

自動車の軽量化を実現するために必要な新接合プロセスの開発（第3報）

5 亜鉛めっき鋼板重ねレーザー溶接時のレーザー加熱変形前処理技術の開発（Ⅱ）

門 格史, 森下勇樹, 大石 郁*, 坂村 勝*, 太田耕平*,
篠崎賢二**, 山本元道**, 門井浩太**

Development of new welding process for automotive lightening (3rd Report)
Development of deformation preprocessing technology by laser heating for lap laser welding on
galvannealed steel sheets(Ⅱ)

KADO Tadashi, MORISHITA Yuki, OHISHI Kaoru, SAKAMURA Masaru, OHTA Kouhei,
SHINOZAKI Kenji, YAMAMOTO Motomichi and KADOI Kota

Recently, remote laser has come to be used in the automobile manufacture. However, it is known to cause welding defects by the size of the gap between steel sheets in lap laser welding of galvannealed steel sheets. Cause of the defect is two. One is due to vapor of galvannealed in the case of a narrow gap, another is due to burn-through of the steel sheet in the case of a large gap. We have developed the process solved both causes in lap laser welding of galvannealed steel sheets. Feature of this process is that it can be controlled the gap between the steel sheets by laser pre-heating. As a result, it was found that this process can be controlled the gap between steel sheets by laser pre-heating and improved the weldability of lap welding joint of galvannealed steel sheets.

キーワード：亜鉛めっき鋼板, レーザ溶接, 重ね溶接, 前処理, 間隙制御

1 結 言

近年、自動車の製造に多く用いられているスポット溶接に代わる方法として、リモートレーザーによる溶接が注目されている。リモートレーザーは、ガルバノミラーと呼ばれる光学系の角度を可変させることによりレーザー光を移動させるので、ロボットを使う従来の溶接と比べて高速移動が可能で、移動時間も大幅に短縮できる。このため、自動車の製造時間短縮も可能となる¹⁾。しかし、自動車用鋼板には防錆のため表面にめっきが施された亜鉛めっき鋼板が多く使用されている。そのため、その重ねレーザー溶接では、狭間隙の場合、溶接時に重ね面に発生する亜鉛めっき蒸気によりピットやポロシティ等の溶接欠陥が発生する。広間隙においても、上板が溶け落ちによる溶接欠陥となる。これらの解決方法として、鋼板間の重ね部を適切な間隙範囲に制御する手法が提案されており²⁾、その範囲は0.06~0.4mmと報告されている³⁾。しかし、その範囲は非常に狭いため、実際の製造現場で間隙をその範囲内に管理するのは難しい。仮に管理しようとすると周辺機器が複雑となり装置コストが増加する。そこで本研究では、亜鉛めっき鋼板の重ねレーザー溶接に

おける狭間隙、広間隙の2つの課題の解決方法として、周辺機器が複雑にならず、リモートレーザーの特徴を生かしたレーザー加熱による変形前処理技術について検討したので報告する。

2 実験方法

2.1 レーザ加熱による変形前処理技術

亜鉛めっき鋼板の重ねレーザー溶接では、間隙がほぼ0mmとなる狭間隙では、ピットやポロシティの欠陥発生、間隙0.4mmを超える広間隙では、上板の溶け落ちによる欠陥発生が課題となっている。そこで本研究では、これらの課題を解決する方法としてレーザー加熱による変形前処理技術について検討した。その方法を図1に示す。狭間隙では、レーザー加熱により上板を下側に変形させて下板へ押し当てて変形させることで間隙を作る。広間隙では、同様に上板を下側に変形させることで間隙を狭くする。このことにより、初期間隙がある程度の範囲であれば、レーザー照射により上板を下側に変形させることで間隙を制御し、狭間隙、広間隙のどちらでも、欠陥の発生しない溶接が可能となる。

