
アルバータ大学（カナダ） 研修報告書

溶接接触角に対する添加ワイヤ送給量の影響

工学研究科 機械物理工学専攻 田又 元

1. はじめに

2017年8月4日から同年9月4日の1か月間カナダのアルバータ大学において研究を行った内容について以下に報告を行う。

2. 共同研究課題の決定

本研究室では、かねてよりアルバータ大学と提携し、硬化肉盛り溶接の研究を行ってきた。派遣先のアルバータ州ではオイルサンド事業が進められており、硬化肉盛り溶接の高品質化により大きなメリットが得られることが予想されている。そのため、本研究室が得意としているホットワイヤ技術を用いてこれまでにない低入熱・高品質溶接技術の開発を進めてきた。しかし、ホットワイヤTIG溶接でより低入熱施工を選択した時に溶接接触角が大きくなってしまい、多層・タパス溶接がやや困難となってしまっているのが現状となっている。そのため、溶接接触角を改善するためにどのような手段をとればより平坦な溶接ビードが形成されるかの見当を行うため本研究課題の決定をした。

3. 共同研究スケジュール

8月4日 出国
8月7日～9月1日 研究, 結果報告
9月4日 帰国

4. 共同研究派遣先の概要

大学名: University of Alberta
所在地: カナダ アルバータ州 エドモントン
指導教員: Prof. Patricio F Mendez

5. 研究内容

5.1 概要

カナダ、アルバータ州は世界有数のオイルサンドの埋蔵量があり、オイルサンド開発によるオイルビジネスが盛んである。そのため、一部日本企業もこれに進出している。オイルサンドとは石油代替資源として注目を浴びているが、高硬度物質を多く含んでいるために、採掘および輸送の過程において使用機械（建設機械やパイプラインなど）への摩耗によるダメージが大きいといった問題を抱えている。使用機械のダメージは、機械修繕および採掘作業の停止を引き起こしオイルサンド開発に大きな損失をもたらす。

機械の耐摩耗性を向上させる1つの手段として、機械の表面改質がある。摩擦の激しい部分に硬度の高い材料を形成することにより耐摩耗性が向上する。

本研究室では、耐摩耗性向上を目的とした硬化肉盛り溶接を、ホットワイヤ法を用いることにより行ってきた。溶接ワイヤにはNiを主成分とするフープ内部にWC粒子を含んだフラックスコートワイヤを使用し、より低入熱に施工する技術の開発を行った。より低入熱に施工することにより、硬化肉盛り層にWC粒子を融解させることなく残留させることができ、そうすることにより耐摩耗性が著しく増加させることができる。しかし、HW-GTAWで施工を行った場合、溶接ビードが広がらず、フラットな溶接ビードを形成することはできなかった。そこで、本研究では、どうすれば溶接接触角を大きくすることができるのかを明らかにし、よりフラットな溶接ビードを形成する手段を提案する。

5.2 実験方法

本実験では添加ワイヤの供給量と溶接接触角の関係性を調査するために、母材、添加ワイヤ、シールドガスを同一のものとし、ホットワイヤ供給量およびワイヤ電流値のみを変えた実験を行った。溶接法はホットワイヤ TIG 溶接法を用いた。溶接条件を Table 5.1 に示す。また、実験外観写真および溶接初期位置関係を示した模式図を Fig. 5.1 および Fig. 5.2 に示す。溶接速度は 0.5m/min、溶接電流は 250A とした。タングステン電極の突き出し長さを 25mm としアーク長は 3mm とした。ホットワイヤ送給速度を 0, 4, 6, 8m/min の 4 段階に変化させ、それに応じてワイヤ電流値を調整した。また、ホットワイヤの突き出し長さを 70mm とし、アーク直下から 1mm 後ろから後方送給した。TIG トーチから Ar を 20L/min の流量で流してシールドを行った。

Table 5.1 Welding condition

Travel speed, m/min	0.5			
Ar gas shield, l/min	20			
Arc current, A	250			
Arc length, mm	3			
Electrode extension, mm	25			
Wire feeding speed, m/min	0	4	6	8
Wire current, A	/	75	94	108
Hot-wire extension, mm	70			
Wire feeding position, mm	1			
Wire feeding angle, degree	30			

