

(技術資料)

テーラードブランク材におけるレーザ溶接部の改善と実用化

Improvements and Utilization of Laser Welds in Tailored Weld Blanks



蒔野秀忠*
Hidetada Makino



岩谷二郎**
Jiro Iwaya



山中万三三***
Masami Yamanaka

Recently in automobile industry, improved vehicle crash resistance and reduced CO₂ emissions have been increasingly called for. In order to achieving those objectives, auto makers have invested heavily in researching related technologies. Research has shown that the tailored weld blank process is an effective way to increase productivity. This paper reports on study results that enable 20% faster weld speeds in actual production. This was achieved by actually defining the optimum blowing conditions of the assist-gas used to improve the quality of the laser weld.

まえがき = 自動車産業を取巻く環境はここ数年で大きく変化し、自動車の衝突安全特性に関して年々規制が強化されるとともに、個々の自動車の衝突安全特性がランク付けされるなど車体強度の向上が重要になってきている。さらに、CO₂削減に代表される環境問題に対しても動力源や駆動装置などの見直しが進められているが、車両重量軽量化も重要な課題となっている。車体軽量化では、アルミニウムやマグネシウムなどの軽金属適用も見られるが、安価な鋼板に対する期待も大きく、高強度鋼板（以下ハイテン材）使用による軽量化も進められている。

板厚や強度の異なる材料を溶接後プレスして部品とするテーラードブランク材（以下TWB材）は、部位ごとに最適な板厚と強度を選択できることで軽量化と部品強度の両立に優れており、適用部品は広範囲に広がっていくと考えられる。

ワンボックスやRV車両など比較的車両重量の大きい車種を生産するトヨタ車体㈱においては、車両重量の低減への要求は大きく、これまでもTWB材の適用が実施されてきたが、今後さらに板厚の厚い部材への適用によるTWB部品の拡大が検討されている。

しかしながら、溶接速度の遅い厚物部品へのTWB部品適用による加工設備生産能力の低下とTWB部品の適用拡大から、設備能力不足が顕在化しており、TWB部品加工設備生産能力の向上が重要な課題となってきている。

最近では、素材へのビーム吸収率の高いYAGレーザの適用による溶接速度向上も進められているが、現在でもTWB材の大半がCO₂レーザを用いた加工設備で製造されており、CO₂レーザ溶接の溶接速度を向上させることが重要である。

本報では、CO₂レーザ溶接において溶接性に与える影

響が大きいと考えられるアシストガスの吹付け条件が溶接部に与える影響を調査し、溶接速度の向上が可能な最適条件を探索した。さらに、本溶接条件をトヨタ車体㈱の実生産ラインに適用した結果について紹介する。

1. 溶接性に及ぼすアシストガス吹付け方法の影響調査

レーザ溶接では、10⁶W/cm²以上の高エネルギー密度のビームを材料に照射するため、溶接金属は瞬時に蒸発しキーホールと呼ばれる貫通穴を形成して深溶込み溶接が行われるが、このときキーホール内で発生した金属蒸気は表裏面から外部へ噴出する。CO₂レーザは波長の関係からレーザビームが噴出した金属蒸気に吸収されてプラズマ化し、さらに発生したプラズマがレーザビームを吸収・成長し、レーザビームを減衰させるため、次第に溶接ができなくなる。CO₂レーザ溶接におけるアシストガスの目的は、溶融部のシールドと同時にこの溶接金属のプラズマを冷却・除去し、CO₂レーザビームのエネルギーを効率的に溶融部に導き安定した溶接を実現することである。

一方、TWB材における接合品質に関しては、前述したようにTWB材は溶接後にプレス加工されるため、溶接部の状態によってはプレス時に溶接部割れが発生する。さらに、溶接部が周囲の鋼板より盛上がっていると、プレス金型と接触し金型の寿命を著しく悪化させる。図1にTWB材の溶接部に求められる品質をまとめた。溶接部としては、確実な裏面貫通溶接（裏面のビードの存在）と過度な断面欠損や溶接部の突起がないことが求められる。