2.2 供試材料および実験方法

本実験の供試材料は440MPa、780MPa級合金化溶融亜鉛めっき鋼板（めっき付着量55g/m²、板厚1mm）を使用

* 東部工業技術センター

** 広島大学大学院工学研究科

した。それぞれの化学組成、機械的性質を表1に示す。試験片サイズは、幅 100mm×長さ 66mm とし、4隅に穴を開け、治具に固定した。実験では、ファイバーレーザー (IPG 社製) を使用した。レーザー前処理の評価については、1枚板のみと2枚の鋼板を重ねた状態で図2(a)に示す位置にレーザー照射を行い、鋼板の変形量を求めた。実験条件は1枚板の場合を表2に、2枚を重ねた場合を表3に示す。鋼板の変形量の測定は、レーザー変位計を用いて、レーザー前処理前後で図2(a)に示す測定位置についてクランプ間の距離を1mmピッチで行い、変形量を算出した。また、本手法のレーザー溶接性の評価については表4に示す条件で実験を行った。ここで用いたレーザー前処理条件は鋼板の変形が最大となる条件を選択した。この実験でのレーザー照射位置について、図2(b)に示すように、レーザー前処理は中央部にレーザー照射を行った後に、その位置を0mmとして、0mm, 2mm, 4mmの位置に溶接を行った。また、溶接した試験片は中心部分を30mmに切断して、引張せん断試験で評価を行った。

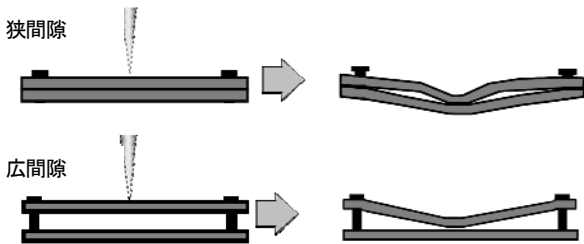


図1 レーザ加熱による変形前処理技術の模式図

表1 供試材料の化学組成及び機械的性質

鋼種 MPa	化学組成%						機械的性質		
	C	Si	Mn	P	S	Fe	Y.P. (MPa)	T.S. (MPa)	El. (%)
440	0.15	0.01	0.99	0.019	0.004	Bal.	314	466	34.0
780	0.11	0.07	2.5	0.009	0.001	Bal.	516	835	18.0

表2 レーザ前処理条件 (1枚板の場合)

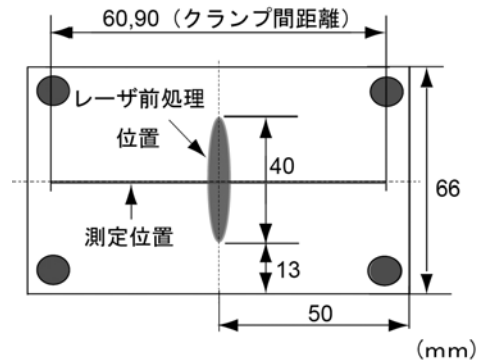
レーザー出力 (kW)	1	2	3
照射速度 (m/min)	0.5~ 8.0	3.0~ 8.0	4.0~ 8.0
スポット径 (mm)	9		5,9
クランプ間距離 (mm)	90		60, 90
ビード長さ (mm)	40		

表3 レーザ前処理条件 (2枚を重ねた場合)

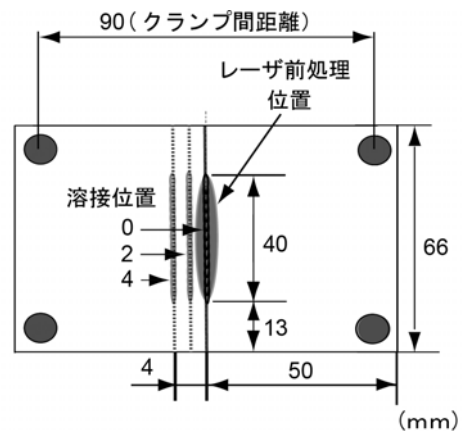
レーザー出力 (kW)	3
スポット径 (mm)	9
照射速度 (m/min)	6.0
クランプ間距離 (mm)	90
ビード長さ (mm)	40
鋼板間の初期間隙 (mm)	0, 0.7

