

ステンレス鋼のレーザー溶接に及ぼす溶接姿勢の影響

北海道立総合研究機構工業試験場 ○櫻庭洋平, 安田星季, 三戸正道, 宮腰康樹, 中嶋快雄, 相山英明

要 旨

高出力レーザーによる溶接は、加工点のエネルギー密度が他の溶接法と比べ格段に高いため、溶接部が小さくなり製品の軽量化やひずみ処理を簡略化できるという利点がある。しかしながら、溶接姿勢を変えた場合の溶接品質についての情報は少ない。本稿では代表的なステンレス鋼（SUS304, SUS430）を対象に、溶接品質に及ぼす溶接姿勢の影響を強度や内部欠陥の状態で評価し、溶接姿勢によらず品質を安定化する方法について検討した。

1. 研究目的

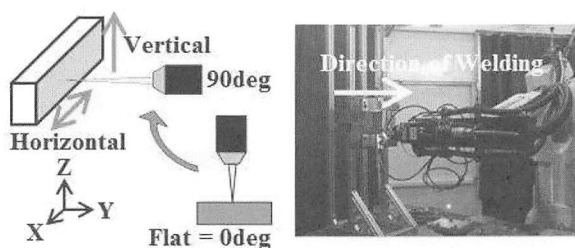
高出力レーザーによる溶接は、加工点のエネルギー密度がアーク溶接などと比べ格段に高いため、幅が小さくかつ溶込みの深い溶接ビードが得られる¹⁾。これにより小さな溶接継手で製品を軽量化することや、ひずみが小さいことでひずみ処理工程の簡略化が可能となり、製品設計および製造現場の両方から効果が期待されている。しかしながら、レーザー溶接の溶接条件については、下向溶接の溶接速度と溶込み深さの関係など、ごく限られた情報以外はほとんど公開されておらず、溶接実務者が必要とする実際の作業と照らし合わせた現場向けの技術情報は多くない。

本研究ではレーザー溶接時の溶接姿勢が品質に及ぼす影響に着目し、代表的なステンレス鋼の溶接部の、外観・強度・内部欠陥などに溶接姿勢が及ぼす影響を評価し、その対策を検討した。

2. 研究方法

研究を進めるにあたり、下向突き合わせ溶接の良好な溶接条件を抽出し、これを基準溶接条件とした。次にこの基準溶接条件により他の姿勢の溶接試験を行い、下向溶接と同等程度の品質が得られた場合には、そのままこの姿勢の良好溶接条件とし、良好な溶接が得られなかった場合のみ、個々に溶接条件を修正することとした。

溶接姿勢は、JIS で定められた下向 (0°) を基準姿勢とし、壁面での垂直方向溶接 (90° 立向) と壁面水平方向溶接 (90° 横向)、これに傾向比較用の斜め下方向の溶接 (45° 横向) を加えた、合計4姿勢で行った (図1)。基準溶接条件の抽出および修正は、最初にレーザー出力を100W単位で増減させ、ウラ面まで溶接ビードが貫通する出力を確認し

図1 溶接姿勢 (左: 概念図 右: 90° 横向姿勢)

た後、50W 単位の微調整でレーザー出力を決定した。その後、シールドガスの配置や流量を10L/min単位で調整した。

実験材料は SUS304 と SUS430 のステンレス鋼2種類とし、長さ100mm×幅20mm×板厚2.0mmの試験片の端部を突き合わせ溶接した (図2, 図3)。溶接速度は600mm/min (=10mm/s) 固定とし、レーザーの集光レンズは焦点径: 0.30mmのものを使用した。

溶接継手の評価について、外観の評価は溶込み不良、機械的除去が必要な過度な焼け、板厚の2割以上に及ぶ凹部 (アンダーカット) の有無で良否を判定した。また溶接品質の評価は、強度試験による破壊評価と X線 CT画像による内部欠陥の観察により行った。強度試験は JIS Z2241 に準拠した引張試験を行い、JIS の13B号試験片が母材破断または母材の95%以上で溶接部破断し、かつ溶接姿勢間のばらつきが $\pm 10\%$ 以内に収まった場合を良好とした。また内部欠陥の評価は、X線 CT画像から割れが確認されず、かつ直径0.05mm以上のポロシティ総量が溶接部体積の2%以内に収まる場合を良好とした。

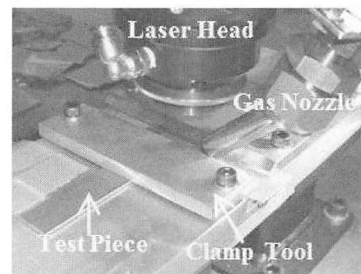


図2 溶接試験状況

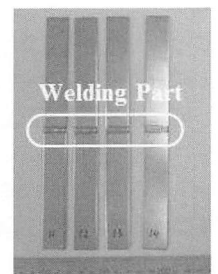


図3 溶接試験片

3. 結果・考察

3.1 基準溶接条件の抽出

最初にファイバーレーザーによる下向突き合わせ溶接の溶接条件の抽出を行った。図4に SUS304 での経過を示す。

SUS304 の場合、(a)700W以下ではウラ面まで熔融池が貫通せず、(b)850W以上では表面が黒色酸化するため、双方を満足する(c)の750Wを基準のレーザー出力とした。続いてシールドガスの配置と流量の調整を行い、 N_2 ガスを溶接部の斜め後方と背面の両面から(d)合計30L/min供給した場合に焼けが最も少なくなり、これをガスの基準条件とした。

