

プラズマアーク溶接の接合技術に関する研究

～アルミニウム合金鋳物の溶接性～

素材開発室 秋元 誠司

Weldability of Aluminium Alloy Castings AC7A by ACPlasm Arc Welding Set

Seiji AKIMOTO

Al合金鋳物(AC7A)の接合部に合わせた溶接治具を製作し、交流プラズマ溶接施工条件の適正化と裏ビードの均一化を図った。得られたI形溶接継手試験体の引張試験の結果、溶接仕上げ層数、He・Arシールドガスの種別、裏面治具の有無に関係なく、引張強さ155～209MPaの範囲で母材部から破断する。破断点伸びの最低値は、母材の15～18%に近似し、継手強度と熔融金属部の延性が高いことを示す。また、施工条件の異なる熔融金属部断面硬さは、母材表面硬さ53～62HBW10/500より約17～19%軟化するが、ボンド部近傍及び熔融金属は微細な柱状晶組織が観察される等、良好な溶接継手強度と溶接性を有することが分かった。

1. はじめに

高圧電流分岐接続関連の部品は、主に銅及び銅合金鋳物で製作しているが、軽量化、省力化の利点から一部Al合金鋳物への転化と溶接による製作を試みている。しかし、鋳物巣や表面の酸化皮膜、結晶水($AlO_3 \cdot 3H_2O$)・水素の影響及び溶接割れが懸念される。

本研究は、溶加材を用いず、I形突合せ溶接継手部を片面1パス仕上げが可能な交流プラズマ溶接接合実験を通し、Al合金鋳物の形状に合わせた溶接施工の構築と溶接継手試験片の引張・硬さ試験による継手強度の確認及び組織観察を行って、溶接性を明らかにした。

2. 供試材及び接合実験

2.1 供試材

供試材は、AC7A材砂型鋳物(以下、合金鋳物という)製品胴部を切断し、板厚約4～5mm×外径約137mm×長さ100mmについて、I形突合せ溶接継手試験材とした。

2.2 接合実験

供試材に対する回転治具への取付け固定具の製作及び溶落ち防止と裏ビードの均一化を図るため、裏面治具を製作した。

写真1に供試材と裏面治具を示す。

溶接電源は、プラズマ溶接装置の交流電源を用



供試材の断面形状

裏ビード形成部品



形成部品の組立

治具の全景

写真1 供試材と裏面治具

い、パイロットアークのガス流量を抑えて裏面まで溶融する共付け溶接とした。

プラズマトーチ操作は、溶接ロボットのマニピュレータにより位置決めを行い、溶接開始と同時に回転治具を回転させ、溶接速度とした。

使用したチップは径 ϕ 3.2、トーチ角を垂直に固定、チップ先端と母材間距離4～5mmを保持、1パス仕上げと2パス仕上げの施工を行った。

接合実験は、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・電流を変化させた実験である。また、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、溶接継手試験体の外観及び断面形状の観察等からI形突合せ溶接条件の適正範囲を推察した。

供試材は、肉厚が不揃いのため、裏ビードの溶落ちが大きく、ビード幅・高さともに不揃いになるが、裏面治具を使用することで、凹凸の少ない表・裏ビードの改善ができた。

予熱は、肉厚が不均一のために発生する部分的な溶込み不良の改善及び溶接開始部と終端部の溶融形状を近似させる目的で、Q-CHガス炎による180～200℃の加熱を行なった。

パイロットガスの流量は、1.0ℓ/min以上で分離ビードとなり、良好なビード形成は困難となる。

2. 3 溶接継手試験体

溶接継手試験体は、Heガスシールドの場合、1・2パス溶接ともほぼ良好な外観が得られる。しかし、裏面側のビードを抑制する治具がないと裏ビードの溶落ちが大きく、ビード幅も広がる。また、溶接条件が一定であっても肉厚の変化に伴い、溶融断面形状は異なる。

Arガスシールドの場合も同様の溶融状態を示すが、1パス溶接時は表ビード外観が不揃いで、溶融中心部の盛り上がりが高く、アンダーカット状態になる。しかし、これらはパイロットガス流量を少なくした再溶融（2パス溶接）操作により、滑らかで均一なビード形状が得られる。

試験片は、継手強度の変化及び裏面治具の効果を検討する上で、シールドガスの異なる試験体、仕上げ層数（パス）の異なる試験体、裏面治具の使用効果等に関する試験体8種類を作製した。

表1にI形溶接継手試験体の溶接条件の例、写真2に試験体の接合実験過程、写真3にI形溶接継手試験体の裏面外観を示す。

3. 評価試験結果

3. 1 引張試験片と試験方法

引張試験体は、円周を3等分した位置から採取した。しかし、JIS Z 3121の突合せ溶接継手の引張試験方法に準拠する試験片形状は、曲面の仕上げ、並行部の幅20mmの確保や加工が難しい。この

