

技術紹介



金属積層造形向け回転 TIG 溶接技術の開発

Development of rotary TIG welding technology for wire and arc additive manufacturing

野本 宗一郎* 金丸 周平* 和田 勝則* 佐々木 智章**
 NOMOTO Soichiro KANEMARU Shuhei WADA Katsunori SASAKI Tomoaki

1. はじめに

金属 3D プリンタによる積層造形(Additive Manufacturing,以下 AM)は、製造技術のイノベーションとして年々存在感が増している。代表的な方式のひとつに DED(Directed Energy Deposition)がある。これは、ワイヤ或いは、粉末の金属材料をトーチ先端で溶融・堆積させながら、ロボットアーム等によってトーチを自由移動させて造形を行うものである(図 1)。

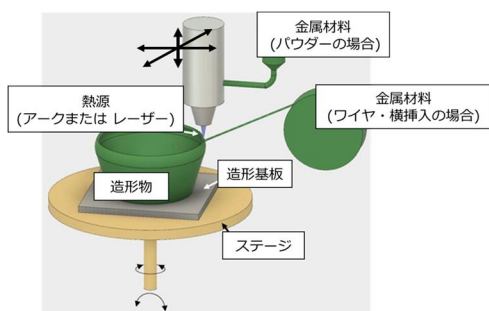


図 1 DED 方式の模式図¹⁾

DED の中でも材料・熱源によってプロセスが分かれ、アーク放電により溶接ワイヤを溶融・積層し 3 次元造形を行う Wire and Arc Additive Manufacturing (以下 WAAM)は造形速度が高く、大型製品の造形に適しており、広く注目を集めている(表 1)。

表 1 主要な DED 金属積層造形プロセスの比較

プロセス	Wire-Arc(WAAM)	Wire-Laser	Powder-Laser
材料形状	金属ワイヤ	金属ワイヤ	金属パウダー
熱源	アーク放電	レーザー	レーザー
造形速度 ²⁾	200~1000 cc/h	100~1000 cc/h	100~200 cc/h
特徴	大型・高速造形	高精度	高精度

アーク溶接は、消費電極式溶接である MIG 溶接と非消費電極式溶接である TIG 溶接の 2 つに分類される。WAAM においては移動方向の自由度が高く、か

つ溶着速度に優れた MIG 溶接が主に採用されている。

MIG 溶接は TIG 溶接と比較して、溶着速度の優位性はあるが、スパッタの発生量や内部欠陥の出来やすさに関して TIG 溶接に劣る³⁾。

TIG 溶接は一般的に MIG 溶接と比較して、高品位な造形が可能である。しかしながら、既存の TIG 溶接プロセスでは、ワイヤを移動方向に対して一定方向から供給するため、移動方向に応じてトーチの向きを合わせる制御が必要となる(図 2)。

さらに 3 次元造形では多種多様な走行パスが求められる上で、折り返しや直角等の走行パスが生じる場合もある(図 3)。均一で安定した造形には方向自在の造形が可能なトーチ形状が望ましい。



図 2 従来 TIG 溶接のトーチ形状と走行パスの例

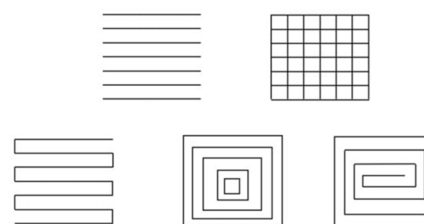


図 3 DED 方式における様々な走行パスの例

これらの問題を解決するため、独自の構造によって方向依存性がなく、均等な入熱・ワイヤ挿入が可能となる新たな TIG 溶接技術を開発した。

本稿では、本技術により従来の問題点を解決でき、ステンレスにおける基本造形が可能であることを確認したので報告する。

* 部署名 技術開発ユニット 山梨ソリューションセンター ガス利用技術部 加工技術課
 ** 部署名 技術開発ユニット 山梨ソリューションセンター ガス利用技術部

2. 回転 TIG 溶接技術のコンセプト

図 4 に回転 TIG トーチの外観および金属積層状況を示す。本トーチでは、中心からワイヤを送給し、その周囲を TIG 電極が周回しながらアーク入熱を与える構造としている。図 5 に回転 TIG 溶接による積層造形サンプルを示す。方向依存がなく、均等な入熱・ワイヤ挿入が可能である回転 TIG 溶接によって、安定した造形が確認できた。