表4 実験条件 (レーザー溶接性の評価)

	前処理	溶接
レーザー出力 (kW)	3	
スポット径 (mm)	9	
照射速度 (m/min)	6.0	2.0
クランプ間距離 (mm)	90	
ビード長さ (mm)	40	
鋼板間の初期間隙 (mm)	0~0.9	
溶接位置 (mm)	—	0,2,4



(a)前処理



(b)溶接

図2 前処理および溶接試験片の概要

3 実験結果及び考察

3.1 レーザ出力、スポット径、クランプ間距離と熱変形の関係 (1枚の鋼板)

レーザー出力・照射速度と熱変形の関係を図3に、レーザー出力 3kW によるスポット径、クランプ間距離と熱変形の関係を図4に示す。レーザー出力・照射速度と熱変形の関係についてレーザー出力 1kW の場合は、照射速度 1m/min において 0.3mm 以上となる大きな変形量が得られ、最大変形量 0.36mm 程度となった。レーザー出力 2kW の場合は、照射速度 3~5m/min 間において、大きな変形量が得られ、最大変形量は 0.43mm 程度となった。レーザー出力 3kW の場合は、照射速度 4~8m/min の間において大きな変形量が得られ、最大変形量は 0.48mm 程度となった。この結

果から、レーザー出力 3kW は他のレーザー出力条件よりも大きな変形量が得られ、0.3mm 以上の変形量が得られる照射速度の範囲も広範囲となることがわかった。レーザー出力が 2kW, 1kW と小さくなると、変形量およびその範囲も小さくなる傾向にあることがわかった。

次に、レーザー出力 3kW によるスポット径、クランプ間距離と熱変形の関係について、スポット径では、同クランプ間距離の場合において、変形量の比較をするとスポット径 9mm の方が最大変形量は大きくなった。また、クランプ間距離では、スポット径 5mm, 9mm におけるクランプ間距離 60mm と 90mm の変形量を比較すると、どちらのスポット径においてもクランプ間距離 90mm の変形量が大きくなった。また、これらのことから変形量を大きくするには、レーザー出力、スポット径、クランプ間距離を大きくすることが有効であった。

3.2 レーザ照射による鋼板の変形分布（2枚重ね）

鋼板を2枚重ねた場合のレーザー照射による変形分布について、初期間隙 0mm を図5(a)、初期間隙 0.7mm を図5(b)に示す。最初に、間隙 0mm では、レーザー照射により上板が下側に変形し、下板は上板に押されることで下側に変形している。このことから、レーザー照射位置付近では上板と下板に間隙が生じており、レーザー照射位置を 0mm するとその位置から±4mm 位置において 0.04mm～0.045mm 程度生じている。間隙 0.7mm では、レーザー照射により上板が下側に変形することで、レーザー照射位置付近では上板と下板の間隙が小さくなっており、レーザー照射位置 0mm～±4mm の間で 0.33mm～0.39mm 程度となり、初期間隙より狭くなっている。これらのことから、レーザー照射により間隙 0mm と間隙 0.7mm のどちらにおいても溶接欠陥が発生しない程度に鋼板間の間隙制御ができていたことがわかった。

3.3 レーザ溶接性

本手法を用いて作製した試験片の引張せん断試験結果について、440MPa 級亜鉛めっき鋼板は図6(a)、780MPa 級亜鉛めっき鋼板は図6(b)に示す。図中にはレーザー前処理を行わない通常の板厚 1mm の亜鉛めっき鋼板の重ねレーザー溶接における引張せん断試験で母材破断となる初期間隙の範囲を示している。440MPa は、溶接位置 0mm, 2mm では、鋼板の間隙が 0.1mm～0.8mm まで母材破断しており、広間隙への裕度は拡大した。しかし、間隙 0mm では、溶接部破断して、破断荷重が低下した。一方、溶接位置 4mm では、鋼板の間隙 0mm～0.7mm の範囲で母材破断となった。しかし、鋼板の間隙が 0.8mm となると溶接部破断となり、その破断荷重も大きく減少した。780MPa

