

プラズマアーク溶接の接合技術 アルミニウムの溶接性

素材開発室 秋元 誠司

Weldability of A5083-O Plates by AC Plasm Arc Welding Set

Seiji AKIMOTO

Al-Mg 系合金展伸材 (A5083-O 板材) の交流プラズマ溶接は、He・Ar ガスのシールド作用を観察し、パイロット・シールドガス流量の相違、溶接速度・電流を変化させた実験及びクリーニング幅と溶融状態を変化させた実験等を行った。溶接部の表裏面ビードの良好な溶接条件を基に作製した突合せ溶接継手試験片は、低温側-40℃～高温側+200℃間の引張試験の結果、高温側 100℃までは溶融金属部のほぼ中央から破断し、シールドガスの種類に関係なく、室温 (20℃) 時においては母材部より約 7～10%低下する。しかし、JIS に比較して約 10%高く、溶接ワイヤ (A5183WY) を使用した TIG・MIG 溶接部とほぼ同等の強度を有する。また、溶融部の硬さは、母材より約 10HV0.3 の範囲で軟化傾向を示すことが分かった。

1. はじめに

Al 材の溶接は、通常 TIG・MIG 溶接が主流を占めている。しかし、溶接面の酸化皮膜の影響や部材の継手形状の制約を受けてやすく、溶接性や作業性が劣る場合がある。また、プラズマアーク熱による Al 材の接合は、直流電源を用いた研究経緯がある他は TIG・MIG 溶接のように実用的に利用されていない。

本研究は、溶加材料を用いず、ワンパス突合せ溶接ができるプラズマアークの熱源による交流プラズマ溶接接合実験を通し、Al-Mg 系合金展伸材 (A5083-O 板材) に対する、プラズマ溶接施工条件の構築と溶接継手部の低温-40℃～高温+200℃間の引張試験及び溶接継手試験体の断面形状観察を行なって、溶接性を検討したので報告する。

2. 供試材及び溶接実験

2.1 供試材

供試材は、板厚 5mm Al-Mg 系合金 A5083-O 板材を幅 75mm×長さ 250mm に加工、I 形突合せ溶接継手試験体とした。

供試材の化学成分は、発光分光分析を行なった結果、4.4%Mg を含む規格内の材料である。

表 1 に供試材の化学成分を示す。

2.2 プラズマ溶接装置

プラズマ溶接装置は、交流・直流プラズマ溶接電源、ロボットインターフェイスユニット、マニピュレータ及び制御装置からなり、溶接電源は交流電源を使用した。

2.3 ビードオンプレート実験

交流プラズマアーク熱 (以下プラズマ溶接という) によるビードオンプレート実験は、He・Ar ガスシールド作用の相違とパイロット・シールドガス流量を変化させた実験及び溶接速度・電流を変化させた実験のほか、溶接機器の特性となる交流周波数の操作で変化するクリーニング幅と溶融状態等を観察した。

観察結果をもとに、溶接部の外観上良好と推察する溶接条件を選択した。

写真 1 にビードオンプレート外観の例、表 2 に He ガスシールド溶接実験時の溶接条件を示す。

表 1 供試材の化学成分 (wt%)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
供試材	0.14	0.27	0.04	0.6	4.4	0.12	0.02	0.03	>94.35
JIS による	<0.40	<0.44	<0.1	0.4～1.0	4.0～4.9	0.05～0.25	0.25	<0.15	残部

2. 4 溶接実験

溶接実験は、シールドガスの種類による溶接特性と継手強度の関係を確認するため、He ガスと Ar ガスのシールド作用及びパイロット・シールドガス流量の相違、溶接速度・電流の変化させた実験を行なった。また、溶接機器の特性である交流周波数及び正極比（正極幅）の関係をもとに、クリーニング幅と溶融状態を変化させた実験を通し、作製した溶接継手試験体の外観及び断面形状の観察等を行い、I形突合せ溶接条件の適正範囲を推察した。

なお、使用したチップ径 f3.2、トーチ角を進行方向垂直角から5°傾斜、チップ先端と母材間距離 3mm を保持、溶接ワイヤを使用しないワンパス仕上げとした。

交流周波数の変化は、溶接電流及び表面溶融部のクリーニング幅に影響を与え、薄板の場合は周波数を高く、厚板の場合は周波数を低く設定することで裏ビードの均一化を図ることができる。

正極比は、表面溶融部のクリーニング幅を決定し、正極比（95%）が大きい場合は溶込みが深く、低い場合は溶込みが浅くなるなど、溶融状態を変化させる要因となる。

写真2に溶接継手試験体の溶接実験状態、写真3に He ガスシールド溶接実験時の溶融断面の形状変化の一例を示す。

2. 5 溶接継手試験体

I形突合せ溶接継手試験体は、溶融部の外観及び断面形状の観察等を行い、最適と推察した溶接条件範囲で施工した。

使用したチップ径は f3.2、トーチ角は進行方向垂直角から5°傾斜、チップ先端と母材間距離 3mm を保持、被溶接体を溶接冶具で固定した後、溶接ワイヤを送給しない、ワンパス仕上げ溶接とした。

