
マヒドン大学（タイ王国） 研修報告書

高能率・高品質アルミニウム合金溶接技術

工学研究科 機械物理工学専攻 松井 暉仁

1 はじめに

2017年8月4日から9月1日の期間、タイ王国のマヒドン大学において Eakkachai Warinsiriruk 先生の下、「高能率・高品質アルミニウム合金溶接技術」という題目で研究を行った。その報告を以下に示す。

2 共同研究課題の決定

アルミニウム合金は大きな比強度，高い熱伝導度，高い耐食性，非磁性，良い加工成型性などの特徴を持つことから，軽量化や製品の性能向上などの目的で工業的に広く使用されている。しかし，アルミニウム合金を溶接すると大量のポロシティーの発生や大きな熱影響部の発生による機械的特性に悪影響を及ぼす。そこで，研究課題を決定するにあたり，ポロシティー発生の抑制に焦点を置き，MIG 溶接におけるポロシティーの発生に関する因子の調査とその抑制方法の開発についての研究を行った。

3 共同研究スケジュール

2017年8月4日：出国
2017年8月5日：滞在および研究
2017年8月30日：MSC（タイの現地企業）工場見学
2017年8月31日：指導教員に対する共同研究成果報告
2017年9月1日：帰国

4 共同研究派遣先の概要

大学名：Mahidol University Industrial Engineering
所在地：タイ王国 ナコンファトム県 プッタモンthon市 サラヤ
指導教員：Professor Eakkachai Warinsiriruk

マヒドン大学は 1888 年に設立されたシリライ病院が起源となり，1943 年に医科大学になると同時に，国立大学としては 4 番目に古い歴史を持つ大学となった。また，1969 年には当時の国王の父の名前にちなみマヒドン大学と改名された。現在，合計 17 学部，6 単科大学，9 研究所もの機関を有しており，世界の大学ランキングでは 200 位台，タイ国内では 1 番目の大学とされている。

5 共同研究の内容

5.1 供試材料

試験片には A5083-H112, 添加ワイヤには A5356 を使用した. それぞれの化学組成を表 5.1 に示す

表 5.1 供試材料化学組成

	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	Be
A5083	Bal.	0.05 - 0.25	< 0.10	< 0.40	4.00 - 4.90	0.40 - 1.00	< 0.40	< 0.15	< 0.25	-
A5356	Bal.	0.05 - 0.20	< 0.10	< 0.40	4.50 - 5.50	0.05 - 0.20	< 0.25	0.06 - 0.20	< 0.10	< 0.0003

5.2 実験外観

実験は, 図 5.1 に示すように MIG 溶接により片側隅肉溶接を行った. また, その実験外観を図 5.2 に示す.

