

レーザ・アークハイブリッド溶接における横向水平 溶接の板厚範囲拡張に関する検討

中田, 智也
九州大学大学院工学府 : 修士課程

内村, 友哉
九州大学工学部技術部

上村, 崇杜
九州大学大学院工学府 : 博士後期課程

後藤, 浩二
九州大学大学院工学研究院海洋システム工学部門

<https://hdl.handle.net/2324/6757884>

出版情報 : 溶接学会九州支部講演論文集. (18), pp.29-32, 2021. 溶接学会九州支部
バージョン :
権利関係 :



レーザ・アークハイブリッド溶接における横向水平溶接の 板厚範囲拡張に関する検討^{*1}

中田智也^{*2} 内村友哉^{*3} 上村崇杜^{*4} 後藤浩二^{*5}**Key Words:** レーザ・アークハイブリッド溶接, 横向姿勢, 表当て材

1. 緒 言

レーザ・アークハイブリッド溶接（以下、ハイブリッド溶接と称す）は 1980 年代頃から欧州を中心として研究が行われ¹⁾, 2000 年代には欧州の客船や艦艇向けの生産ラインへ導入された²⁾溶接法である。ハイブリッド溶接は、レーザ溶接の長所である熱源集中による深溶込みの達成と高速溶接施工、アーク溶接の長所である開先精度要求に柔軟に対応可能な点を兼ね備えていることから、船舶などの大型溶接構造物を高精度で建造可能な、比較的新しい溶接法であり、その適用範囲の拡大が切望されている。

船舶全体の建造量を見ると一般商船が占める割合が大多数であり、これに適用される部材板厚は 10 mm から 30 mm が大半であるが、20 mm 以上の板厚に対するハイブリッド溶接法の研究事例は少ないため、20 mm を超える板厚に対する溶接施工法を確立させる必要がある。また、船体建造工程においては下向姿勢に限らず横向姿勢、立向姿勢など種々の溶接姿勢が混在するため、ハイブリッド溶接法をこれらの溶接姿勢に対応させることも期待される。横向姿勢に対するハイブリッド溶接（以下、LAHW-HB と称する。）の研究報告³⁾は種々存在するが、それらの研究成果は 10 mm 級の板厚であること、継手製作には 2 パス以上での施工が必要とされる状況である。著者らは先行研究として LAHW-HB に関する検討を行い、板厚 12 mm および 16 mm に対する溶接長 1,000 mm の突合せ継手製作を試み⁴⁾, 施工条件の検討により更なる板厚範囲の拡張が期待されることを示している。そこで本研究では、先行研究⁴⁾の技術的知見に基づく LAHW-HB の適用板厚範囲拡張を目的とし、板厚 20 mm の突合せ継手製作を試み、施工法確立に向けた課題の整理を行った。

2. 供試材及び施工方法

供試材はプラズマ切断の A 形開先⁵⁾を有する板長 300 mm, 板幅 100 mm, 板厚 20 mm の船体用圧延鋼材 KA36 鋼である。著者らの先行研究⁴⁾を基に、アーク溶接には低スパッタ化が実現可能な KC-550 (JIS Z 3312: YGW18, ワイヤ径 1.6 mm) を溶接ワイヤとして使用する J-STAR® Welding⁶⁾ を使用した。供試材 (KA36 鋼) および溶接ワイヤ (KC-550) の化学成分および機械的性質を **Table 1** に示す。アーク溶接のシールドガスは純炭酸ガス (30 l/min, 0.3 MPa) とした。

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of applied steel plate and weld wire.