1.1 実験方法

実験にあたってはトヨタ車体㈱の標準的な生産条件を基本とし、アシストガスの供給方法はサイドガス進行方

*鉄鋼部門・加古川製鉄所・薄板部 **鉄鋼部門・加古川製鉄所・技術研究センター ***トヨタ車体㈱・第1生産技術部

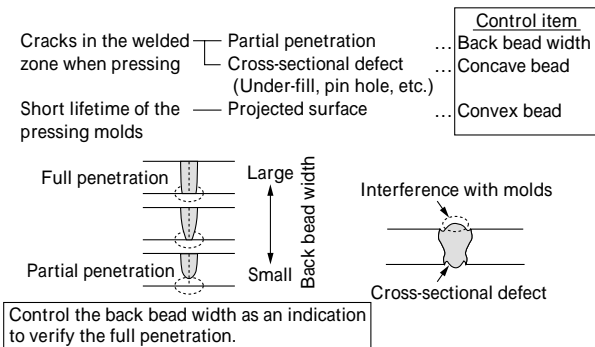


図1 テーラードブランクに求められる接合品質
Fig. 1 Joint quality for the tailored weld blanks

向前方供給, ガス吹付け角度 45 度, ガス吹付け狙い位置はレーザービーム照射部 (L = 0mm) を標準条件として, ガス流量, 吹付け角度, 吹付け狙い位置, 吹付け方向を変更して影響を確認した。また実験は、切断面や突合わせ状態の影響を除去するため、全てビードオン溶接にて実施した。使用した供試材を表 1 に、溶接条件とアシストガス吹付け条件を表 2, 表 3 に示す。

1.2 評価方法

溶接部を 20 倍に拡大した断面写真から、表面及び裏面の溶接ビード幅、ならびに表面と裏面の溶接ビードの凹凸を測定した。また溶接の安定性を見るため、表裏面の外観写真からビードの幅、凹凸の安定性を目視にて評価した。

表 1 供試材の化学成分と機械的特性

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of used material

Material	Thickness	Chemical compositions (wt%)				Mechanical properties		
		C _{eq}	C	Si	Mn	YP (MPa)	TS (MPa)	El. (%)
CR	2.19	0.052	0.04	0.02	0.15	233	335	45

$$C_{eq} = C + Si/50 + Mn/25 + Cr/25 + P/2$$

表 2 レーザ溶接条件

Table 2 Laser welding conditions

Laser power	4.0kW	Focus length	254mm
Welding speed	2.0m/min	Beam type	Twin focus 0.5mm
Focus point	- 1.0mm	Assist gas	Ar 100%

表 3 アシストガス吹付け方法の影響調査条件

Table 3 Test parameters to examine the effect of the assist gas

Gas blowing pattern	Blowing target L (mm)	Blowing angle A (deg.)	Gas flow rate V (l/min)
Forward blowing	0	45	10, 20, 30, 40, 50
		60	10, 20, 30, 40, 50
Backward blowing	- 3	45	10, 20, 30, 40, 50
Center blowing	0	90	20

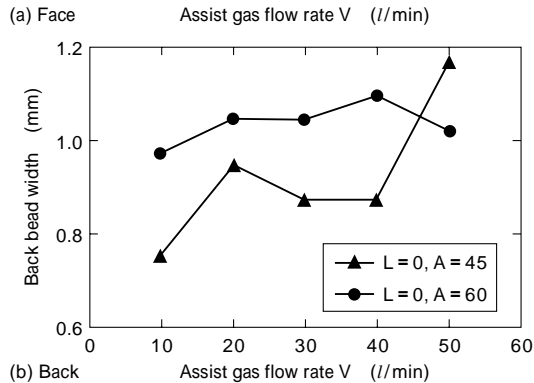
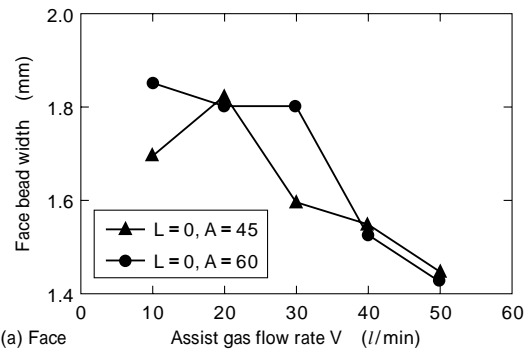
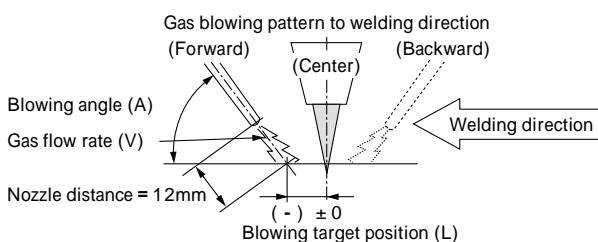


