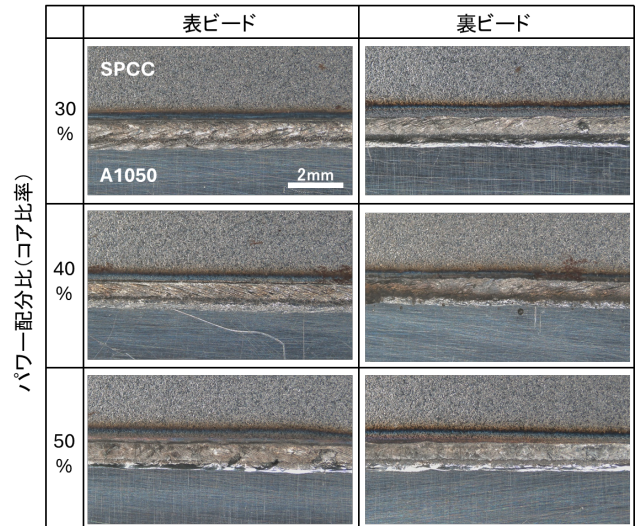


図4 溶接加工位置を突合せ面からA1050側に150 μ mシフトさせた場合の溶接ビード外観の比較

3-2 溶接部断面の観察・分析

溶接ビード外観観察結果より、溶接加工位置を突合せ面としパワー配分比コア40 %の場合に、溶接ビード表裏良好で割れや溶け落ちが無かったことから、この試験片について溶接部断面の観察・分析を行った。図5に溶接部断面を実体顕微鏡10倍で観察した結果を示す。断面全体が一直線になっており角変形が無く、溶接部にはボイド欠陥は観察されなかった。

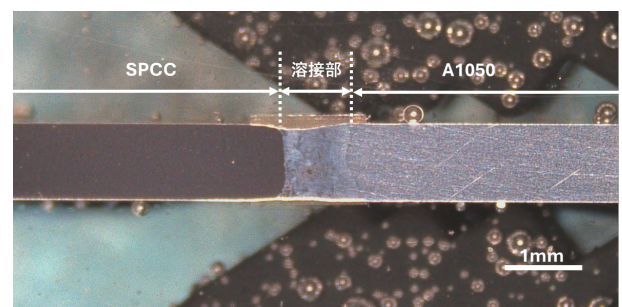


図5 溶接部断面の観察結果

溶接部における鉄(Fe)とアルミニウム(Al)の分布状態を確認するために元素マッピング分析を行った。その結果を図6に示す。Alは、溶接部全域において基材と同程度の強度で分布していたが、Feは、溶接部に部