これまで、世界各国の企業や大学により、様々な方式の TIG 溶接が開発・報告されてきたが、周方向に対して完全な均等入熱を実現した TIG 溶接技術は、存在しなかった。本技術は、回転する電極によって均等な入熱を与えるという発想を基にして、当社が独自に開発した世界初の革新的な新方式 TIG 溶接技術である。

表 2 に従来の MIG と TIG 溶接と回転 TIG 溶接を比較した表を示す。MIG の利点である移動方向制限がないことと TIG 溶接の内部欠陥やスパッタ発生を抑えた高品質な溶接の双方の利点を回転 TIG 溶接法は達成しており、複雑パスと無欠陥の両立を求められる 3 次元積層造形に適している溶接である。



図 4 回転 TIG トーチの外観と金属積層状況



図 5 回転 TIG 溶接による積層造形サンプル

表 2 従来アーク溶接と回転 TIG 溶接技術の比較

	MIG	TIG	回転TIG
トーチ移動方向制限	○	×	○ 制限なし
積層速度	○	×	○ TIGより速い
内部欠陥	×	○	○
	酸化性ガス 添加	不活性ガス	不活性ガス
スパッタ発生	×	○	○
	あり	なし	なし

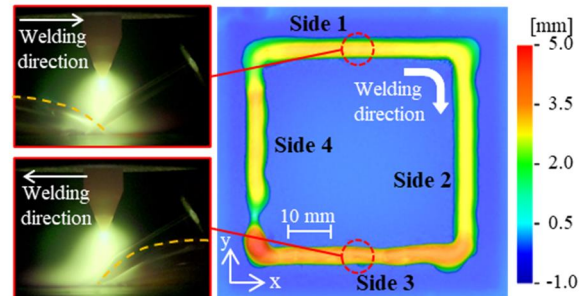
3. 基本特性の調査

3.1 従来 TIG と回転 TIG の均一造形性の比較⁴⁾

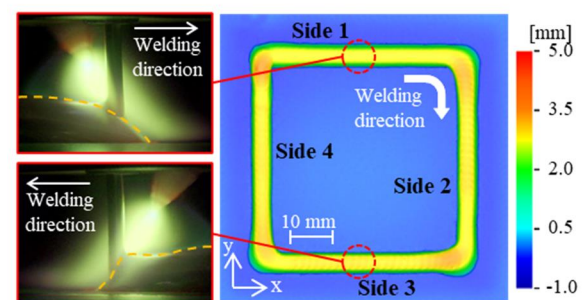
開発した回転 TIG 溶接トーチと従来 TIG 溶接トーチを用いて、1 辺 50 mm の四角形パスで造形を行った。表 3 に実験条件を示す。回転 TIG 溶接では、電極回転速度を 120 r/min に設定し、従来 TIG 溶接では、ワイヤの送給方向を常に図中に示した座標系における x 軸マイナス方向とした。造形後には 3 次元測定機を使用し、造形したビードの高さ分布を測定し、造形形状の均一さを比較した。

表 3 実験条件

ベースプレート材質		SUS304
ワイヤ材質		YS308L
ワイヤ径	mm	1.2
電流値	A	150
ワイヤ送り速度	m/min	2.5
トーチ移動速度	cm/min	20
電極回転速度	r/min	120
シールドガス		Ar (99.99%)
シールドガス流量	L/min	20



(a) 従来 TIG トーチ



(b) 回転 TIG トーチ

図 6 四角形パス造形における形状の比較

従来の TIG 溶接では、ワイヤ送給方向によってビードの積層高さに偏りが生じる。一方、当社の回転 TIG 溶接を用いることで積層高さが均一で偏りのな

いビードが得られ、回転 TIG における従来 TIG に対する方向自由度の高さが確認できた(図 6)。

3.2 回転 TIG における造形条件の選定⁵⁾

MIG 溶接を採用している WAAM と同等の造形スピードである 8 m/min のワイヤ供給速度を適用し、電極回転速度を変化させて、長さ 50 mm のビード造形を行った。表 4 に条件を示す。

表 4 実験条件

ベースプレート材質	SUS304
ワイヤ材質	YS308L
ワイヤ径	mm 1.2
電流値	A 400
ワイヤ送り速度	m/min 8.0
トーチ移動速度	cm/min 80
電極回転速度	r/min 120,240,360
シールドガス	Ar (99.99%)
シールドガス流量	L/min 20