	Chemical compositions [mass %]					Mechanical properties		
	C	Si	Mn	P	S	σ_Y [MPa]	σ_B [MPa]	Elong. [%]
KA36	0.16	0.23	0.99	0.02	0.006	389	523	25
KC-550	0.05	0.7	1.9	0.01	0.01	571	621	30

^{*1} 原稿受付 令和 3 年 8 月 6 日 令和 3 年度九州支部研究発表会で発表^{*2} 九州大学 大学院工学府 修士課程 Master course, Graduate School of Engineering, Kyushu University^{*3} 九州大学 工学部技術部 Technical Division, School of Engineering, Kyushu University^{*4} 学生会員 九州大学 大学院工学府 博士後期課程 Student member, Doctoral Course, Graduate School of Engineering, Kyushu University^{*5} 正会員 九州大学 大学院工学研究院 海洋システム工学部門 Member, Department of Marine System Engineering, Kyushu University

本研究において使用したレーザヘッドとアークトーチの配置の概略図を **Fig. 1** に示す。ルートギャップは設けずに炭酸ガスアーク溶接により始末端（端部から 10 mm）の位置に点仮付溶接をした。仮付溶接後の供試材表側におけるルートギャップの様子を **Fig. 2** に示す。

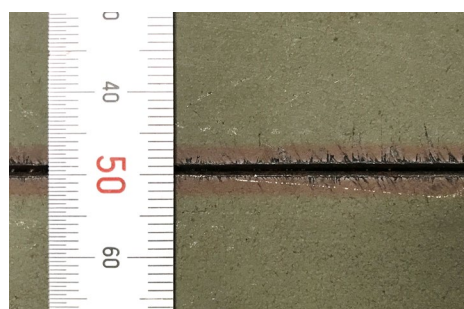
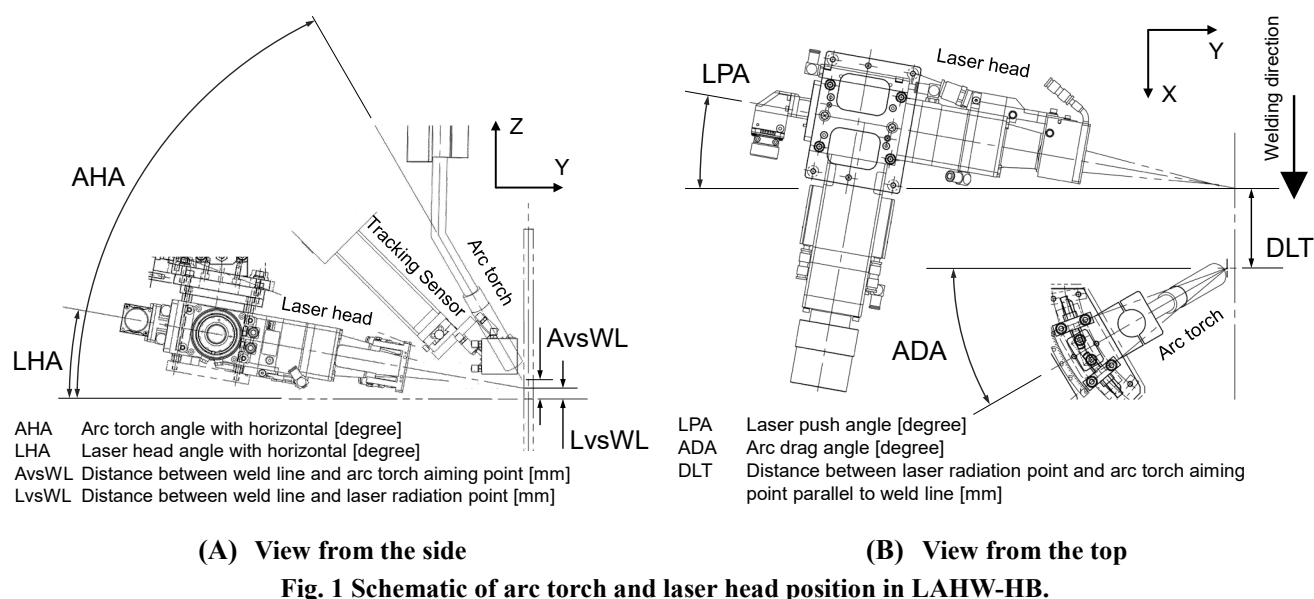


Fig. 2 Appearance of groove at front side.

