

TIG 溶接技術の習得と継承

○足立勇太、磯谷俊史、後藤伸太郎、中木村雅史、中西幸弘、小塚基樹

工学系技術支援室 装置開発技術系

1 はじめに

名古屋大学全学技術センター（工）装置開発技術系では、研究支援における主業務として実験装置の設計・製作を行っている。その中でも、真空あるいは低温実験装置の製作においては、Tig 溶接による精密溶接技術が必要不可欠である。Tig 溶接は、不活性ガスによりシールドされた雰囲気下で溶接を行うことで、不純物の混入が極めて少ない高品質な溶接部（ビード）が得られる溶接法である。

溶接を手の操作により行う手溶接の技術は、経験を積む中で得られる『カン』や『コツ』に依存しているところが多い。その中でも溶接欠陥が許されない Tig 溶接における精密溶接は特に奥が深く、技術の習熟には多くの経験と時間を必要とする。そして、その技術向上への取り組みは個々によるものが中心であり、近年は体系立てた技術研鑽は行われていない。そのため、精密溶接を行う上で基盤となるような、技術とノウハウの共有を図ることで全体のレベルアップを行ない、ひいては若手に対し技術を円滑に継承させることを目的として本技術研鑽プログラム（以降、本研鑽と称する）を企画した。なお、年齢構成は 40 代以上 2 名、30 代以下 4 名で実施した。本稿では、Tig 溶接の高い技術を持つ民間会社、あるいは溶接展示会への視察・調査をはじめ、外部との交流を重ねた本研鑽の内容を紹介し、その成果を報告する。

2 実施スケジュール（研修日は毎週水曜日午前）

5 月～7 月 勉強会および講習会への参加（基礎知識・技術の再確認、疑問事項の提案）

7 月～10 月 民間会社・展示会への視察・調査

9 月～11 月 得られた成果のまとめ

11 月～2 月 成果についての実践検証

3 勉強会

本研鑽の参加者は、これまでの Tig 溶接の経験量の違いから、それぞれの技量と知識には差があった。そのため、はじめに全員で下記項目について意見交換を行い、Tig 溶接による精密溶接を行う上で必要になる知識・技術の再確認を行い、また今後研鑽を進めていく方向性を検討した。

① 上達のために必要と思われる基礎になる知識・技術

② 各自のもつ知識・技術・ノウハウと、これまで感じてきた疑問点、あるいは確認したいこと

以上をまとめた内容を基に教材¹⁾を用いて勉強会を行い、習得した知識、未解決あるいは確認が必要な事項などを「研鑽ノート」にまとめた。そして、以降に実施した外部との交流を通して「研鑽ノート」の内容確認あるいは追記を行い、最終的には若手育成に役立つ実用的な技術手引書の作成に努めることにした。なお、本研鑽は真空あるいは低温装置などの製作に必要な精密溶接技術を身につけることを主目的としており、技術手引書の内容は、板厚 10mm 以下の SUS304 材を用いた比較的小さな装置製作を念頭に置いた。

4 外部との交流

Tig 溶接における精密溶接技術の現状を正確に把握し、新しい技術と情報を得ること、ならびに勉強会でまとめた「研鑽ノート」の項目内容について意見交換を行うことを目的として、各方面への視察・調査を実施した。溶接講習会においても、単に受講するのみではなく、講師の方々と「研鑽ノート」を基に意見を交えた。また、本年度、当技術系工作室では Tig 溶接機が更新されることになった。そのため、新規溶接機の導入に併せ、外部との交流で行った器具・機材に関わる情報収集の成果を基に、溶接作業場の環境整備を図ることにした。

4.1 溶接講習会の受講

若い年齢層を中心に下記の溶接講習会を受講し、基礎溶接技術を学んだ。

- ・ダイヘンテクノス 「Tig 溶接道場」1名（平成26年5月26～30日）
- ・ポリテクセンター中部 「Tig 溶接実践技術コース：SUS 鋼管編」2名（平成26年6月18、19日）



図1. 講習会場（ダイヘンテクノス）

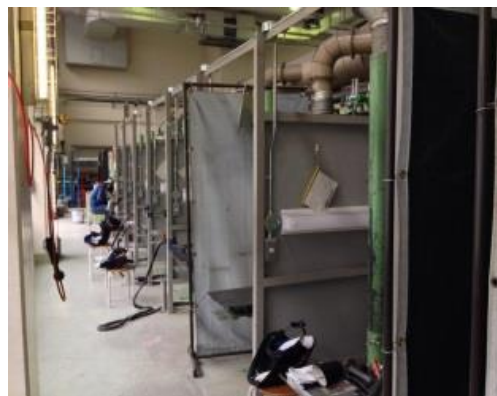


図2. 講習会場（ポリテクセンター中部）

4.2 民間会社への視察・調査

高い溶接技術を備える下記の民間会社への視察・調査を行った。各訪問先では、Tig 溶接に関わる器具・機材についての情報収集ならびに溶接技術者との意見交換を行い、多くの成果を得ることができた。