は、溶接位置 0mm では、間隙 0.5mm～0.9mm まで母材破断した。広間隙での裕度は拡大したものの、狭間隙の領域では、溶接部で破断し、破断荷重が低下した。同様に、溶接位置 2mm では、間隙 0.3mm～0.8mm までは母材破断し、その範囲は広がる傾向であったものの狭間隙の領域である間隙 0mm, 0.1mm では溶接部破断し、破断荷重が低下した。一方、溶接位置 4mm では、0mm～0.8mm まで母材破断し、狭間隙、広間隙のどちらにも裕度が拡大している。この結果、レーザー照射位置 0mm, 2mm では、狭間隙では効果がないものの、広間隙では裕度が拡大し、効果があることがわかった。レーザー照射位置 4mm 位置では狭間隙、広間隙のどちらも裕度が拡大しており、更に効果があることがわかった。このことから、本手法では、亜鉛めっき鋼板重ねレーザー溶接でのレーザー前処理位置に対して適切な位置に溶接すれば、狭間隙、広間隙の両方に対して効果があり、その結果、前処理を行わない通常のレーザー溶接と比較すると母材破断する間隙範囲が広範囲となることがわかった。

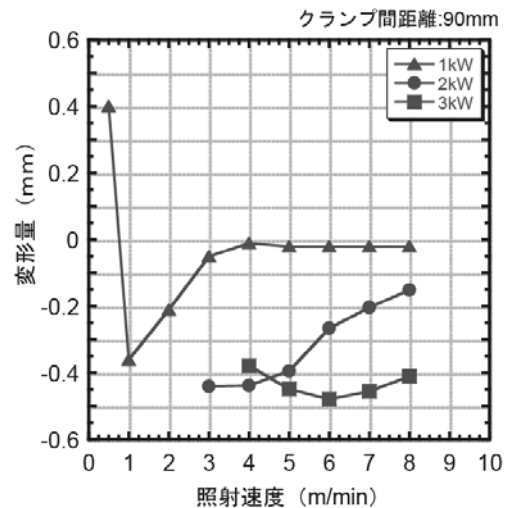


図3 レーザ出力・照射速度と熱変形の関係

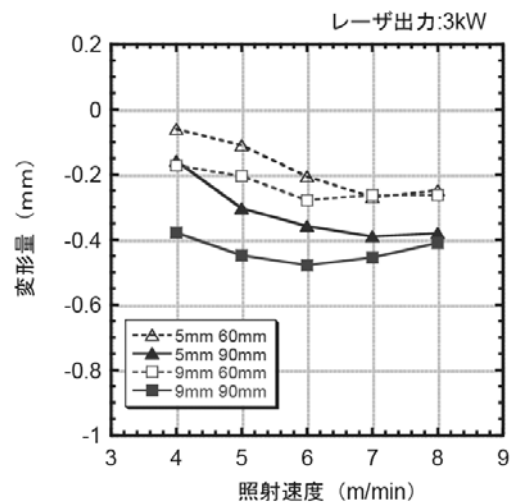
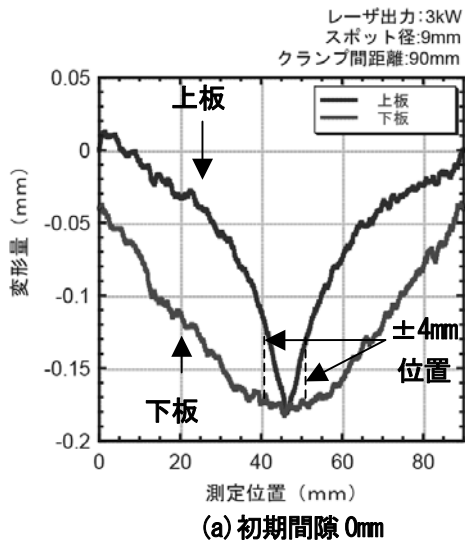
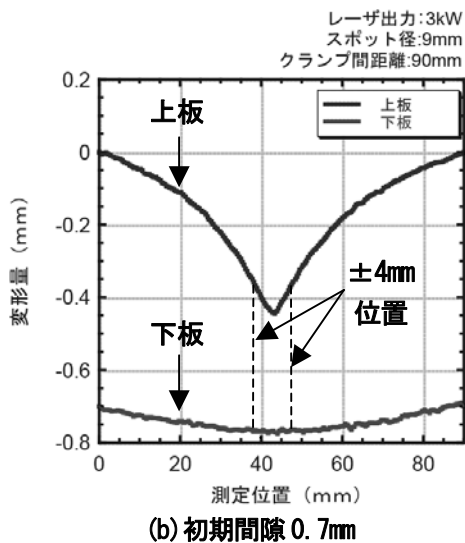


