

(レーザ溶接によるテーラードblank材のプレス製品への適用に関する研究)

17 ツインスポット光学系を用いた異厚blank材の突合せ溶接

門 格史, 安部重毅, 田邊栄司, 森下勇樹

(Study for application to press products of Laser Welding in Tailored Blank Sheets)

Butt-welding of different thickness Blank Steel Sheets using high power CW-YAG laser with twin spot optics

KADO Tadashi, ABE Shigeki, TANABE Eishi, MORISHITA Yuki

In butt-welding between 0.6 mm and 1.2 mm thickness zinc-coated steel sheets using high power CW-YAG laser with twin spot optics, the influences of welding parameters on the bead appearance, the penetration shape and mechanical properties were investigated. The following results have been obtained.

- (1) A butt-gap distance of max 0.4mm can be welded using high power CW-YAG laser with twin spot optics. This welding conditions were 3500W laser power and welding speed 4m/min.
- (2) The penetration shape was good and the inside defects of welded metal were not observed. The welded bead width using twin spot optics was wider than that of using no twin spot optics.
- (3) At the tensile and erichsen test, the strength of laser-welded metal was stronger than that of base metal (0.6mm).
- (4) The result of weld ability tests (tensile, erichsen, hardness and radiographic test) were not influenced to change the shielding gas (Ar, N₂, CO₂) for welding

キーワード: テーラードblank, レーザ溶接, 突合せ溶接, ツインスポット光学系, 亜鉛めっき鋼板

1 緒 言

近年,自動車に対する衝突安全性の向上と軽量化は重要課題であり,国際的なプロジェクトにおいてもこの課題を達成するために種々の提案が行われている¹⁾。

その代表的な技術の一つがテーラードblankで,プレス部品の一体化によるコスト低減と品質の向上,板厚と強度の最適配置による軽量化という観点から自動車ボディにおいて関心が高く,注目されている^{2),3)}。テーラードblankの接合では,レーザによる溶接がよく用いられている。レーザによる溶接は,ビームスポットが小さく,高エネルギー密度なため,高精度,高速溶接が可能,低ひずみなどの利点がある。

しかし,テーラードblankで用いられる溶接方法は突合せ溶接であり,相反することであるが,これらの利点から,継手を高精度に加工しなければ,溶接不良を起こすことがある。現在,その点を改善する方法として,ツインスポット光学系,ツインビーム,マルチビーム,MIG溶接との複合溶接などによる溶融幅を拡大させる手法が注目されている⁴⁾。そこで,本報では,板厚違いに応じてエネルギー比率を可変できるツ

インスポット光学系を用いて,ワーク突き合わせ面の切断精度のGAP裕度改善がはかれるblank材の高品質なレーザ溶接の確立を図った。

2 実験方法

今回実験に使用するツインスポット光学系の原理^{5),6)}及び外観を図1に示す。ツインスポット光学系の原理は,ツインスポット光学系に付属しているダイヤルを回すことにより,コリメントレンズと集光レンズとの間にあるプリズムが移動する。そのことにより,レーザ光が屈折してエネルギー比率が変わるという原理