- ・ノースヒルズ溶接工業（大阪府東大阪市）：平成26年7月18日（金）

日本有数の町工場集積地域、モノづくりのまち東大阪に立地する。Tig 溶接の高い技術を備え、超高真空装置および部品の精密溶接を得意としている。研究実験装置の設計相談および開発も行い、大学など研究機関への研究機器の納入実績も多い。精密溶接技術に関して得られた成果が多く、外部交流を実施する上で主要とした会社である。図3の写真は、円形状溶接に用いるターンテーブル（6-⑦、図18）の使用法を、ICF70 フランジ溶接の実演を交えながら説明を受けているところである。



図3. ノースヒルズ溶接工業

・山田技巧(愛知県愛西市):平成26年8月28日(木)
アルミ・鋼・ステンレス等、各種溶接法を用いて材料を問わない溶接を行い、小さな製品から大きい構造体まで幅広く製作を行う。工場では、アルミのTig溶接の実技を行い、その要点を学んだ。またMig溶接の実技も行い、Tig溶接との特性差を理解し、それぞれの用途の違いを学んだ。図4は、溶接技術者の方からアルミのTig溶接の実演とレクチャーを受けているところである。



図4. 山田技巧

4.3 溶接技術展への視察・調査:平成26年10月17日(金)

ウェルディングフェスタ中部への視察・調査を行った。この展示会は、毎年開催される中部地区最大の溶接・産業機械展である。会場では、Tig溶接に関わる器具・機材についての情報収集ならびに溶接機材メーカー等の技術者と意見交換を行い、多くの成果を得ることができた。図5は、大手溶接機メーカーの出展会場で、ステンレス薄板(1mm)の突合せ溶接の実演を見学しているところである。



図5. ウェルディングフェスタ中部

4.4 技能五輪全国大会への視察・調査:平成26年11月25日(県立名古屋高等技術専門学校)

技能五輪電気溶接部門の競技視察を行った。競技は、各種溶接法を用いて与えられた時間内で課題作品を製作し、その仕上がり寸法精度、作品外観、作業時間、その他図面で指示された施工が正確に行われたかなどを総合的に競うものである。会場では午前中に行われたTig溶接法によるステンレス、およびアルミを用いた製作競技を中心に視察した。溶接部門の参加資格は、23歳以下の年齢に限定されているが、その熟練した腕前と手際よさ、そして競技終了後に鑑賞した作品の仕上がりには驚かされた。各競技者が行った脱脂洗浄、溶接トーチの持ち方・操作方法、ならびに使用治具・機材等は参考になるものも多く、競技終了後には出場チームの選手・スタッフとも交流し、競技視察全般を通して、多くの成果を得ることができた。



図6. 会場風景



図7. 競技風景



ステンレス課題 アルミ課題

図8. 課題作品展示

5 得られた成果

本研鑽で行った勉強会、あるいは外部との交流で得られた知見を基に作成した基礎技術手引書を紹介する。その内容は、我々がこれまで養ってきた知識・ノウハウなども加味し、また、表記・表現もなるべく具体的に示し、我々の現場に即した実用的なものになるよう努めた。なお、前述したように、Tig 溶接における精密溶接を念頭に置き、作成したものである。

① 電極棒の使用径

工作室には、径がφ2.4 およびφ1.6 の電極棒を備えている。ステンレス溶接においてはφ2.4 の電極棒径を常用とし、板厚が1mm以下の溶接に対しφ1.6の電極棒径を適用することを基本とする。

② 電極棒の先端形状と溶け込み深さ

溶け込み深さは、電流値の調整だけではなく、電極棒の先端角度を変えることでも調整できる。溶け込み深さを十分に得たい通常の溶接においては、先端角を45°~60°程度に成形する。また、30°程度の鋭角に成形するとアークが分散し溶け込みが浅くなるため、0.5mm以下の薄板、あるいは裏側に焼けを出さない溶接に有効である。なお、全てにおいて先端がシャープな状態に保つことが、アークを安定させ高品質な溶接を行う上で重要である。