図4 スポット径・クランプ間距離と熱変形の関係



(a) 初期間隙 0mm



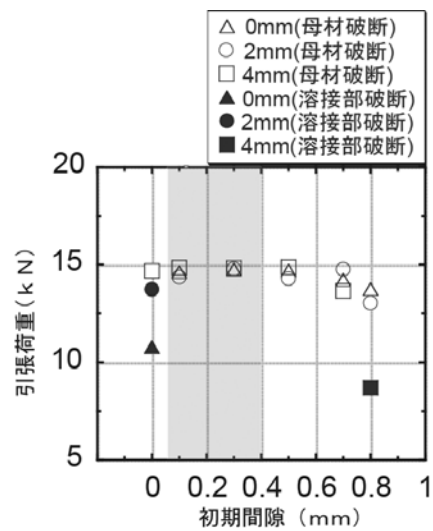
(b) 初期間隙 0.7mm

図5 レーザ照射による鋼板の変形分布 (2枚重ね)

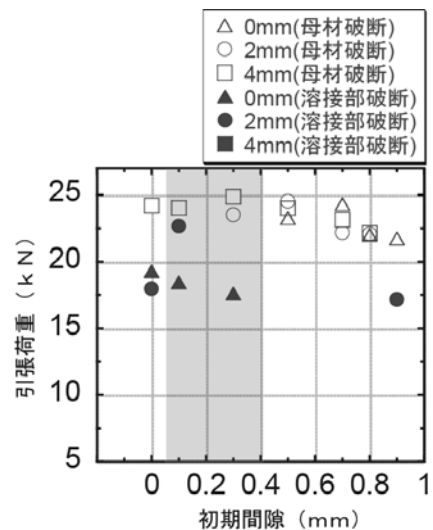
4. 結 言

亜鉛めっき鋼板の重ねレーザー溶接における狭間隙、広間隙の2つの課題の解決方法として、レーザー加熱による変形前処理について検討した。その結果、本手法は、狭間隙、広間隙のどちらの課題にも効果があることがわかった。以下にその結果を示す。

- (1) 鋼板を下側に大きく変形させるには、レーザー出力、スポット径、クランプ間距離を大きくすることが有効であった。
- (2) 鋼板を重ねた状態でレーザー照射により鋼板を変形させた場合、鋼板間の間隙 0mm, 0.7mm のどちらにおいても、溶接欠陥が発生しない程度に鋼板間の間隙を制御できることがわかった。



(a) 440MPa 級亜鉛めっき鋼板



(b) 780MPa 級亜鉛めっき鋼板

図6 引張せん断試験の結果

- (3) レーザ前処理後の溶接性ではレーザー前処理位置から 4mm 離れた位置を溶接すると 440MPa 級亜鉛めっき鋼板では 0mm~0.7mm, 780MPa 級亜鉛めっき鋼板では 0mm~0.8mm の初期間隙において母材破断となり、前処理を行わない通常のレーザー溶接と比較して鋼板間の間隙裕度が大幅に向上した。

文 献

- 1) 森他：溶接学会誌, 77-3(2008), 11-15
- 2) 小野：レーザー加工学会講演論文集, 68(2007), 71-80
- 3) 篠崎他：溶接学会全国大会講演概要, 85(2009), 154-155