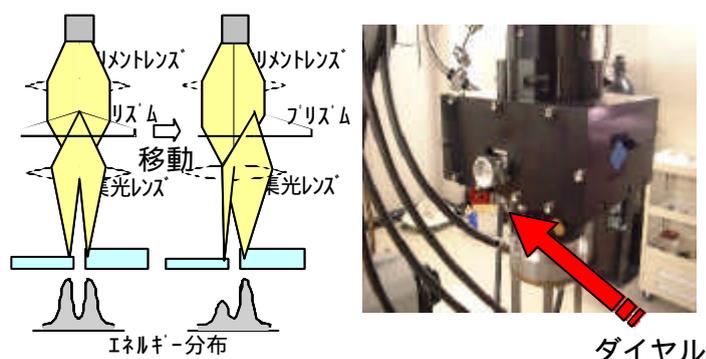


図1 ツインスポット光学系の概念及び外観

である。ダイヤルでプリズムを0~20mmまで移動させると、比率0.5:0.5~1:0まで変化する。本実験では、ツインスポット光学系（住友重機械工業株製）、大出力YAGレーザー発振器MW4000（住友重機械工業株製）より出たビームが光ファイバ（SI形,コア径0.6mm,長さ15m）及び垂直多関節型ロボット（6軸）のアーム先端部に装着された集光レンズを介して試料固定台に取り付けられた亜鉛めっき鋼板（100×250×t1.2及びt0.6）に照射される。実験装置を図2に示す。試料は、被溶接部をフライス仕上げした後、試料固定台に取り付けられた位置決めピンと隙間ゲージで加工位置と突合せ間隙を設定後、固定した。シールドガスは、レーザー光と同軸に取り付けたノズル（20mm）より試料表面に供給した。まず、目視による溶接外観検査で、狙い位置とプリズム位置、溶接スピードの最適条件を表1の実験条件により求めた。その結果から同様に目視において、表2に示す実験条件でデフォーカス、シールドガスによるGAP裕度との関係を調べた。その後、溶込形状は、溶融部を切断・研磨後、5%ナイトール酸で腐食し、顕微鏡で観察した。溶接部の機械的強度は、レーザー溶接した1試料よりJIS定形5号試験片を試料打抜いて作製し、精密万能試験機で溶接方向と直角に引張試験を行った。また、エリクセン試験は、薄板試験器で実施した。溶接部の硬さ分布はマイクロピッカース硬さ試験機で測定した。

3 実験結果および考察

レーザー出力3500W、溶接スピード4,5,6m デフォーカス0mm（厚板側）プリズム位置0~20mm（5mm毎）狙い位置-0.2~0.5mm（0.1mm毎）シールドガス アルゴンにおいて、目視による溶接外観検査を基に最適条件を求めた。今回は、ツインスポット光学系を用いて、昨年の研究結果よりもGAP裕度が向上することを前提としている。そのためGAP0.3mm以上を目標とした。実験結果を図3に示す。プリズム位置0mm（比率

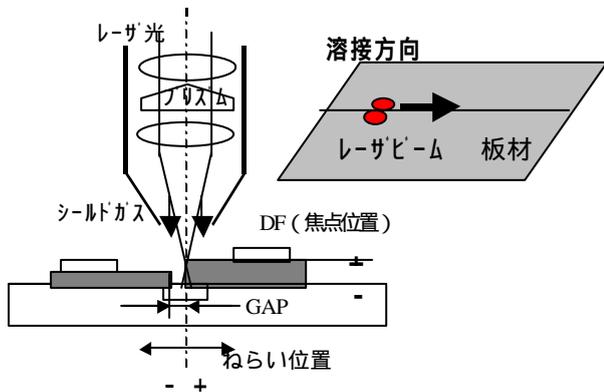


図2 実験装置

0.5:0.5)において、溶接スピード4m/min、狙い位置0.2mmにおいてGAP0.4mmの溶接が可能であった。同様に、プリズム位置5mmにおいては溶接スピード

表1 実験条件その1

レーザー出力 (W)	3500 (発信器)
溶接スピード (m/min)	4, 5, 6
焦点位置 (mm)	0
プリズム位置	0~20mm (5mm毎)
狙い位置 (mm)	-0.2~0.5mm (0.1mm毎)
シールドガス	アルゴン

表2 実験条件その2

レーザー出力 (W)	3500 (発信器)
溶接スピード (m/min)	4, 5, 6
焦点位置 (mm)	-1~2mm (1mm毎)
プリズム位置	0, 5, 20mm
シールドガス	アルゴン, 窒素, 炭酸ガス

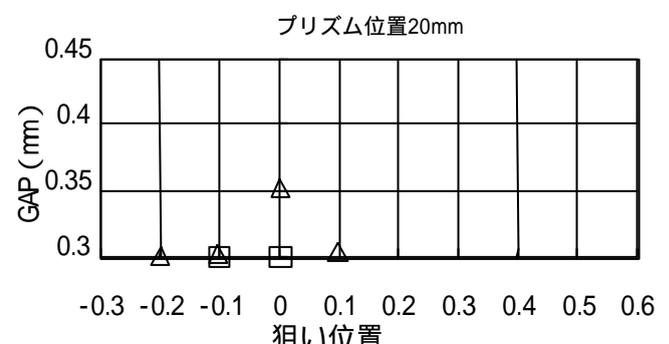
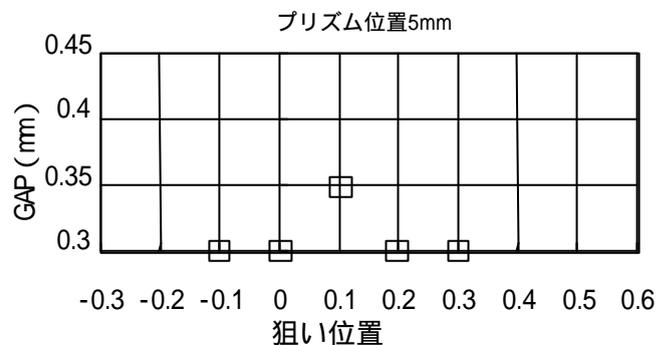
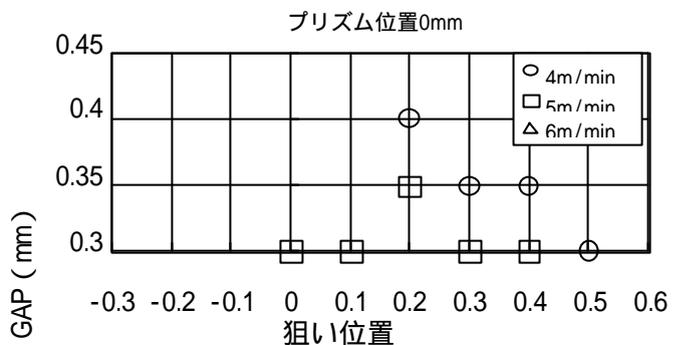