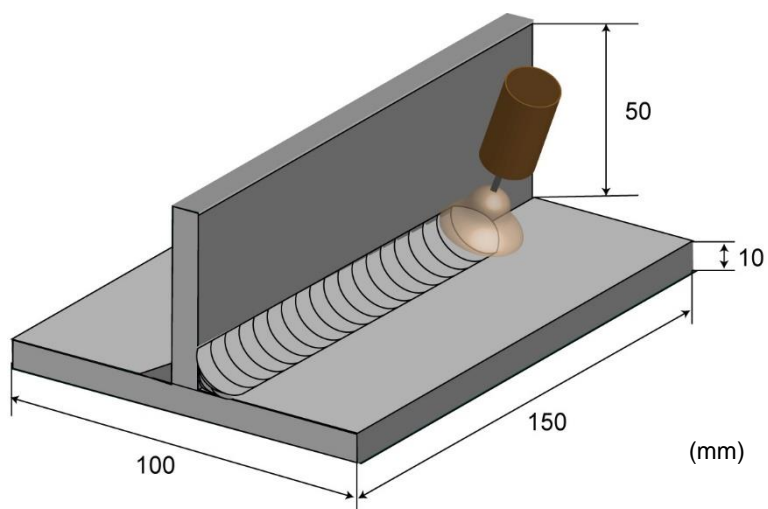


図 5.1 MIG 溶接外観

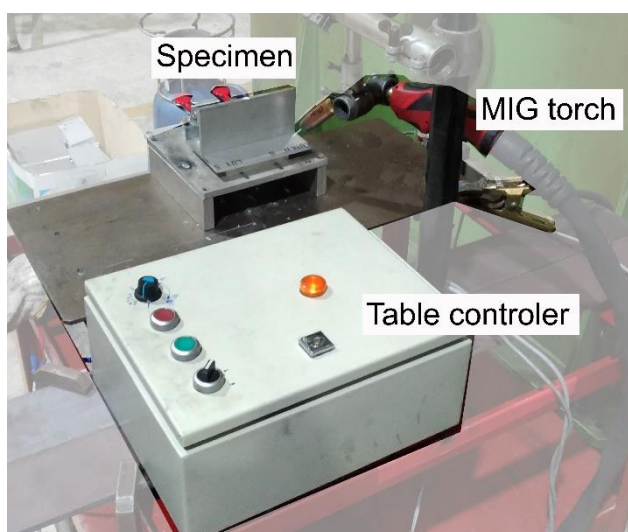


図 5.2 実験外観

5.3 MIG 溶接に使われる電流方式

MIG 溶接には一定電流 (図 5.3), シングルパルス電流 (図 5.4), ダブルパルス電流 (図 5.5) の 3 種類が使われる. パルス電流を使うことにより溶接ビードが平滑となり強度が向上する, 溶接時にスパッタの発生量を低減する, 溶接時の熱が過剰に材料に入ることを防ぐ, ビードが平滑となることでビードの研削を行う際に仕上げ時間の短縮が狙えるといったメリットが得られる. ダブルパルス電流はシングルパルス電流よりもさらに熱が過剰に入ることを防ぐ. 熱が過剰に入ることを防ぐうえに, 溶け込み深さも大きくなる. そのため重ね溶接時のパス数が少なくなり, 溶接施工時間を短縮でき, 入熱が小さいことで熱影響部が小さく, 冷却速度も速くなり熱影響部の強度向上が図れることもある. パルス溶接はピーク電流とベース電流が存在するため, 平均電流値が直流溶接とパルス溶接で同じであってもパルス溶接の方が施工能率が高くなる. 本研究ではこのダブルパルス電流を用いた MIG 溶接を対象にポロシティ発生率の低減を目指した.

ダブルパルスにはデルタワイヤ送給速度というパラメータが存在し, パルスのピーク継続時間中はワイヤをベース継続時間中と比べ多く送給しても溶接欠陥が発生しないため, ワイヤ送給速度を増加させることができ, その増加分がデルタワイヤ送給速度である. また, パルスの 1 サイクルのうちピーク継続時間がどれだけ占めるかを表すパラメータとしてデューティー比というものがある. 式 5.1 にデューティー比の計算式を示す.