分的に低い信号強度で分布していた。組成像(COMP)より、溶接部にFeが存在している箇所には、FeとAlの金属間化合物が存在していると考えられる。

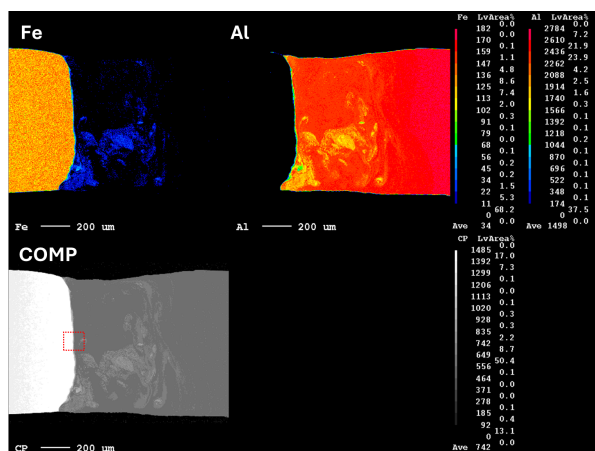


図6 溶接部におけるFeとAlのマッピング分析結果

FeとAlが反応すると金属間化合物を形成することが知られている²⁾。そこで、図6のCOMP像中の破線部において、SPCCと溶接境界近傍でFeとAlのマッピング分析を行った結果を図7に示す。SPCCと溶接部の境界に幅約7 μm の金属間化合物層が形成されていた。また、溶接部にはその金属間化合物層と組成比率が異なる金属間化合物が観察された。FeとAlを高温加熱、加圧環境下で拡散接合するとAl側に Al_3Fe 、Fe側に Al_5Fe_2 を形成されることが知られている³⁾ことから、SPCCと溶接部の境界に形成された幅約7 μm の金属間化合物層は、 Al_5Fe_2 と考えられ、溶接部に形成された金属間化合物は、 Al_3Fe と考えられる。

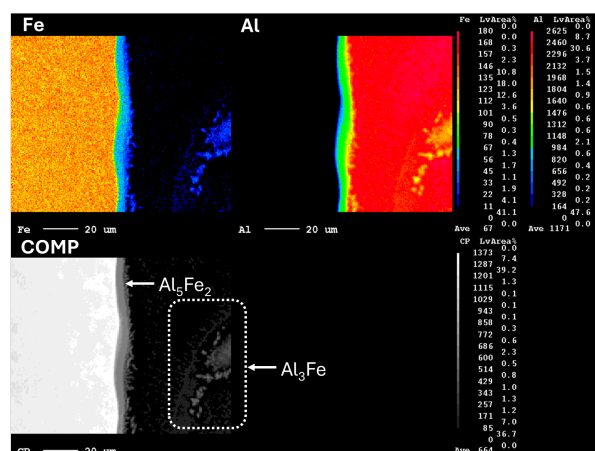


図7 SPCC/溶接部境界近傍でのFeとAlマッピング分析結果

3-3 溶接部断面における硬さ試験

溶接部断面における硬さ試験の結果を図8に示す。試験条件は、試験力1.961 N、保持時間15秒とした。SPCCの硬さ104HV、A1050の硬さ25 HV、溶接部の硬さ74 HVであった。溶接部がA1050よりも硬くなったのは、金属間化合物形成の影響によるものと考えられる。

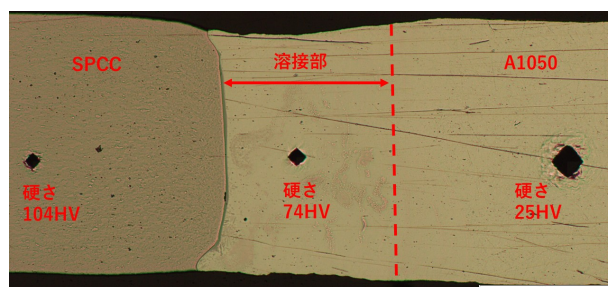


図8 溶接部断面における硬さ試験の結果

4 まとめ

ディスクレーザ発振器を用いたレーザ溶接システムにより、板厚1.0 mmの鉄/アルミニウムの突合せ溶接（開先I型、下向き）に関する基礎データ習得を行い、以下の知見が得られた。

- 1) レーザ出力2,000 W、溶接速度100 mm/s、溶接加工位置:突合せ面、レーザビームのコアとリングのパワー配分比率40 %の場合に、角変形無し、溶接部にボイド欠陥無し、表ビードと裏ビードの外観良好となった。
- 2) SPCCと溶接部の境界に幅約7 μm の金属間化合物層が形成され、溶接部にはその金属間化合物層と組成比率が異なる金属間化合物が形成された。
- 3) 溶接部は、金属間化合物形成の影響によってA1050より硬くなった。

5 文献

- 1) 中田 一博：溶接技術，Vol.52(No.10)，pp. 126-130(2004)
- 2) 小椋 智：溶接学会誌，第85巻(第6号)，pp. 37-42(2016)
- 3) A. Hirose, F. Matsui, H. Imaeda and K. Kobayashi; Materials Science Forum Vols.475-479, pp. 349-352(2005)