図3 目視による溶接外観検査その1（プリズム位置と溶接スピードによるGAPへの影響）

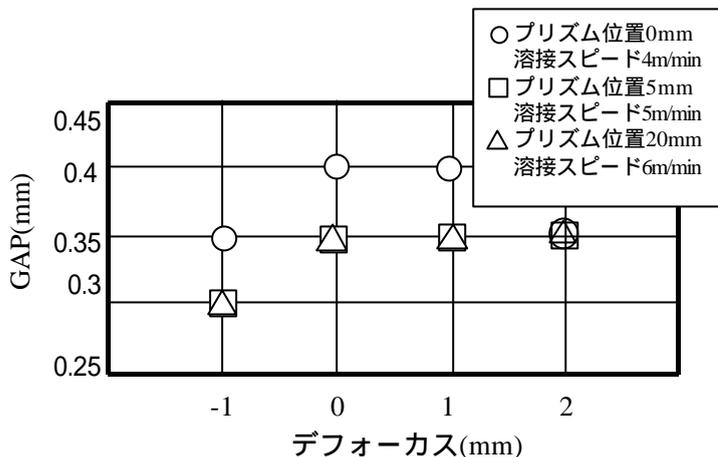


図4 目視による溶接外観検査その2 (デフォーカス, シールドガス アルゴン, 窒素, 炭酸ガスによるGAPへの影響)

5m/min, 狙い位置0.1mm でGAP0.35mm, 同様に, プリズム位置20mm (比率1:0)において 溶接スピード6m/min 狙い位置0mm, でGAP0.35mmが溶接可能であった。プリズム位置10, 15mmにおけるGAP裕度はプリズム位置20mmの最適溶接条件と同様の傾向を示した。また, プリズム位置, 溶接スピード, 狙い位置等のバランスが悪い条件では, GAPが拡大するにつれて, 溶け込み不良, 溶け落ちなどの現象が生じて, 良好な溶接を行うことはできなかった。これらの結果を基に, デフォーカス, シールドガスによるGAPへの影響について調べた。実験結果を図4に示す。デフォーカスについては, プリズム位置0mmでは, デフォーカス0,1mmにおいて, GAP0.4mm, プリズム位置5mmでは, デフォーカス0,1,2mmにおいてGAP0.35mm, また, プリズム位置20mm, デフォーカス0,1,2mmにおいてGAP0.35mmが溶接可能であった。この際, シールドガス(アルゴン, 窒素, 炭酸ガス)によるGAP裕度に変化はなかった。この後, 最適条件で溶接した試験片を用いて, 溶込形状, 引張試験, エリクセン試験, X線透過試験, 硬さ試験を実施した。まず, 溶接スピードとシールドガス(アルゴン, 窒素, 炭酸ガス), デフォーカス0mmにおける溶込形状を図5に示す。プリズム位置0, 5mmにおいては, プリズム位置20mmと比べて, ツインスポット光学系の効果により表ビードが拡大していることがわかる。しかし, この結果, 溶込深さは浅くなり, 通常の溶接スピードでは溶込深さが不足した。そのことを改善するためには, 溶接スピードを下げる必要がある。ツインスポット光学系のエネルギー比率を小さくする(プリズム位置0mm, 比率0.5:0.5にする方向)ことにより, GAP裕度拡大により効果があることがわかった。また, 溶接部の形状