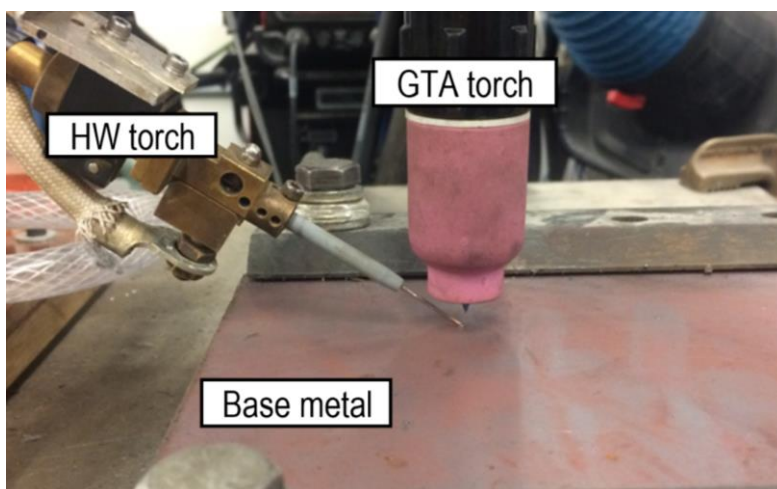


Fig. 5.1 Experimental appearance

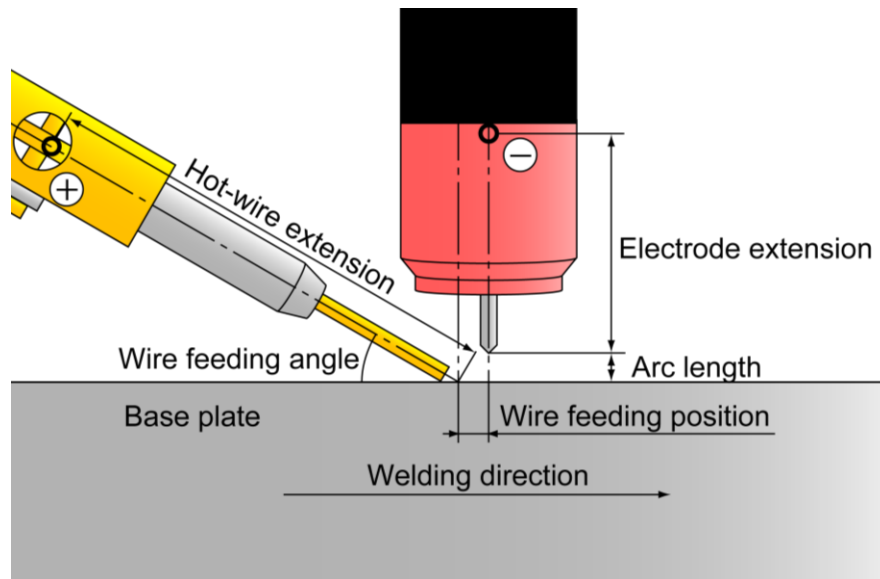


Fig. 5.2 Positional relation of GTA torch and HW torch

5.3 実験結果および考察

実験 5.2 の溶接ビード断面写真を Fig. 5.3 に示す. また, 溶接ビードのビード高さ, 溶け込み幅, 接触角および溶け込み角度を計測した結果を Table 5.2 に示す. Table 5.2 を見ると, 同一材料を使用しているにも関わらず溶接接触角が大きく変化していることがわかる. 溶接ビードと溶接母材が接触する位置において凝固する温度はほぼ一定であると考えられるため, 熔融池の表面張力はほぼ一定であると考えられる. そのため, 溶接接触角の表面張力依存性は, 熔融池液量の依存性に比べると非常に小さいのではないかと考えられる. そこで, 溶接接触角と熔融地液量の関係性を調査するために, 溶接接触角をビード形状から近似する方法と実験結果を比較してみる.