$$\text{Duty cycle, \%} = T_P / T \times 100 \quad \dots(\text{式 5.1})$$

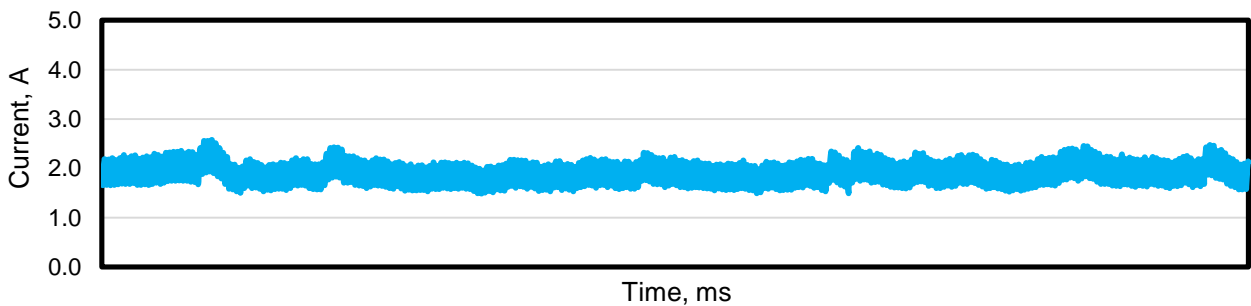


図 5.3 一定電流

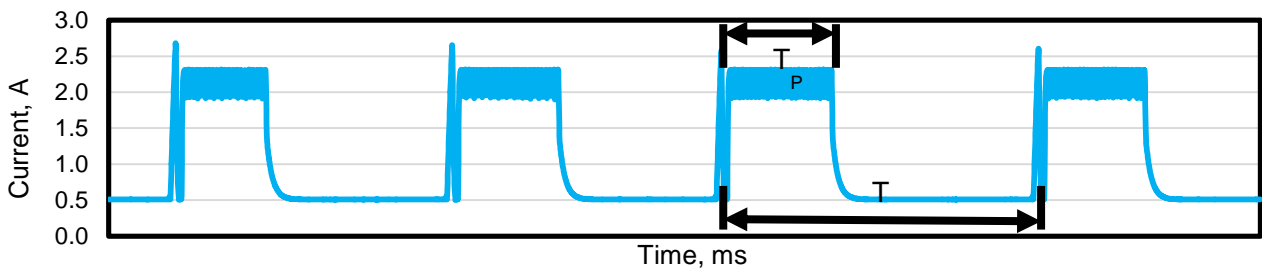


図 5.4 シングルパルス電流

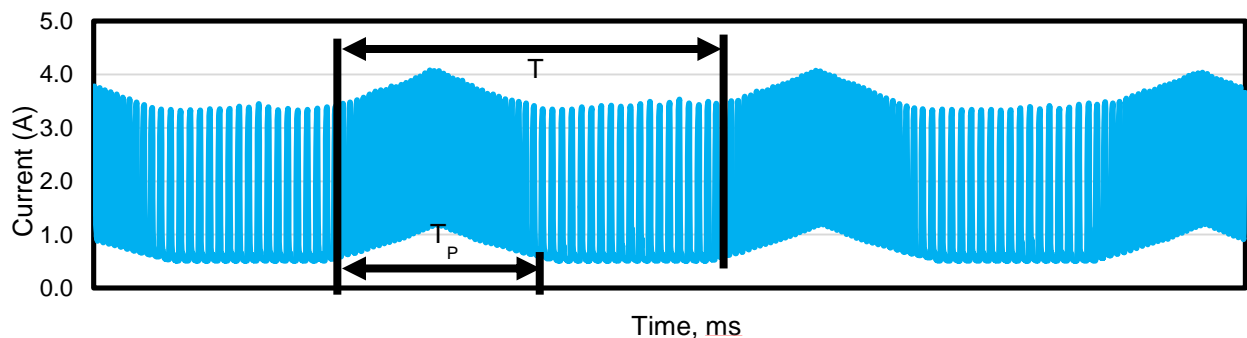


図 5.5 ダブルパルス電流

5.4 ポロシティー発生率

本研究では、アルミニウム合金に溶接する際の溶接ビード内に発生したポロシティーの発生率を数値化し発生率の増減を比較した。測定時は得られた溶接ビードを油圧プレス機によりビードを破断し、その破面のポロシティーを測定の対象とした。ポロシティー発生率は溶接ビード破面の面積に対するポロシティーの総断面積の割合とし、その際使用した算出方法を式 5.2 に示し、図 5.6 にポロシティーが発生したビード断面の例を示す。

$$\text{The rate of porosity occurrence, \%} = \frac{\text{The total area of porosities, mm}^2}{\text{The total area of the fracture surface, mm}^2} \times 100 \quad \dots(\text{式 5.2})$$



図 5.6 ポロシティー発生率測定方法

5.5 デューティー比とポロシティー発生率の関係

デューティー比とポロシティー発生率の関係についての調査結果について述べる。デューティー比 30 %、50 %、90 % の条件でそれぞれ溶接を行った。その際の溶接電圧の実測値はそれぞれ 20.6 V、23.1 V、24.8 V であった。溶接条件を表 5.1 に示す。結果は、デューティー比 90 % においては溶け込み過剰となり、適切な溶接ビードとならなかった。図 5.7 に溶接ビード断面外観を示す。よって、デューティー比 30 % と 50 % で比較を行い、ポロシティー発生率はそれぞれ 13 % と 8 % となった。図 5.8 にデューティー比とポロシティー発生率の関係を示す。したがって、溶け込み過剰とならない程度にデューティー比を大きくすることでポロシティー発生率が小さい適正な溶接ビードが得られることがわかった。これはデューティー比が大きいことにより溶け込み量が大きくなることで母材による冷却速度が大きくなりポロシティーが発生しにくくなったのではないかと考えられる。