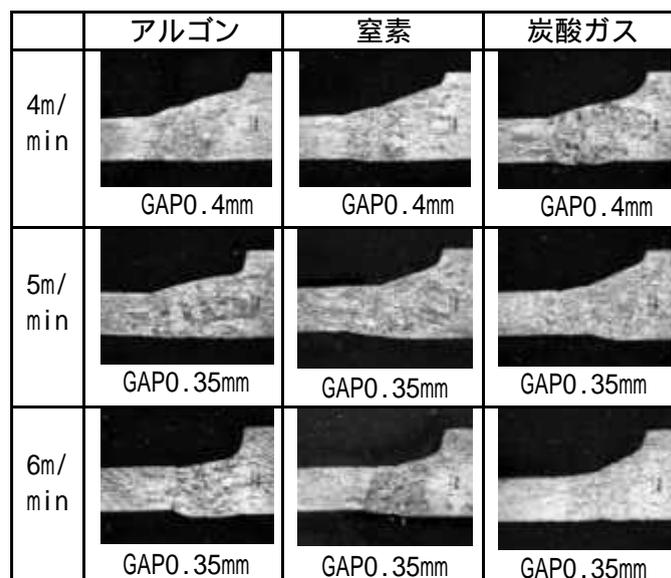


図5 溶接スピード, シールドガス(アルゴン, 窒素, 炭酸ガス)による溶融部の溶込形状

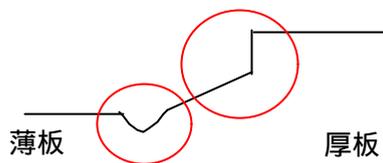


図6 プレス成形不良になりやすい溶融部形状

においてプレス成形の際に不良が出やすい形状を図6に示す⁷⁾。○部分()がその箇所であるが, どちら部分でもGAPが広くなることが一要因となって発生しやすくなる。 の形状は, プレス成形の際, この部分に応力が集中し, 破断する可能性が高くなる。図5における溶込形状は良好な形状をしている。

の形状に着目して溶融部の形状を観察すると, プリズム位置0mmの方がプリズム位置20mmよりなだらかな形状となっており, エネルギー比率を小さくして, 溶接スピードを下げることで形状がよりなだかになることがわかる。これはツインスポット光学系を使う効果と考えられ, 表ビード幅が拡大し, 溶接スピードを下げることに於いて, GAPに流入する溶融母材の量が増加することが考えられる。また, 図5では見ることができないが, 今回, 最適条件でない条件で溶接した場合, 溶接部の薄板近辺に の形状が発生することがあり, その形状では機械強度が低下した。このことは, 最適条件で溶接することにより改善された。また, シールドガスの違いによる溶込形状の変化はあまりないことがわかる。引張, エリクセン試験は, 最適条件(プリズム位置0mm, 溶接スピード4m/min, プリズム位置5mm, 溶接スピード5m/min, プリズム位置20mm, 溶接スピード6m/min, 各条件でデフォーカス0~2mm, シールドガスアルゴン, 窒素, 炭酸ガス)において実施し, どの条件においても, 薄板(0.6t)母材で破断して, 十分な継手強度が得られた。

X線透過試験は、引張、エリクセン試験と同様の条件で行い、ポロシティ等の内部欠陥は見られなかった。硬さ試験については、それぞれの溶接スピード、シールドガス、デフォーカス0mmにおける結果を図7に示す。溶接部の硬さは、どの条件においても母材の2倍程度になることがわかる。溶込形状の時にも説明したが、プリズム位置0.5mmにおいては、プリズム位置20mmと比べてツインスポット光学系の効果により硬化部が拡大している。また、溶接スピード6m/minよりも4m, 5m/minで溶接するほうが、溶接部が軟化することがわかる。これは、溶接スピード差による溶融部の冷却速度の差によるものと思われる。また、シールドガスの違いは、若干違い（炭酸ガスが少し低い）と考えられる。これらのことより、ツインスポット光学系を用いて、エネルギー比率を小さくして、溶接ス