Table 2 Welding condition.

Test ID.	HB1	HB-S1	HB-S2
Arc current [A]	400	300	400
Arc voltage [V]	36.0	26.0	36.0
Laser power [kW]	16.0	16.0	16.0
LvsWL [mm] (Ref. Fig. 1)	+ 0.0	+ 0.5	+ 0.5
Travel speed [mm/min]	800	800	800
Supporting sheet (Block)	Nothing	Applied	Applied

3. 横向水平突合せ溶接施工

先行研究⁴⁾を基に板厚 20 mm に対する溶接条件導出を試行錯誤的に試み、**Table 2**（Test ID. HB1）に示す施工条件で安定した施工可能であることを確認した。試験 ID. HB1 により施工した突合せ継手のビード外観を **Fig. 3** に、溶接長の中央断面位置におけるマクロ試験結果を **Fig. 4** に示す。外観検査では表面欠陥は確認されず、概ね溶接線全線で美しい溶接ビードを取得したが表ビードにおいて熔融金属の垂れを確認した。マクロ断面観察では融合不良を確認した。以上の結果より、板厚 20 mm に対する LAHW-HB 施工について、先行研究から発展した施工法の検討が必要であることを確認した。

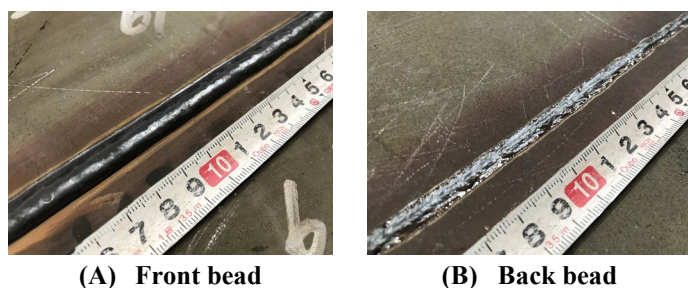


Fig. 3 Photograph of bead appearance.

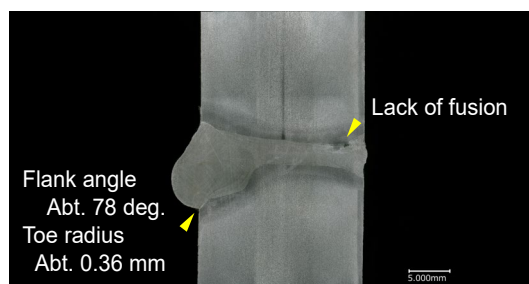


Fig. 4 Result of macroscopic test, HB1.

4. 表当て材の検討

4.1. 表当て材

表ビードの垂れの改善策として溶加材供給量の抑制が挙げられるが、溶加材供給量を抑制した場合、裏ビードの余盛不足が懸念される。そこで、表ビードの垂れを抑制しつつ、抑制した溶融金属を裏面へ流すことを目的に表当て材を使用した LAHW-HB 施工検討を試みた。本来、表当て材は横向姿勢のアーク溶接作業において溶接ビードの垂れを防止するための支援材として、一部の溶接作業者が使用する。本試験では調達の都合上、表当て材に近い材料とされる裏当て材（神戸製鋼所製、FAMILIARC FB-B3 A）の耐火材ブロック（Fig. 5）を簡易表当て材として代用した。LAHW-HB 施工における表当て材の役割について、その概略図を Fig. 6 に示し、簡易表当て材設置時の様子を Fig. 7 に示す。

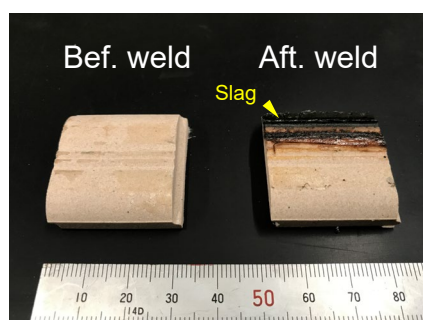


Fig. 5 Molded refractory.