表 5.1 溶接条件

Duty cycle, %	30	50	90
Voltage, V	20.6	23.1	24.8
Travel speed, cm/min.	30		
Wire feeding speed, m/min.	11		
Delta wire feeding speed, m/min.	4.8		
Frequency, Hz	3.0		
Surface temperature before test, °C	30		
Oxide film	non-removed		

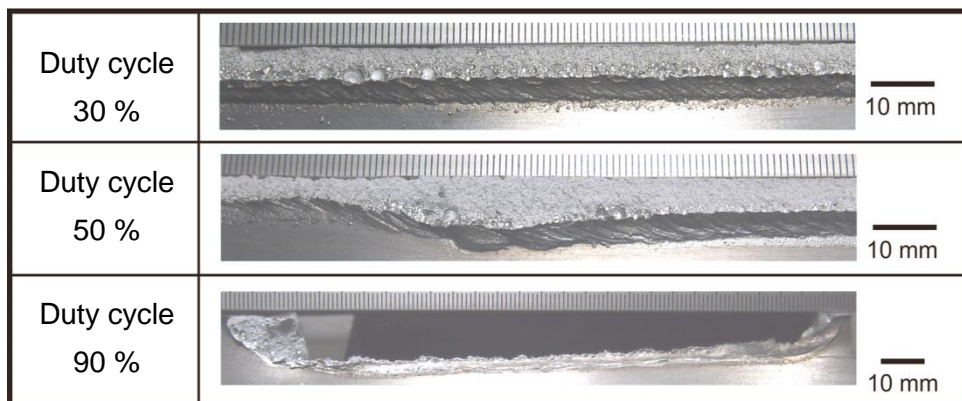


図 5.7 溶接ビード断面外観

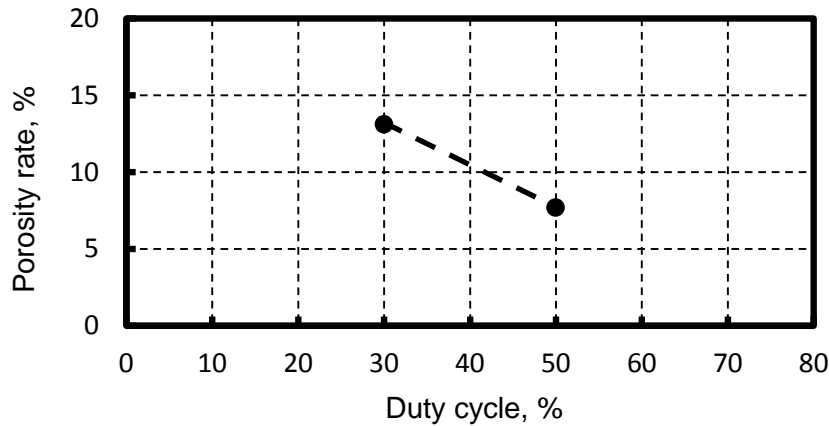


図 5.8 デューティー比とポロシティー発生率の関係

5.6 デルタワイヤ送給速度とポロシティー発生率の関係

デルタワイヤ送給速度とポロシティー発生率の関係についての調査結果について述べる。デルタワイヤ送給速度 0.1 m/min., 0.4 m/min., 1.0 m/min.の条件でそれぞれ溶接を行った。その際の溶接電圧の設定値はそれぞれ 24 V とした。溶接条件を表 5.2 に示す。結果は、どの条件においても溶接ビードの形状については問題がなかった。図 5.9 に溶接ビード表面および断面外観を示す。測定したポロシティー発生率はそれぞれ 12 %, 11 %, 19 % となった。図 5.10 にデルタワイヤ送給速度とポロシティー発生率の関係を示す。したがって、デルタワイヤ送給速度が小さいほどポロシティー発生率が小さくなる傾向にあると言える。これは、溶接時の投入熱量に対してワイヤの送給量が小さいほど、溶接ビード内へ混入する、ワイヤ内に含まれるポロシティーとなり得る物質の全体量が減少するからであると考えられる。

表 5.2 溶接条件

Duty cycle, %	50		
Voltage, V	24		
Travel speed, cm/min.	30		
Wire feeding speed, m/min.	11		
Delta wire feeding speed, m/min.	0.1	0.4	1.0
Frequency, Hz	3.0		
Surface temperature before test, °C	30		
Oxide film	non-removed		