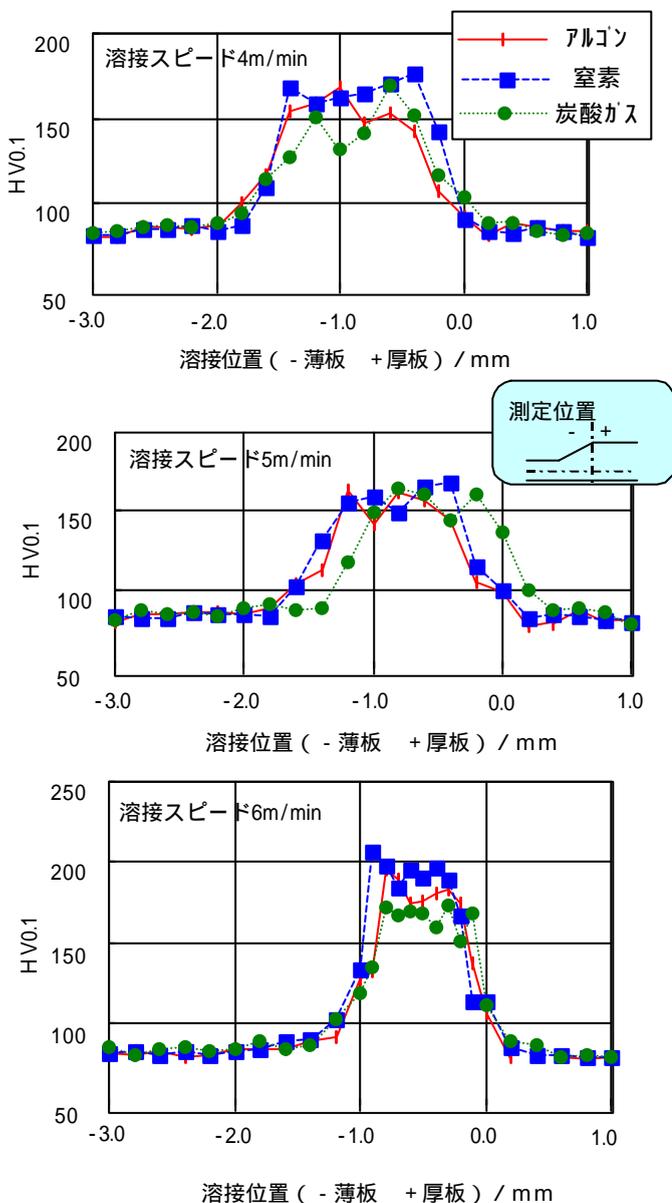


図7 シールドガス（アルゴン、窒素、炭酸ガス）と溶接スピードによる溶融部の硬さ分布

ピードを少し下げることにより、GAP裕度拡大により効果があることがわかった。この実験条件においてGAP裕度が最大0.4mmまで拡大した。シールドガス（アルゴン、窒素、炭酸ガス）の違いによるGAP、溶込形状及び機械強度、X線透過試験に変化はほとんどなかった。これは、通常の溶接では違いがあるものと思われるが、今回の実験において、板厚が薄板であること（1.2mm, 0.6mm）、溶接スピードが高速（4,5,6m/min）であること等が原因と考えられる。

4 結 言

ツインスポット光学系を用いた大出力YAGレーザーで板厚1.2mmと0.6mmの亜鉛めっき鋼板の突合せ溶接を行った。レーザー出力3500W、プリズム位置0.5,20mm、溶接スピード(4,5,6m/min)、焦点位置(-1~2mm)の加工条件が目視による溶接外観、機械強度、溶込形状及びX線透過試験に及ぼす影響を検討し、以下の結果を得た。

- (1) プリズム位置0mm（比率0.5:0.5）において、溶接スピード4m/min、狙い位置0.2mm、デフォーカス0.1mmにおいて最大GAP0.4mmの溶接が可能であった。ツインスポット光学系を用いることによりGAP裕度が最大0.1mm拡大した。
- (2) 溶込形状は、良好な形状をしており、プリズム位置0.5mmにおいて20mmよりも表ビードが拡大することがわかった。またX線透過試験において、ポロシティ等の内部欠陥等はなかった。
- (3) 引張、エリクセン試験において薄板母材0.6tで破断した。十分な継手強度が得られた。
- (4) シールドガス（アルゴン、窒素、炭酸ガス）によるGAP、溶込形状及び機械強度、X線透過試験検査での変化はほとんどなかった。

文 献

- 1) 栗山幸久：塑性と加工, 39 (1998) 453, 1009
- 2) 高砂俊之：レーザー熱加工研究会誌, 6 (1999) 2, 155
- 3) 高砂俊之：第182回塑性加工シンポジウム, (1998), 27
- 4) 塚本進：溶接学会誌72(2003)1, 20
- 5) 泰山, 福井, 青木, 木村：溶接学会全国大会講演概要65(1999), 232
- 6) 泰山, 福井, 青木, 木村：溶接学会全国大会講演概要65(1999), 234
- 7) 金岡優：機械加工現場診断シリーズ レーザ加工 日刊工業新聞社, (1999), 187