表3に溶接継手試験体の溶接条件を示す。

溶接継手試験体の外観は、He ガスシールドの場合、良好な外観が得られる溶接条件範囲が広い。このため、外観が良好となる溶接条件範囲内の低電流域（溶落ちビード域前）と高電流域（分離ビード域前）の溶接条件が異なる継手試験体を2種類作製した。

Ar ガスシールドの場合、溶接条件範囲が狭いため、溶接速度を変化させて分離ビードが改善さ

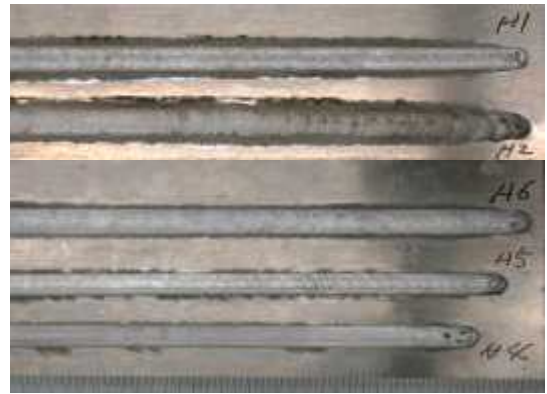


写真1 ビードオンプレート外観の例

表2 Heガスシールド溶接実験時の溶接条件

試験片番号	H1	H2	H3	H4
溶接電流 (A)	130	130	140	140
溶接速度 (cm/min)	28	40	40	45
交流周波数(Hz)	150	150	200	200
正極比 (%)	75	75	75	75
パイロットガス流量(l/min)	0.9	0.9	1.0	0.9
シールドガス流量 (l/min)	25	25	16	16



写真2 溶接継手試験体の溶接実験状態

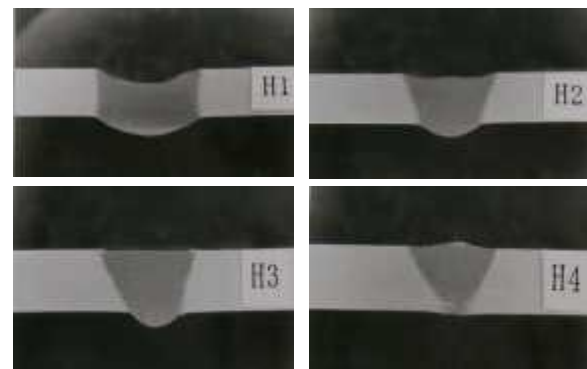


写真3 Heガスシールド溶接実験時の溶融断面の形状変化

れる領域（外観上良好）の溶接条件時の継手試験体1種類を作製した。

完全溶込みとなる溶融断面形状は、裏面側まで貫通し、良好な裏ビードを形成するが、表ビード

の余盛高さ及び平滑さを重視すると、溶融面は表面から約 0.1 ～ 0.3mm の凹み仕上りとなる。

溶接速度を速くすると表ビードの余盛は高くなるが、裏ビードの形成は期待できない。

写真 4 に溶込みの良好な溶接ビード外観を示す。

3. 評価試験結果

3. 1 引張試験片と試験方法

引張試験片は、旧 JIS G-0567 (1976) 鉄鋼材料の高温引張試験方法の資料に基づき作製した。

図 1 に引張り試験片の寸法、写真 5 に引張試験前後の形状を示す。

引張試験は、オートグラフ (IS-10T) により引張速度 10mm/min, 恒温槽内において、低温・高温引張試験を行なった。

溶接継手部の伸びは、通常測定しないが、比較検討するために標点距離を 20mm とした。

3. 2 引張試験結果

He ガスを使用した高電流域の溶接と Ar ガスシールド溶接時の試験片は、試験温度 0℃及び+200℃では引張強さは近似した傾向を示すが、Ar ガスシールド溶接時の方が僅かに高い。

He ガスシールド溶接時の低電流域の試験片は、他の溶接条件と比較して、試験温度 0℃以外では引張強さが低い。

試験片の破断は、試験温度-40℃～+100℃の範囲ではほぼ溶融金属部中心からの破断となるが、高温+200℃では母材部からの破断し、母材及び溶融金属の引張強度さは、+100℃以上になると顕著な低下傾向を示す。