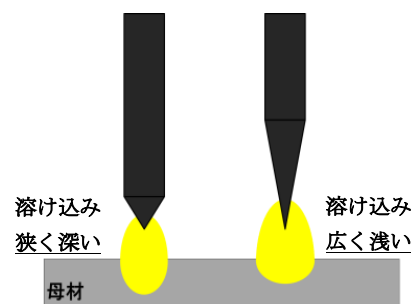


図9. 先端角と溶け込み

③ 溶接材料の清浄処理

溶接部分が清浄でなければ、不純物の巻き込みや溶接部に球状の空洞（ブローホール）が発生することがあり、溶接部の割れや真空漏れが生じる要因となる。そのため、溶接前には超音波洗浄機等を用い、溶接材料を中性洗剤・アセトン等で脱脂洗浄する。大きな溶接材料については、スプレー式の洗浄クリーナを用いて、屋外においてトレイ上で脱脂洗浄を行う。なお、鋼・アルミについては、清浄処理を行う前処理として、黒皮あるいはアルマイト等の被膜をグラインダー等で除去しておくことが重要である。

④ シールドガス

シールドガスには、不活性ガス（Ar）を用いる。我々の工作室環境（室内・無風）、使用機材（電極径φ1.6、2.4 mm ノズル口径φ6~11 mm）において、ガスの流量は5~10 L/min程度が適正流量である。流量を多くし過ぎると空気を巻き込み、シールド不良が起こる場合がある。なお、ノズルの口径は、突合せ溶接の場合、大きい方がシールド効果は良好である。

⑤ アフターフロー

溶接終了後、すぐにトーチを引き上げるとビード終端部が高温状態で大気に晒され、溶接欠陥が生じる要因となる。そのため、ビード終端部が冷却されるまで少なくとも5秒以上はシールドガスを出し続ける（アフターフロー）必要がある。

⑥ バックシールド（裏ガス）

溶接部の裏側にも高品質な溶接ビードを出したい場合（裏波溶接）、特にステンレスにおいては高温下で大気にさらされると酸化が著しいため、裏面に対してもシールドガスを満たす必要がある（パッ

クシールド)。また、2mm 程度以下の板材の溶接を行う際、高温化した溶接裏面が過酸化状態になり、炭化する現象（花咲き）を防ぐ措置としてもバックシールドが有効である。

⑦ 狭所部溶接（ガスレンズの使用）

シールドガスの効果を十分に得るため、電極の突出しは通常 5～10mm にする（ノズル口径と同程度）。ただし、狭所部の溶接等、電極棒を長く突き出す必要がある場合はガスレンズを使用する。

ガスレンズはシールドガスを整流する機能を持ち空気の巻き込みを抑えるため、電極の突出し量は 20mm 程度まで十分なシールド効果を得ることができる。



図 10. 狭所部溶接

⑧ トーチの操作法

通常の溶接においては、トーチの動かし方として接合部に沿って溶接することが基本である。また、ビード幅を広く取る場合や開先継手には、トーチを左右に振りビードを揺動させて溶接する。この操作をウィービング操作といい、ジグザグの動きが基本である。

⑨ パルス機能

パルス機能は、肉厚が 0.5mm を下回る薄板溶接、あるいは極端に肉厚の異なる溶接に用いる。本機能は設定条件が不適切な場合、溶け込み不良の溶接欠陥が生じやすく、真空漏れの要因となるため通常溶接においては使用しない。パルス機能を用いる場合、一般には肉厚違いには 0.5～10Hz、0.5mm 以下の薄板には 200～400Hz を設定することが推奨されている。

⑩ 溶加棒径の選択

通常溶接においては、溶加棒を使用せず母材同士を溶かして接合する共付け溶接が基本である。しかし、溶接部の強度あるいは肉盛りを必要とする場合は溶加棒を用いる。我々の工作室ではφ2、φ1.6、φ1.2 の溶加棒を備えている。3mm 以上の板材の溶接においてはφ2 の溶加棒を選択する。3mm より板厚が小さい場合、ステンレス・鋼材においては板厚～板厚－1mm 程度を、アルミニウム合金では板厚～板厚＋1mm 程度を目安に溶加棒の径を選択する。

⑪ 溶加棒の操作

溶加棒の送り操作について、ステンレス・鋼の場合はトーチ送りに対して溶加棒を一定のタイミングで挿入する。一方、アルミニウム合金の場合は、トーチの送りを止め、熔融池がビード幅と同じ大きさになったタイミングで溶加棒を挿入するメリハリのあるトーチの動きが必要になる。