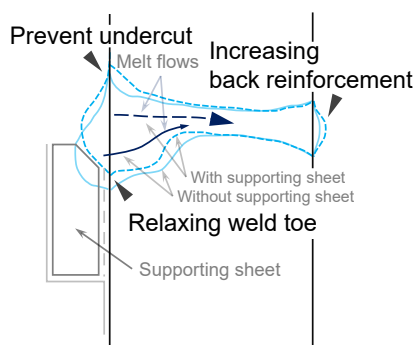


Fig. 6 Mechanism of LAHW-HB.



Fig. 7 LAHW-HB with supporting sheet.

4.2. 施工結果

表当て材を適用した試験 ID. HB-S1 および HB-S2 により製作した突合せ継手のビード外観を Fig. 8 および Fig. 9 に示す。試験 ID. HB-S1 は表当て材を適用することで表ビードの垂れが抑制され、溶接全線にわたり、均一なビード高さとビード幅が得られた。しかしながら、裏ビードの余盛は溶接長が長くなるにつれて漸減する傾向が確認された。一方、ワイヤ供給速度を上げて溶接施工された試験 ID. HB-S2 で得られたビード外観は、表ビードならびに裏ビードともに試験 ID. HB-S1 のビード外観よりも良好であった。



(A) Front bead



(B) Back bead

Fig. 8 Bead appearance of test ID. HB-S1.



(A) Front bead



(B) Back bead

Fig. 9 Bead appearance of test ID. HB-S2.

良好なビード外観が得られた試験 ID. HB-S2 について、溶接長の中央位置断面においてマクロ試験および硬さ試験を実施した。試験 ID. HB-S2 から取得したマクロ試験結果を Fig. 10 に、ビッカース硬さ試験結果を Fig. 11 に示す。Fig. 4 に示した断面マクロ観察写真と比較して表ビードの垂れおよび裏ビードの余盛不足が改善されたことが確認された。藤崎らの研究⁷⁾による突合せ継手における応力集中係数の近似式(1)を用いて応力集中係数を概算すると、試験 ID. HB1 では $K_t=3.1$ 、HB-S2 では $K_t=2.1$ と計算されることから、表当て材を用いた本施工法を採用すると、継手の疲労強度の向上にも効果的であると考えられる。

試験 ID. HB-S2 の断面マクロ観察写真からは融合不良等は確認されなかった。また、ビッカース硬さ分布の測定結果を Fig. 11 に示すが、日本海事協会が発行する「レーザ・アークハイブリッド溶接ガイドライン」⁸⁾内で定められる硬さ試験項の上限要求値（380 HV）を超えないことも確認した。以上の施工結果から、本施工法は板厚 20 mm に対する LAHW-HB の有力な施工法のひとつであると期待できる。

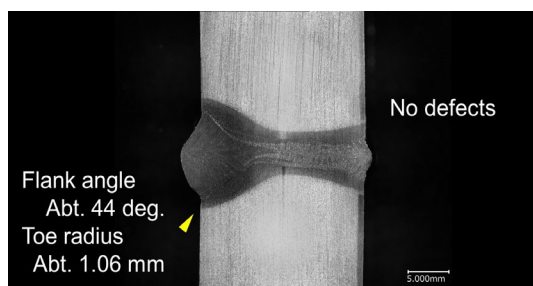
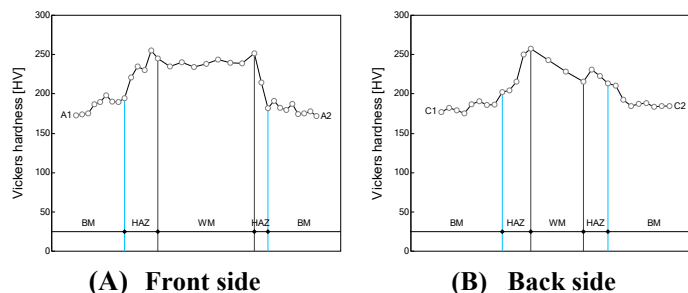


Fig. 10 Result of macroscopic test, HB-S2.