SUS430 についても同様の評価を行い、それぞれ表 1 のとおり基準となる下向溶接条件を抽出した。

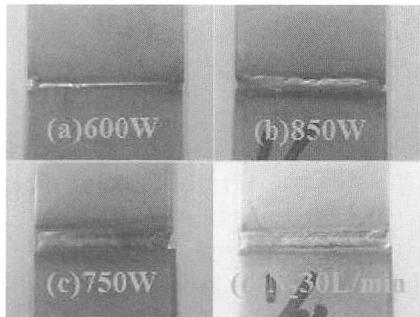


図 4 基準溶接条件の抽出経過 (SUS304)

表 1 基準溶接条件

Material	Tick-ness (mm)	Laser Conditions		Shielding Gas Conditions		
		Power (W)	Wave	Gas	Side (L/min)	Back (L/min)
SUS304	2.0	750	CW	N ₂	15	15
SUS430	2.0	900	CW	N ₂	10	10

3.2 溶接姿勢の変更による溶接状態の変化と対策

前項の基準溶接条件で溶接姿勢を変えたところ、SUS430 の横向溶接のみ熔融池がウラ面まで貫通しなかった。この原因は、熔融池が重力で自然にウラ面に流れる下向溶接と異なり、他の姿勢では重力が働かないため、粘性の高い SUS430 で溶込み不良が生じたものと考えられる。

この対策として、レーザー出力を高め熔融池を拡大する方法や、シールドガスに酸素を添加し熔融池の粘性を低下させる方法²⁾などが考えられ、本研究ではレーザー出力の調整で対処し、表 2 の溶接条件により溶接品質を改善した。

表 2 溶接条件の修正

Material	Welding Position	Modification Point	Before		After	
			Before	After	Before	After
SUS304	90 deg-V	Gas Flow Rate	15L + 15L	→	10L + 10L	
			Laser Power	900 CW	→	1,100 CW
SUS430	90 deg-H	Laser Power	900 CW	→	1,100 CW	
			Gas Flow Rate	10L + 10L	→	5L + 5L

3.3 溶接条件修正後の溶接状態の比較

引張試験の結果を表 3 に示す。SUS430 は全て母材部から破断した。一方、SUS304 はほぼ全て溶接部破断であったが、良好と判定される母材比 95%以上の強度が得られた。また、溶接姿勢間のばらつきは SUS304 で±2.44%、SUS430 で±1.17%となり、いずれも全ての溶接姿勢で良好かつばらつき±10%以内に収まることを確認した。(表 3)

次に内部欠陥の観察では、X 線 CT 画像から全ての試験片で直径 0.05mm 以上の点状ポロシティが確認されたが、これらが亀裂状に繋がった空隙(溶接割れ)は確認されなかった(図 5)。また、体積割合のばらつきについては溶接姿勢間で 2~3 倍と大きいですが、表 4 のとおり全ての溶接姿勢で目標の 2%以下に収まることを確認し、内部欠陥においても溶接姿勢毎の溶接条件が良好であることを確認した。

表 3 溶接姿勢ごとの引張強度

Material	Evaluation Items	0 deg-F	45 deg-H	90 deg-H	90 deg-V
SUS304 (Ave: 639.8 MPa)	Max.Strength[MPa]	652.4	653.9	659.0	655.1
	Min.Strength[MPa]	645.5	642.9	644.7	644.5
	Ave.Strength[MPa]	647.8	650.0	654.3	651.7
	Standard Deviation[-]	3.24	5.19	6.92	4.92
	Comparison to Virgin Material[Ave.%]	101.25	101.59	102.27	101.86
	Dispersion[%]	2.44			
SUS430 (Ave: 497.9 MPa)	Max.Strength[MPa]	463.9	465.6	467.1	464.6
	Min.Strength[MPa]	462.2	462.0	461.6	462.5
	Ave.Strength[MPa]	463.1	464.0	464.0	463.5
	Standard Deviation[-]	0.88	1.86	2.38	0.85
	Comparison to Virgin Material[Ave.%]	93.01	93.18	93.18	93.10
	Dispersion[%]	1.17			

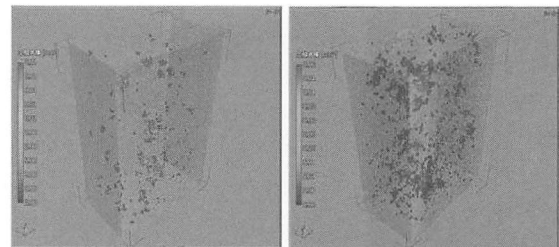


図 5 ポロシティ分布

(左: SUS304 下向 右: SUS430 立向)

表 4 溶接姿勢ごとのポロシティ体積割合

Material	Rate of Porosity(%)			
	0 deg-F	45 deg-H	90 deg-H	90 deg-V
SUS304	0.229	0.165	0.205	0.507
SUS430	0.312	0.819	0.706	0.601

4. 結語

本研究により、ステンレス鋼の薄板突き合わせ溶接における、溶接姿勢ごとの良好なレーザー溶接条件を抽出した。これにより、強度や欠陥体積のばらつきが少ない、安定した溶接品質が得られることを確認した。

今後はこれらの知見をもとに、地元企業のレーザー加工技術や溶接・接合技術の支援に活用していく。

謝辞

本研究は(独) 科学技術振興機構の研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラムにより実施し、使用したレーザー加工・溶接装置は、同機構の地域産学官共同研究拠点整備事業により整備されました。記して感謝いたします。

引用文献

- (1)池田正幸・藤岡知夫・堀池靖浩・丸尾大・吉川省吾，“レーザープロセス技術ハンドブック普及版”，朝倉書店(2009)，pp.118.
- (2)塚本進，“レーザーおよびハイブリッド溶接におけるキーホルの安定化とポロシティの防止－酸素添加による効果－”，第 73 回レーザー加工学会講演論文集，Vol.73(2010)，pp.73-80.