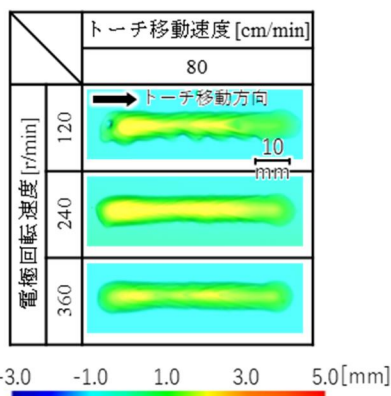


図 8 電極回転速度の各条件におけるビード形状

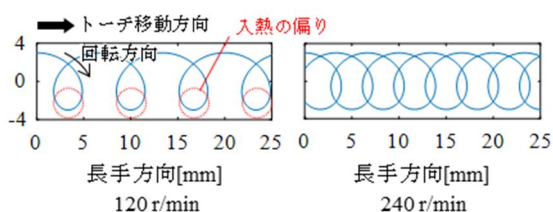


図 9 回転速度による電極移動軌跡の比較

図 8 に各条件におけるビード高さ分布を示す。回転 TIG トーチによって、240 r/min 以上の電極回転速度において均一なビードが得られることを確認した。一方で電極回転速度が 120 r/min の条件では、移動方

向に対してビード右側側面の形状が崩れ、止端が不揃いな不良形状となった。図 9 にトーチ移動速度 80cm/min における電極回転速度 120 r/min, 240 r/min のトーチ電極の移動軌跡を示す。

電極回転速度 120 r/min の条件では、電極 1 回転毎に入熱が集中する箇所が生じることが確認された。このことから、入熱の偏りのためにビード形状が崩れたと考えられる。一方、電極回転速度 240 r/min では、移動軌跡による入熱集中箇所の発生は解消されており、これによって均一なビード形状が得られたと考えられる。

以上の結果から、電極回転速度の違いによりビード形状に影響を及ぼすことが分かり、適切な電極回転速度の選定によって 8m/min の高速造形においても均一なビード形状が得られることが確認できた。

4. おわりに

溶接分野では長年に渡り高機能・高付加価値金属の溶接や、欠陥が許容されない品質要求の高い製品の溶接には TIG 溶接が選択されてきた。金属積層造形もまた、高付加価値の金属部品が対象であり、また造形部品における無欠陥・均一品質は最重要の要求事項である。ここに WAAM における TIG 溶接適用のニーズがあると考えられる。

本報告では、回転 TIG 溶接技術を用いることによって、TIG の AM 適用の課題である方向依存性の解消と、WAAM として期待される高速造形を両立させることができた。また、本トーチを用いてステンレスの基本造形条件を確認した。今後、トーチ構造ならびにステンレス以外の金属種に関する造形パラメータの最適化をさらに進め、金属 3D プリンタへの実装を目指し、開発を進めていく。

5. 謝辞

本研究について多大なご支援をいただいた東京農工大学 笹原教授および関係者の皆様に対して深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 産業技術総合研究所, 加工技術データベース 3D プリンタ(Additive Manufacturing) 金属材料 AM 法の種類 <http://www.monozukuri.org/mono/db-dmrc/3dprinter/overview/metal.html> (参照日 2023 年 12 月 22 日)
- 2) Paul Gradl, et al., Robust Metal Additive Manufacturing Process Selection and Development for Aerospace Components, Journal of Materials Engineering and Performance, Volume 31, p6013-6044 (2022)

- 3) 三田常夫. アーク溶接技術発展の系統化調査. 国立科学博物館. p400-401.
- 4) 河端征大, 笹原弘之, 佐々木智章, 和田勝則, 金丸周平, 野村祐司. WAAM 向け回転 TIG トーチの開発とビードオンプレート溶接による基本特性の調査. 溶接学会全国大会講演概要集. 第 110 集. p32-33 (2022).
- 5) 河端征大, 笹原弘之, 佐々木智章, 和田勝則, 金丸周平, 野村祐司. 回転 TIG トーチを用いた WAAM における電極回転速度の造形の安定性に及ぼす影響. 精密工学会学術講演会講演論文集. p237-238 (2023).