図2 溶接ビード幅に及ぼすアシストガス吹付け角度の影響

Fig. 2 Effect of side assist-gas blowing angle on weld bead width

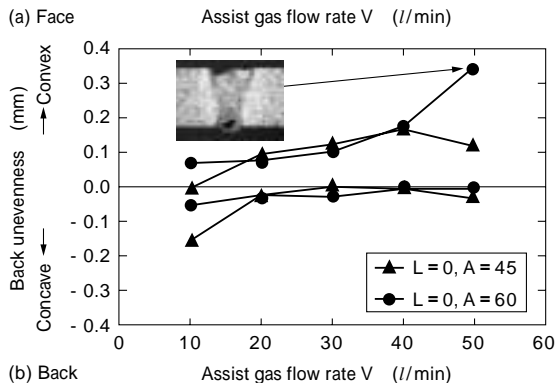
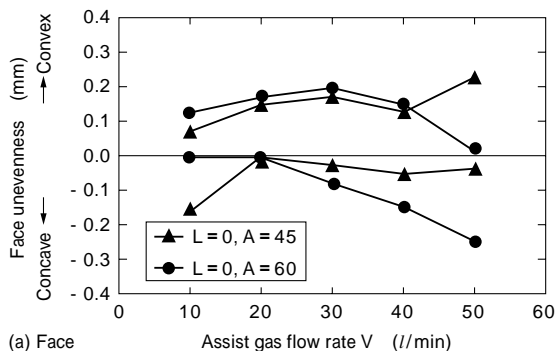


図3 溶接ビード形状に及ぼすアシストガス吹付け角度の影響

Fig. 3 Effect of side assist-gas blowing angle on weld bead unevenness

1.3 実験結果

1.3.1 アシストガス吹付け角度の影響

アシストガス吹付け角度が 45 度と 60 度の場合の溶接ビード幅及び溶接ビード凹凸を、図 2 と図 3 に示す。標準的に使用する吹付け角度 45 度に対し、60 度の場合は 30 l/min 以下で表面のビード幅が広がる傾向が見られる。また溶接部品質に重要な裏面ビード幅においても、10 ~ 40 l/min までのガス流量範囲で吹付け角度 60 度の方がビード幅が広く、流量によるビード幅の変動も少ない。一方、ビードの凹凸形状については、吹付け角度 45 度

表4 ハンピングビード発生状況

Table 4 Generating situation of humping bead

		Assist gas flow rate V (l/min)				
		10	20	30	40	50
L = 0, A = 45 (Standard condition)	Face	None	None	None	Small	Small
	Back	Medium	None	None	None	None
L = 0, A = 60	Face	None	None	Small	Small	Large
	Back	Medium	Small	Small	None	None
L = -3, A = 45	Face	None	None	None	None	None
	Back	None	None	None	None	None

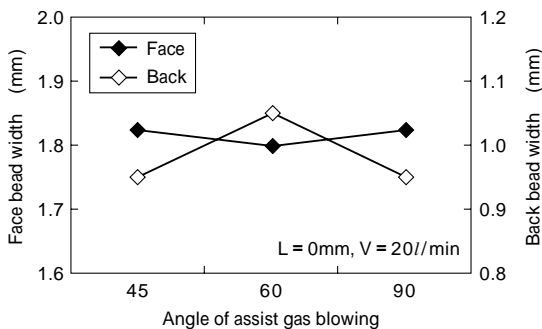


図4 溶接ビード幅に及ぼすアシストガス吹付け角度の影響 (ガス流量: 20l/min)

Fig. 4 Effect of side assist-gas blowing angle on weld bead width (Gas flow rate=20l/min)

と比較し 60 度の場合には、ガス流量の増加とともに表面のビードに凹みが生じ、また裏面ビードの凹凸もガス流量が 50l/min で急激に凸形状が発生した。表面のビードの凹みは、吹付け角度が 60 度になると溶融池に対するガスの押付け圧が強くなるためと考えられる。また裏面のビードは、図 3 に添付の写真のようにアシストガスが巻込まれた結果と考えられる。さらに、ビード形状の安定性を表 4 に示す。吹付け角度 60 度ではハンピングビードが発生する領域が広がっており、ビード凹凸及び安定性の面では 45 度吹付けの方が優れていると考えられる。

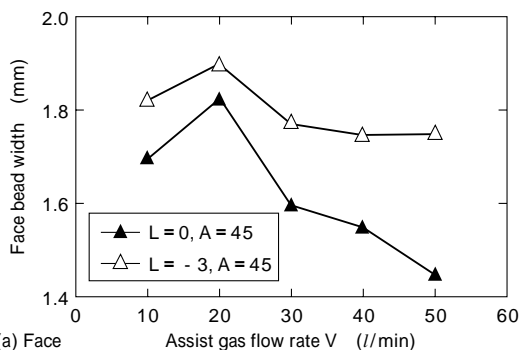
ここでアシストガス流量 20l/min において、サイドガス供給 (吹付け角度 45, 60 度) とセンタガス供給 (90 度) を比較した結果を図 4 に示す。前述のとおり、サイドガスの吹付け角度を 45 度から 60 度にする、裏面ビード幅は広がるが、さらに角度が上がったセンタガス (90 度) では、逆に裏面ビード幅が狭くなることわかった。これは、センタガスの場合はアシストガスが真上からプラズマを押下げるため、プラズマが移動しにくくビームを吸収しやすいためだと考えられる。