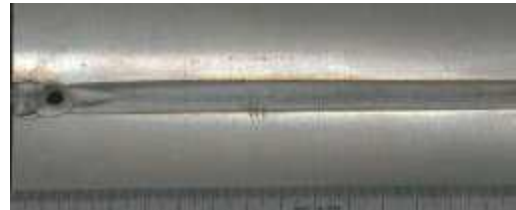
母材の伸びは、室温 20℃～+100℃の範囲で一定、それ以外の低温側と高温側では増加傾向を示すのに対し、溶融金属近傍の伸びは母材より低く、-40℃～+100℃間でほぼ一定傾向を示す。

溶融金属部の引張強さと伸びは、母材強度より低いが、室温 (20℃) における JIS Z 3232 (溶接継手部) 及び JIS H 4000 (A5083-P 母材) 並びに溶接ワイヤ (A5183WY) を使用した TIG・MIG 溶接部 (資料: 溶接データブック) の引張強さと比較した結果、同等の強度と伸びを有し、Al 材のプラズマ溶接施工は有効と考える。

図 2 に引張強さと温度の関係、図 3 に伸びと温度の関係、表 3 に引張試験結果の比較を示す。

表 3 溶接継手試験体の溶接条件

溶 接 条 件	H	9H	A
溶 接 電 流 (A)	135	160	160
溶 接 速 度 (cm/min)	40	55	40
交 流 周 波 数 (Hz)	200	200	200
正 極 比 (%)	75	70	70
パ イロ ッ ト ガ ス 流 量 (?/min)	1.0	1.1	1.1
シ ー ル ド ガ ス 流 量 (?/min)	16	20	20
バ ッ ク シ ー ル ド ガ ス (?/min)	2	2	2



表ビード面



裏ビード面

写真 4 溶込みの良好な溶接ビード外観

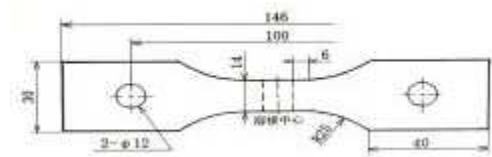


図 1 引張試験片の寸法



試験前



試験後

写真 5 引張試験前後の形状

4. 溶接部の断面形状及び硬さ

4. 1 溶接部の断面形状

溶接部の断面観察は、溶接条件の異なる試験体の溶接開始側と終止側の内側 25mm を採取し、研磨後、溶接断面を 5%フッ酸液により腐食して形状を観察した。

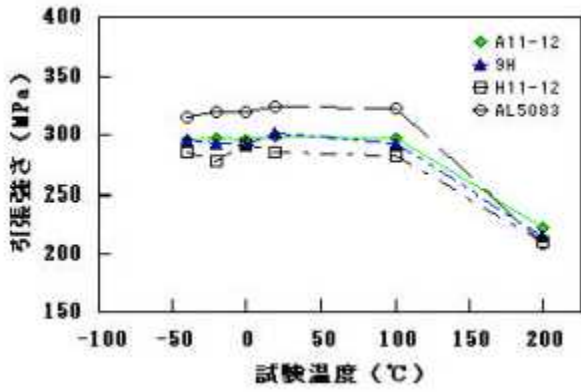


図2 引張強さと温度の関係

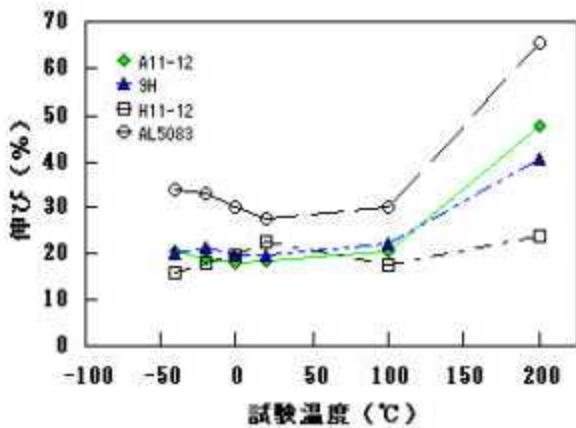


図3 伸びと温度の関係

Ar ガスシールドの溶接部は、He ガスシールドと比較して溶融幅は狭く、くさび形状を示す。

溶接開始側と終止側の溶融形状も同一であり、プラズマアークの集中性が良いことを示す。

He ガスシールド溶接時の低電流適正範囲の溶融断面は、溶接開始から表裏面側の溶融幅は均一で幅広いビードを形成する。また、溶融幅は表面側が広く、裏面側が狭くなる等、母材表裏面側で溶融状態の異なりを示す。

高電流適正範囲の断面形状は、溶接開始側で表裏面の溶融幅は狭く、溶落ち状態となるが、終止側に向かって溶落ちが少なく、表面の溶融幅は広いが凹みの少ないビード形成となる等、シールドガスの種類によって、溶融速度やアーク電圧等が変化し、溶込みに影響を与えていると推察する。