⑫ クレータ処理

溶接終了時に電流を瞬時に止めると、溶接部分の急激な収縮により、表面層に穴（クレータ）が生じる。クレータ部には大きな残留応力が発生し、ここを起点に割れが生じやすく、真空漏れの要因となることが少なくない。クレータ割れは高温割れの代表的なものであり、その対策としてクレータ処理機能を用いる。本機能は、終了時に電流を徐々に下げていくことにより急激な温度変化を抑えるもので、精密溶接における溶接終端部には必要不可欠の処理法である。



図 11. クレータ処理

⑬ 歪を抑える溶接方法

溶接により生じる歪を小さく抑える対策として、周辺部への入熱を極力小さくし、全体的に温度を上げないことが重要である。その措置として、大きめの電流値で溶接しトーチを早く移動させること、溶接箇所を溶接物の大きさに応じて小分けし冷却時間を与えること、あるいは冷却用当て金を溶接部の近くに密着させて溶接を行うことなどが有効である。その他、設計時に行う工夫として、溶接部に逃げ溝（図 12）を設けると小さい電流で溶接ができ、また溶接部の応力集中も低減できる。そのため、歪みを抑えるだけではなく溶接部の割れを防止する上でも有効である。



図 12. 逃げ溝

⑭ 溶接後の表面処理

溶接施工後の表面は温度と雰囲気に応じて酸化被膜が形成され変色する。この被膜は美観上の問題だけでなく、使用環境によっては腐食（電解腐食）の要因となるため十分に除去する必要がある。当工作室では、酸性電解液を用いた電解法処理（以降焼け取り）を施しているが、間隙等に残った電解液も腐食（図 13）の要因となるため、中和させた後に水洗等で十分に除去する。



図 13. 電解液の除去不足

⑮ 焼け取り後に残る白いシミ（白ボケ）

電解法により強い酸化被膜を焼け取りした時、表面に白いシミ（図 14）が現れることがある。これは熱影響部に含有 Cr が析出した組成変化域が白く見えることによる。この変色域は真空度・清浄度には大きく影響を及ぼすことはないが、除去する場合は研磨剤を用いる。（情報収集において研磨剤の良い情報を得た）



図 14. 白ボケ

⑯ ブラシ使用上の注意

酸化被膜の除去に鉄製ブラシを用いると、残存した鉄粉が腐食（もらい錆）の要因となる。そのため、金属ブラシを使用する時は、必ずステンレス製を用いる。なお、真空容器の内面においては、金属ブラシを用いると表面状態が粗くなり、アウトガス発生の要因となるため使用を避けた方がよい。

⑰ リークチェック

溶接による真空容器の製作において、真空漏れ箇所を全て組み上げた後に発見することは容易ではなく、また、容器の構造によっては補修が不可能な場合がある。そのため、組み付け前の段階で小分けして真空漏れの検査を行う。リークディテクタのテストポートに、検査対象物を専用治具と真空用シール材を用い、大気から閉ざされた状態にして設置する（図 15）。そして、真空に引いた後にヘリウムを吹き付け、漏れの有無を検査する。（情報収集において最適なシール材の情報を得た）



図 15. シール材により接着

6 情報収集に基づいた環境整備

外部との交流で行った情報収集の成果を基に、当技術系工作室で新たに備えた溶接治具、および機材を紹介する。

[器具・機材]

① Tig 溶接機：ダイヘン製 交直両用パルス Tig 溶接機 DA300P

当系では、本機種を当初より選択肢の筆頭に挙げていた。情報収集において、民間会社および溶接講習、あるいは技能五輪の競技チームが使用している溶接機を調査したところ、ほぼ全てが本機種であったため、最終的に購入機種を決定するに至った。

② ガスレンズ：WeldTec 製 GL コレット・ノズル

情報収集でその優れた性能を知り、工作室の標準装備とした部品である。

③ トーチ：WeldTec 製 i-HEAD フレキシブル WTB-20

作業に合わせ、トーチヘッドの向きを任意の方向に変えることができる。

④ 電極棒：交直両用 TEC ベスタン（ $\phi 1.6$ 、 $\phi 2.4$ ）ランタナ・イットリウム添加

[自作した溶接治具]