(A) Front side

(B) Back side

Fig. 11 Result of Vickers hardness.

$$K_t = 1 + C \cdot F(h/t) \cdot F(w/t) \cdot F(\theta) \cdot (t/\rho)^{0.5} \quad (1)$$

$$F(h/t) = 1.0 - \exp(-10.4 \cdot (h/t)^{0.70})$$

$$F(w/t) = 1.0 - \exp(-4.92 \cdot (w/t)^{1.13})$$

$$F(\theta) = \{1.0 - \exp(-4.10 \cdot (\rho/t)^{0.10} \cdot (\pi/180) \cdot \theta)\} / \{1.0 - \exp(-4.10 \cdot (\rho/t)^{0.10} \cdot (\pi/2))\}$$

$$C = 0.322$$

h : 余盛高さ [mm], t : 板厚 [mm], w : 余盛幅 [mm], θ : フランク角 [degree], ρ : 切欠き半径 [mm]

5. 結 言

本研究ではハイブリッド溶接における横向水平溶接の板厚範囲拡張を目的として、板厚 20 mm に対する片側貫通完全溶込み 1 パス溶接の突合せ継手製作ならびに表当て材に関する検討を試みた。以下に、本研究で得られた知見ならびに考察を示す。

- (1) 板厚 20 mm の片側貫通完全溶込み 1 パス溶接による突合せ継手製作は可能であるものの、溶融金属量を調整し表ビードの垂れを抑制する必要があることを確認した。
- (2) 表当て材による表ビードの垂れを防ぐことで、溶接継手の応力集中低減すなわち疲労強度の向上に効果があると推察される。また、表側で抑制した溶融金属を裏側に流すことで裏ビードの余盛不足の改善が可能である。
- (3) 各種検討から得られた施工条件を基とした 1 m 以上の長尺施工の実施、正規の表当て材使用による検討、冷水銅板等を使用した簡易表当て装置の検討および各種溶接ワイヤを用いた検討が今後の課題である。

参 考 文 献

- 1) For example, Steen W.M. and Eboo M.: Arc augmented laser welding, Metal construction incorporating The British Welding Journal, 11-7 (1979), 332-335.
- 2) For example, Roland F, et al.: Advanced Joining Techniques in European Shipbuilding, Journal of ship production and design, 20-3 (2004), 200-210.
- 3) For example, Sun JH, et al.: Fiber laser welding of thick AISI 304 plate in a horizontal (2G) butt joint configuration, Materials & design, 118 (2017), 53-65.
- 4) Uemura, T., et al.: Studies on Expansion of Laser-Arc Hybrid Welding to Horizontal and Vertical-Up Welding, The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, 32 (2021), 427-431. (in Japanese)
- 5) Uchino, I., et al.: A Study on Adopting A-Shape Groove for Laser-Arc Hybrid Welding to Construct Thick Plate Butt Welded Joints, Quarterly journal of the Japan Welding Society, 38-4 (2020), 403-417. (in Japanese)
- 6) T. Kataoka, et al.: Development of Ultra-low Spatter CO₂ Gas-shielded Arc Welding Process “J-STAR® Welding”, JFE technical report, 10 (2007), 31-34.
- 7) W. Fujisaki, et al.: Effects of Reinforcement Geometry and Welding Condition on Stress Concentration Factor of Butt Welded Joint, Journal of the japan welding society, 39-446 (1990), 1533-1538. (in Japanese)
- 8) Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK): Guidelines on Laser-Arc Hybrid Welding <Ver. 3>, 2016.