溶融金属表面近傍のブローホールは、溶接施工上はシールドガスの不足及び過剰供給により発生するため、作業環境と適正流量の範囲を把握する必要がある。

写真6に Ar ガスシールド溶接部の断面形状、

表3 引張試験結果の比較

試験片	引張強さ(MPa)	伸び(%)
供試材	325	22 ~ 23
H (低域)	296 ~ 300	20
9H(高域)	300 ~ 303	18 ~ 20
A	294 ~ 303	27 ~ 28
JISZ3232	265 ~ 275	—
JISH4000	305 ~ 380	12 以上
TIG	301	—
MIG	307	—



溶接開始側 溶接終止側
写真6 Arガスシールド溶接部の断面形状



低電流域の溶接時



高電流域の溶接時
溶接開始側 溶接終止側

写真7 Heガスシールド溶接部の断面形状

写真7に He ガスシールド溶接部の断面形状を示す。

4. 2 溶接部の硬さ

硬さ試験は、溶接条件の異なる試験体の溶接開始側と終止側の内側約 25mm 部分について、溶接の表面側から板厚方向へ 0.3mm 間隔、測定間隔 0.4mm、試験力 2.942N の条件でマイクロビッカース硬さを測定した。

その結果、溶融金属部は軟化傾向を示すが、同一深さ方向の軟化は約 10HV0.3 の範囲にある。

He ガスシールド高電流域溶接条件時の表面ビード側の硬さ低下は、溶接部の断面形状観察で確

認したブローホールの発生位置にあり，その影響によると考える。

図4に溶融金属部近傍の硬さ分布を示す。

5. おわりに

溶接構造材に使用する A5083-O 板材の I 形突合せ継手に対し，交流プラズマ溶接を行い，溶接継手試験体を評価した結果をまとめると次のとおりである。

- 1) 室温 (20 °C) 時の引張強さを比較すると，溶融部は母材部より約 7 ~ 10 % 低下する。
 - 2) 溶接条件の異なる継手部の引張強さは，溶接ワイヤ (A5183WY) を使用した TIG・MIG 溶接部と比較して同等の強度を有する。
 - 3) 引張による破断は，試験温度 200 °C を除くと溶接条件に関係なく溶融金属部で破断する。
 - 4) 母材及び溶融金属の引張強度さは，+100 °C 以上から顕著な低下傾向を示す。
 - 5) 溶融金属近傍の伸びは，母材より低く，-40 °C ~ +100 °C 範囲でほぼ一定傾向を示す。
 - 6) 溶融金属部の硬さは，約 10HV0.3 の範囲で軟化する。
 - 7) 溶接部の断面形状は，シールドガスの種類によって異なる。
- 等の結果を得た。

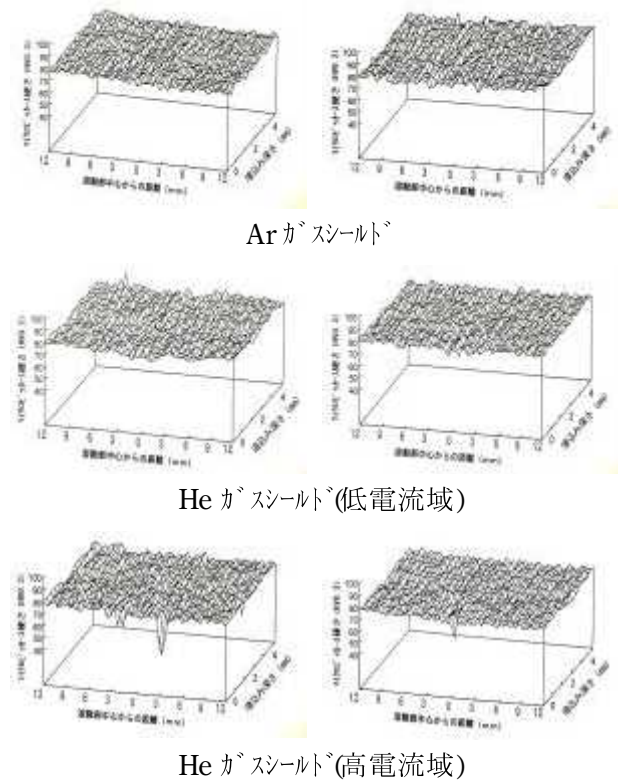


図4 溶融金属部近傍の硬さ分布

交流プラズマ溶接部は，ワンパス溶接でも良好な継手強度を有することが分かったため，今後はアルミニウム合金鋳物の気孔，含有する水素，表面の酸化皮膜による溶融の困難さを示す異種材との溶接性を検討する予定である。