⑤ 支持棒（トーチホルダを兼ねる）

溶接時に手を安定させるために用いる。溶接台に固定した軸に対し図のように移動可能。

⑥ アルミ製 V ブロック（V 角 120° ）

鉄製と比較して冷却効果が高く、柔らかいため製品を傷つけにくい。

⑦ 手動ターンテーブル

円形状溶接に用いる。電動の市販品もあるが、熔融池の溶け具合に合わせ、手で送りの速さを調節できるため使い易い。

⑧ 冷却用当て金（銅）

溶接部付近に密着させ、冷却しながら溶接することで、溶接物への入熱を抑え、歪みを抑える役割を持つ。

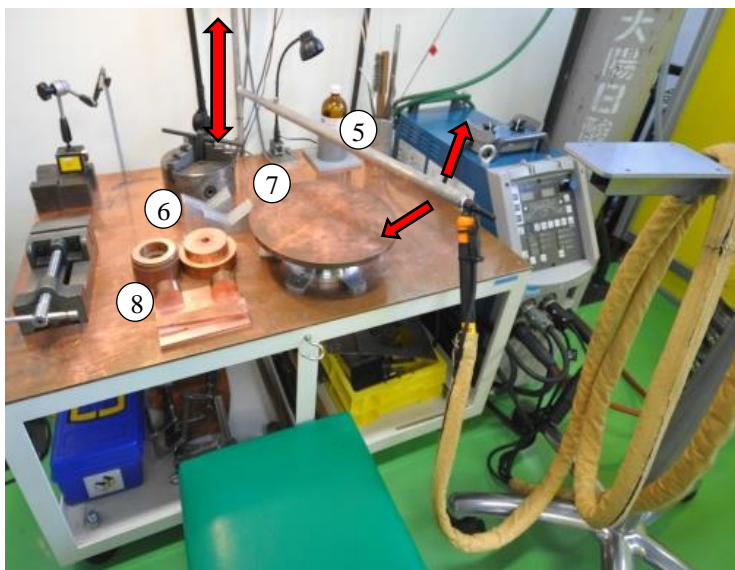


図 16. 溶接作業場

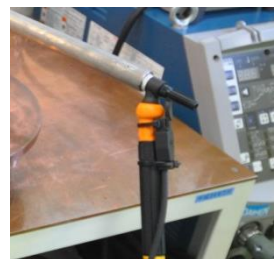


図 17. トーチホルダー



図 18. ターンテーブル

7 まとめ

以降は、本研鑽を企画・実施した代表者から、総括とお礼の挨拶を述べたいと思う。各種工作機械のNC化が進むなか、Tig溶接における精密溶接は、人間の研ぎ澄まされた感覚がなお大きな頼りである。そのため、真空容器の製作を自信持って行える、ある程度の『域』に到達するまでには通常多くの時間が必要になる。この至難の技を効率良く上達させるためには、目的に適応した技術・知識の要所を押さえ、また良い道具のサポートを得ることが効果的と考えた。着手した技術手引書の作成、あるいは環境整備はそれらを強く意識したものであり、このような研鑽の成果が『域』までの決して容易ではない道程を進む一助となれば幸いである。また、本稿5『得られた成果』には技術手引書の全てを公開しているが、限られた研鑽期間中、その中身はまだ十分には至らないと感じている。さらにこの先、研鑽を重ねること、また多方面からのご意見をいただくことで内容の充実を図る予定である。

なお、技術手引書の完成までには、参加者内において意見交換の場を多く持った。技術組織として、技術や知識あるいはノウハウを、知的財産として全体での共有を図るような『文化』を育むことは大切なことであり、本研鑽の最終目的である技術・知識の円滑な、そして絶え間ない継承に大きく寄与するものと考えた。

8 謝辞

本研鑽では外部との交流に力を入れたため、ここに至るまでには多くの方々の力添えをいただいていた。ノースヒルズ溶接工業の北坂様、伊達様、また山田技巧の溶接技術者山田様、その他、期間中お世話になった方々には、ご多忙のなか若手への数々の貴重なご助言、あるいは技術相談にも快く応じていただき、深く感謝いたします。また、本文では紹介していないが、理学部の装置開発技術系の溶接設備を全員で見学した。同系の鈴木様にもご多忙のなか数々の貴重なご助言、さらには今後に是非とも検証してみたい溶接治具のアイデアをご提供いただき、この場を借りまして深く感謝いたします。

最後に、多忙の当技術系におきましても、皆様には本研鑽に対する深いご理解と、また貴重な時間を与えて下さり、この場を借りまして深く感謝いたします。

参考文献

- [1] <溶接の入門シリーズ>7 「ティグ溶接入門」横尾尚志・三田常夫・渡辺 潔 著
日本溶接協会 監修 産報出版