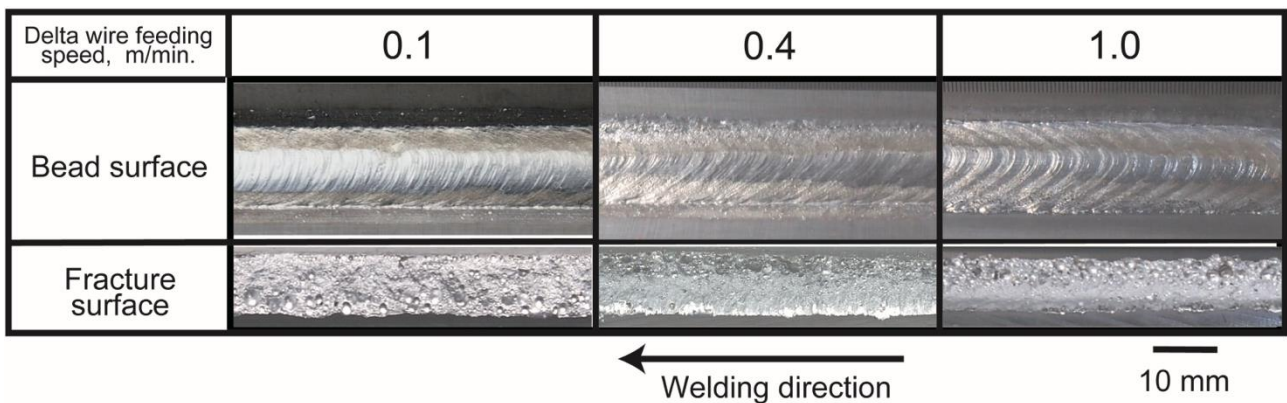


図 5.9 溶接ビード表面および断面外観

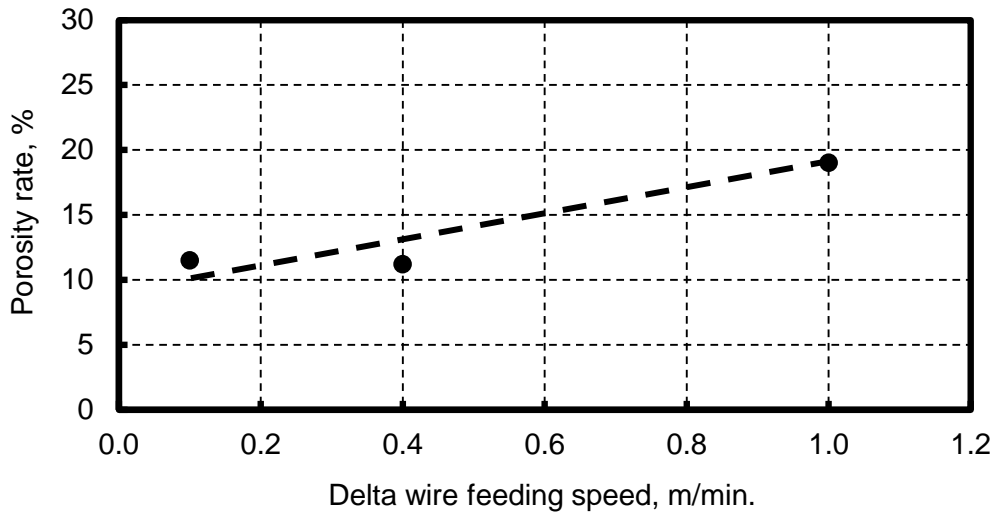


図 5.10 デルタワイヤ送給速度とポロシティー発生率の関係

5.7 溶接速度とポロシティー発生率の関係

溶接速度とポロシティー発生率の関係についての調査結果について述べる。溶接速度 30 cm/min., 60 cm/min.の条件でそれぞれ溶接を行った。その際の溶接電圧の設定値はそれぞれ 24 V とした。溶接条件を表 5.3 に示す。結果は、どの条件においても溶接ビードの形状については問題がなかった。図 5.11 に溶接ビード表面および断面外観を示す。測定したポロシティー発生率はそれぞれ 22 % および 8 % となった。図 5.12 に溶接速度とポロシティー発生率の関係を示す。したがって、溶接速度が大きいほどポロシティー発生率が小さくなると言える。これは熱源の移動速度が大きいため、溶接時の投入熱量が低下し、金属中のポロシティーとなり得る物質が気体に変化しにくくなったためだと考えられる。