高さと幅を自由に变化させることのできる簡易的な放物線を以下に示す.

$$\frac{y}{b} = 1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2 \quad \dots \dots (1)$$

この関数を x-y 軸上に表現すると Fig. 5.4 に示すようなビード形状を表現することができる. ただし, この放物線では溶接接触角が 90° 以上の溶接ビードを表現することはできない. 今回は熔融地液量と溶接接触角の関係性を調査する 1 検討として本近似式を用いる. この近似式を用いた場合, 溶接接触角は以下の計算式により算出することができる.

$$\begin{aligned} \tan \theta_1' &= \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=-a} = \frac{2b}{a} \\ \theta_1' &= \tan^{-1} \left(\frac{2b}{a} \right) \\ &= \tan^{-1} \left(\frac{4H}{W} \right) \quad \dots \dots (2) \end{aligned}$$

また、本計算式においては、溶接後にしか知ることができないビード高さおよびビード幅の2つの不確定要素を含んでいるために、溶接施工前に溶接接触角を推定することはできない。そのため、そのうちのビード高さをなくすために以下の計算式を導入する。

$$A = \frac{2}{3}HW \quad \dots\dots\dots(3)$$

今回用いたビード形状近似式 (1) では、ビード左端からビード右端 (-a<x<a) の範囲で積分を行うとその溶着断面積 A は必ず式 (3) に示すようになる。式 (3) を式 (2) に代入すると以下に示すようになる。

$$\theta_1'' = \tan^{-1}\left(\frac{6A}{W^2}\right) \quad \dots\dots\dots(4)$$

式 (4) を用いるとビード高さの代わりに溶着断面積を用いることができ、溶着断面積はワイヤ送給速度により定義することが可能であるため、ワイヤの送給速度とビード幅より溶接接触角を推測することが可能となる。しかし、ビード幅は実験的に導出しなければならないため、今後の検討が必要である。

これら2つの溶接接触角の近似式 (3) および (4) の計算結果と実験結果を比較したグラフを Fig. 5.5 に示す。前述の通り、ホットワイヤ送給速度 6, 8m/min においては実験結果の溶接接触角が 90° を超えてしまっているために近似式では表現できず、大きく異なる値となってしまう。しかし、ホットワイヤ送給速度 4m/min の条件においては実験結果と近似値の差は 10° 程度となり、一致はしていないものの近い値となった。そのため、式 (4) に示したように添加ワイヤ供給量 (溶着断面積) は溶接接触角に影響すると考えられる。また、母材溶け幅 (W) を大きくすることにより、溶接接触角を小さくすることができることが推察された。

Table 5.2 Measured value from cross section of weld bead

WFS, m/min	θ1, degree			θ2, degree			W, mm	H, mm
	Right side	Left side	Average	Right side	Left side	Average		
0	0	0	0	57	47	52	7.0	
4	37	36	37	44	46	45	6.1	1.71
6	132	96	114	37	33	35	5.4	2.24
8	161	159	160	28	24	26	4.6	3.2

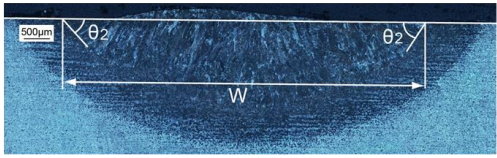
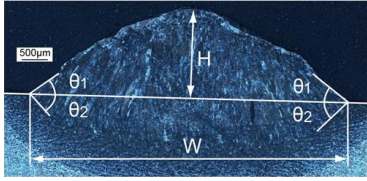
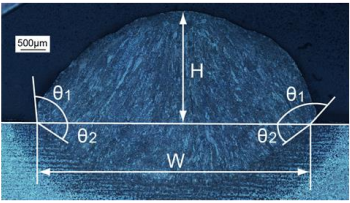
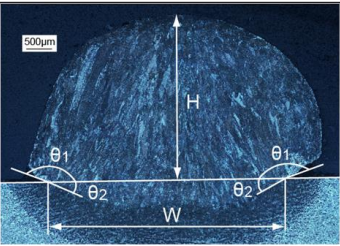
HW feeding speed, m/min	0	4
Cross section of weld bead		
HW feeding speed, m/min	6	8
Cross section of weld bead		