これらの結果から、裏面ビード幅を広げるにはサイドガス供給で吹付け角度を 60 度にするのが有効であると考えられる。

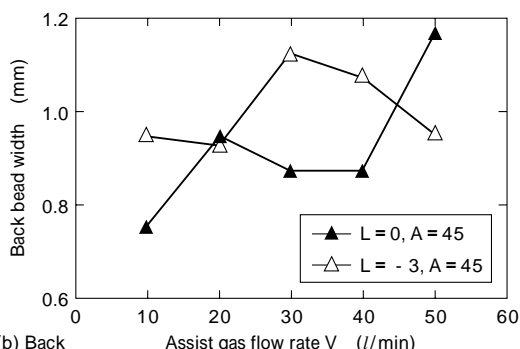
1.3.2 アシストガス吹付け位置の影響

アシストガスをキーホール部 (0mm) に吹付ける標準的な生産条件に対して、吹付け位置をキーホール前方 3mm に変更したときの効果を図 5、図 6 に示す。

表面のビード幅は、キーホール前方 3mm に吹付けた場合にはガス流量 10~50l/min の全ての範囲で広がる。また、裏面のビード幅もガス流量によりばらつきは有るものの、3mm 前方に吹付けたときの方が広がる傾向があることがわかった。



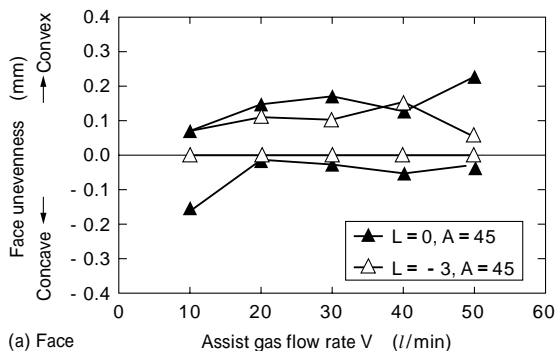
(a) Face



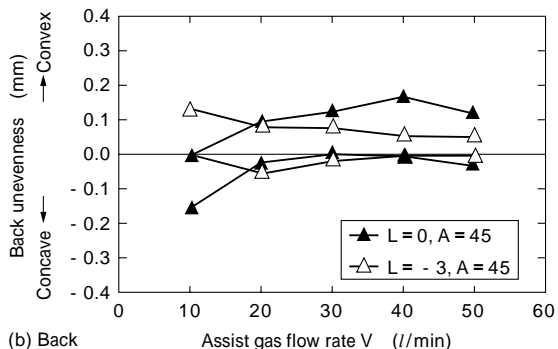
(b) Back

図5 溶接ビード幅に及ぼすアシストガス吹付け位置の影響

Fig. 5 Effect of side assist-gas blowing target position on weld bead width



(a) Face



(b) Back

図6 溶接ビード形状に及ぼすアシストガス吹付け位置の影響

Fig. 6 Effect of side assist-gas blowing target position on weld bead unevenness

ビードの凹凸については、吹付け位置をキーホール部からずらすことで表面の凹凸形状を大幅に改善し、特に凹形状は全てのガス流量で凹みが発生しなかった。また、裏面凹凸についても高流量領域でアシストガスの巻込みがなく、ガス流量が多くなるほど凹凸が少なくなる結果となった。さらに表 4 に示すハンピングビードも、表裏面とも安定している。

この結果から、アシストガスの吹付け位置をキーホールからずらすことは、溶接部の凹凸及び安定性改善に有効であり、特に大流量時に効果が高いことがわかった。

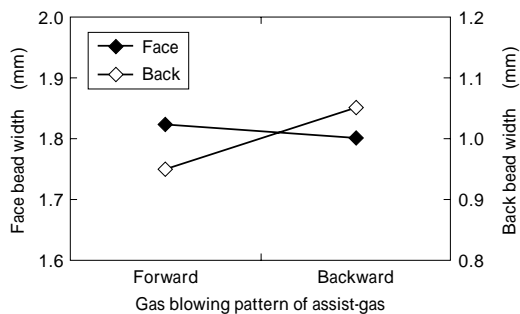


図7 溶接ビード幅に及ぼすアシストガス吹付け方向の影響 (ガス流量=20l/min)