表 5.3 溶接条件

Duty cycle, %	50	
Voltage, V	24	
Travel speed, cm/min.	30	60
Wire feeding speed, m/min.	14.9	
Delta wire feeding speed, m/min.	0.4	
Frequency, Hz	0.5	
Surface temperature before test, °C	30	
Oxide film	non-removed	

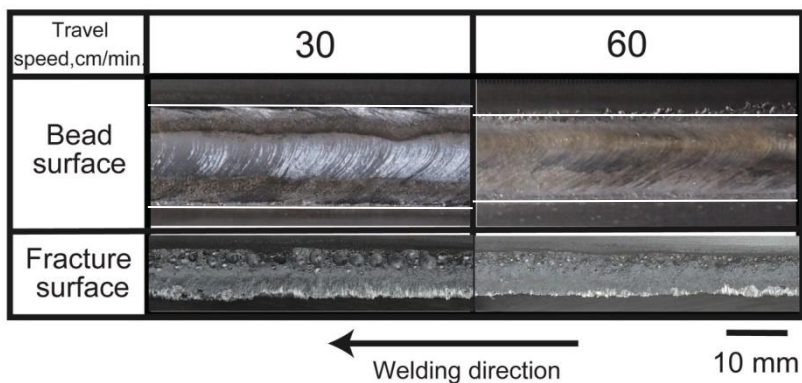


図 5.11 溶接ビード断面外観

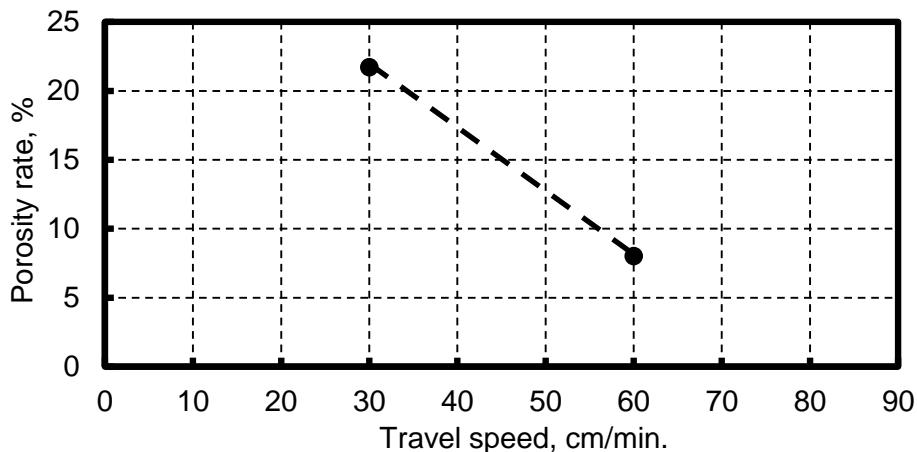


図 5.12 溶接速度とポロシティー発生率の関係

6 まとめ

ダブルパルス MIG 溶接法を使用し、アルミニウム合金(A5083)に溶接を行い、デューティー比、デルタワイヤ送給速度、溶接速度の因子がポロシティー発生率にどのように影響するかを調査し以下のような結果が得られた。

- デューティー比が大きいほどポロシティー発生率が低下することがわかった。しかし、デューティー比が大きすぎると溶け込み過剰となる可能性がある。
- デルタワイヤ送給速度が小さいほどポロシティー発生率は低下する傾向にあることがわかった。
- 溶接速度が大きいほどポロシティー発生率が低下することがわかった。

7 謝辞

本研究において、ご指導して下さった Eakkachai Warinsiriruk 先生、研究面のみならず現地生活の手助けをして頂いた研究室の学生の方々には、厚く御礼申し上げます。また、このような貴重な機会を与えて頂いた篠崎賢二教授、山本元道准教授に厚く御礼申し上げます。最後に、海外共同研究プログラムをサポートして下さいました実行委員会の諸先生方、学生支援グループ国際事業担当の皆様には深く御礼申し上げます。