Fig. 5.3 Appearance of cross section

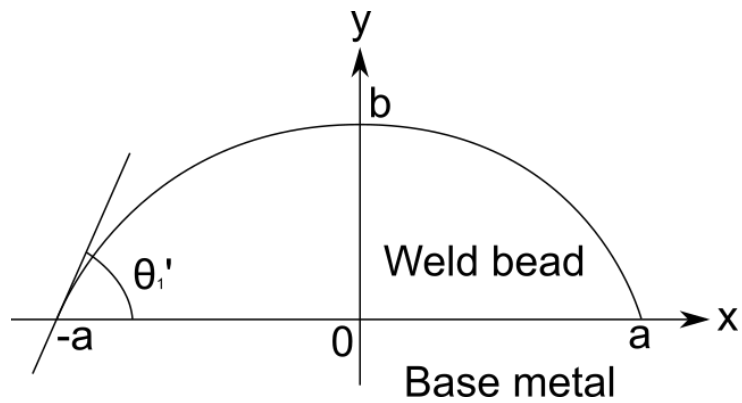


Fig. 5.4 Most simple formula of parabola

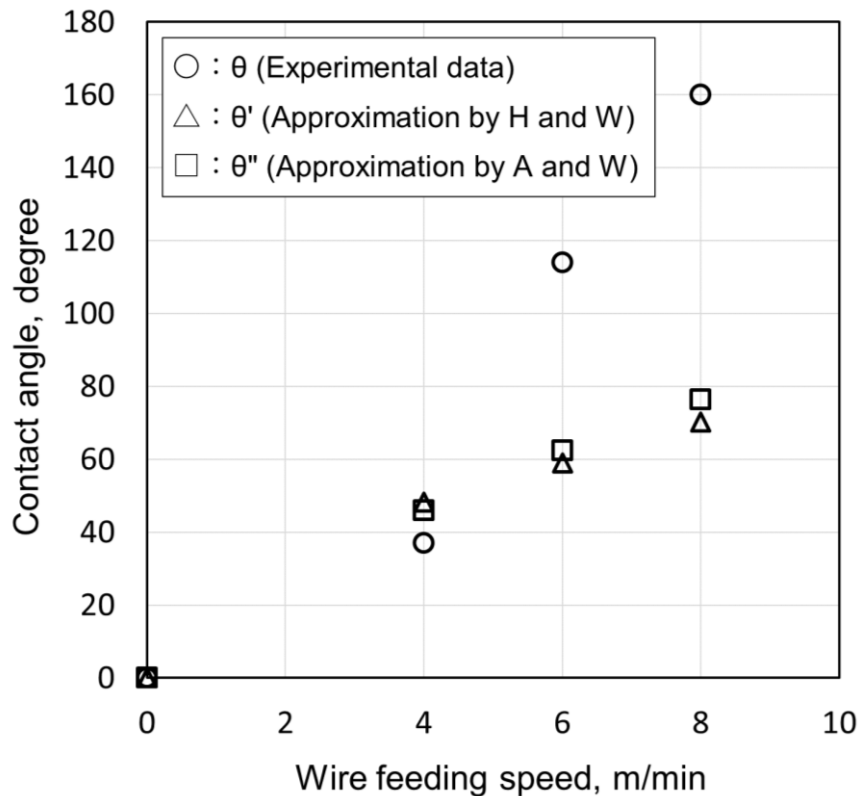


Fig. 5.5 Comparison of contact angle from experiment and approximation

5.4 結論

添加ワイヤの送給速度のみを変化させたビードオンプレート溶接を HW-GTAW で行い、溶接接触角への影響を調査した。その結果以下のことが確認された。

- (1) 添加ワイヤの供給量により溶接接触角は大きく変化し、溶接接触角の溶融池液量依存性は材料表面張力依存性よりはるかに大きいことがわかった。
- (2) 溶接接触角を小さくするためには、母材溶融幅を大きくすることが効果的であることが推察された。

6. まとめ

海外に単身で生活を行うのは初めての経験だったので様々な学びがありました。まず、ほとんどの英語の使用形態がリスニングもしくはスピーキングであり、自身が想像していたよりはるかにコミュニケーションが難しいと感じました。しかし、海外共同研究では自身でやらなければいけない状況に立たされるため、コミュニケーション能力は向上したように感じます。これからも、英語学習方法を見直し、英語のコミュニケーション能力向上に努めていきたいと思えます。

7. 謝辞

本研究において、ご指導いただいた Patricio F Mendez 教授、研究のみならず生活面のサポートをしていただいた Goetz Dapp 博士ならびに研究室の学生の方々には厚く御礼申し上げます。また、この海外共同研究という貴重な機会を設けていただいた山本元道准教授、篠崎賢二教授に厚く御礼申し上げます。最後に、海外共同研究の手続きをお世話いただいた高屋様をはじめとする学生支援グループ国際事業担当の皆様には厚く御礼申し上げます。