Fig. 7 Effect of side assist-gas blowing pattern on weld bead width (Gas flow rate = 20l/min)

1.3.3 アシストガス吹付け方向の影響

ガス流量 20l/min において、溶接進行方向に対し前方からアシストガスを吹付ける場合と後方から吹付ける場合のビード幅を比較した結果を、図7に示す。

通常実施している前方吹付けに対し後方から吹付けた場合は、表面ビード幅はほぼ同等であるが、裏面のビード幅は改善されることが確認できた。

アシストガスの後方吹付けでは、発生したプラズマを後方から溶接部前方に送ることにより何らかの材料予熱効果があり、裏面ビード幅拡大につながっているのではないかと推測できる。

1.3.4 結果のまとめ

今回のアシストガスの吹付け方法の影響を調査した結果について、以下にまとめる。

吹付け角度 45 度に対し 60 度とすることで、ガス流量 10 ~ 40l/min の範囲で裏面のビード幅が広がるが、表面の凹凸形状はガス流量が 30l/min 以上では悪化する。

吹付け位置をキーホールから 3mm 前方へずらすことで、10 ~ 40l/min の流量域で表裏面ともにビード幅が広がり、さらにビード凹凸形状も安定する。

ガス流量 20l/min の場合では、アシストガスを溶接進行方向の前方から吹付けるより、後方から吹付けるほうが裏面ビード幅は広がる。

この結果から、凹凸のない溶接形状で確実な裏面ビードを実現するには、アシストガス吹付け角度 60 度、吹付け位置 - 3mm とするアシストガス吹付け条件が良いと

考えられる。さらに溶接進行方向の後方からアシストガスを供給することで、ビード幅の拡大が見込まれる。

2. 実生産設備への適用

実験設備においてアシストガス吹付けの影響が明確となったため、トヨタ車体㈱の実生産設備への適用を行った。

2.1 適用条件

当初、アシストガス吹付け角度 60 度、吹付け狙い位置 - 3mm、ガス流量 30 ~ 40l/min の条件により生産設備への適用を行ったが、溶接ヘッド後方にある溶接ビード検査装置のセンサにヒュームが付着し、検査装置が誤作動する問題が多発した。さらに、溶接ビード検査装置の配置上、アシストガスの後方吹付けはできない構成であるため、アシストガス前方吹付け、吹付け角度 60 度、吹付け狙い位置 0mm、ガス流量 35l/min の条件を適用し評価した。

2.2 適用結果

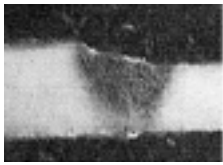
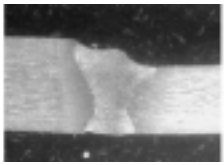
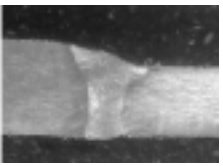
実生産設備にて標準的な溶接条件と改善後の溶接条件で溶接し、溶接部の断面を評価した。表5に実機適用結果の一例を示す。吹付け条件の見直しにより、裏面のビード幅を 0.70 から 0.86mm に広げることが可能となった。

この結果から、溶接速度を 2.5 から 3.0m/min まで上げて、増速による入熱不足を補うためレーザ出力を 4.5kW に高めて溶接性を評価した。増速後の裏面ビード幅は 0.71mm であり、標準条件とほぼ同等の値となった。さらに量産における接合不良の発生率も、従来実施してきた標準条件と変わらないレベルとなった。

むすび = TWB 部品の適用拡大が進む中、生産性向上のためレーザ出力を高めて溶接速度向上にトライしたが、溶接が不安定となり断念した経緯がある。今回、当社においてアシストガス吹付けの影響を明確にし、トヨタ車体㈱の実生産設備へ適用することにより TWB 材の溶接速度を改善し、生産性を向上させることが可能となった。

表5 実機適用結果の一例 (2.0t-1.4t 溶接)

Table 5 Example of application result in mass-production equipment (2.0t-1.4t weld)

	Before improvement	After improvement	After increasing speed
Laser power (kW)	4.0	4.0	4.5
Welding speed (m/min)	2.5	2.5	3.0
Blowing angle A (deg.)	45	60	60
Target position L (mm)	0	0	0
Gas flow rate V (l/min)	30	35	35
Cross-section view			
Face bead width (mm)	1.70	1.91	1.67
Back bead width (mm)	0.70	0.86	0.71