表 1 I形溶接継手試験体の溶接条件の例

試験片名	AN	HN	AA	HA
溶接電流(A)	150	155	150	160
溶接速度(cm/min)	56	50	56	50
交流周波数(Hz)	180	200	180	200
正極比(%)	70	70	70	70
パイロットガス流量(l/min)	0.6	0.7	0.7	0.7
Arシールドガス流量(l/min)	16	-	16	-
Heシールドガス流量(l/min)	-	25	-	20



溶接準備

溶接前



溶接中

溶接後

写真2 試験体の接合実験過程



裏面治具無し

裏面治具有り

写真3 I形溶接継手試験体の裏面外観

ため、板厚が長方形断面で平行となる厚さを基準に切削加工により、板厚約3.1～4.3mm×幅12.5～14.9×長さ約80mm範囲となる短冊状の引張試験片を作製した。

引張試験は、引張速度2.54mm/minでインストロン引張試験を行なった。また、溶接継手部の破断点伸びは、試験片固定時のチャックの先端間距離を30mmからの計測とした。

写真4に引張試験体の採取片、写真5にインストロン引張試験の例を示す。

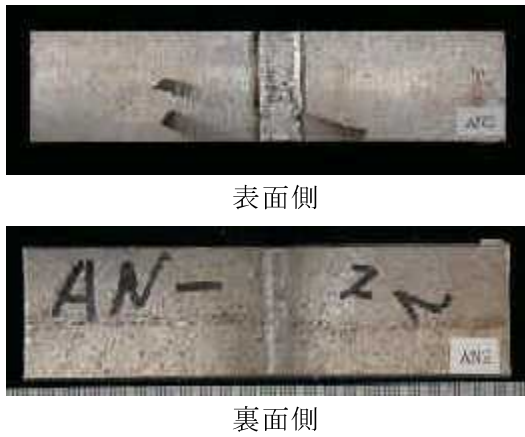


写真4 引張試験体の採取片

3. 2 引張試験結果

引張試験片の破断は、一部の試験片にボンド部近傍の破断を示すが、供試材の引張強さ167～194MPaの範囲に属する破断であり、主に溶接条件に関係なく母材部破断を示す。また、破断点伸びの最高値は、母材の伸び14.7～18.3%より高く、溶融金属の延性が向上したことを示す。このため、シールドガスの種別、裏面治具の有無及び仕上げ層数にかかる施工上の相違等を考慮した溶融接合部の強度は、JIS H 5202 及び供試材と比較して高い強度を有していると考えられる。

表2に引張試験結果の比較を示す。

3. 3 硬さ試験結果

ブリネル硬さ試験は、JIS H 5202に表示されるAC7A材のブリネル硬さ50HBS10/500との比較を試みた。その結果、測定位置は圧痕中心から試料端部までの距離2.5d以上であるが、試験体形状から規定試料の採取は困難であり、参考値として測定した。

母材断面部への押込みは、試験片端部に変形が生じるため、円弧を板状に加工後、表面側の硬さ試験を行った。

溶融金属断面の押込みは、端部が変形せず、板厚方向と長手方向の圧痕径も母材の測定範囲に近似し、ブリネル硬さは有効と考える。その結果、溶融金属は軟化傾向を示すが、同一試験片及び各試験片間の硬さから溶接施工の適正を判断することは難しい。また、Al-Mg展伸材(A15083)とその溶融金属部の硬さは、合金鋳物とは異なり、溶融金属は軟化せず、母材と測定値範囲は近似することが分かった。

表3に溶融金属部の硬さの比較を示す。

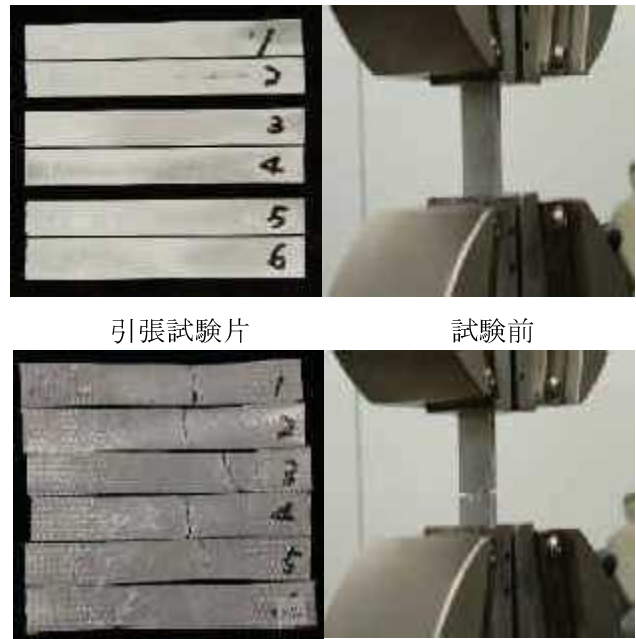


写真5 インストロン引張試験の例

表2 引張試験結果の比較

試験片	引張強さ(MPa)	破断点伸び(%)
供試材	167～194	15～18
AN2	176～189	14～22
AA1	155～209	14～34
AA2	198～208	25～27
HA1	175～183	19～22
HA2	170～208	17～27
HN1	170～208	19～21
HN2	165～185	18～27
JIS H 5202	140以上	6 以上

表3 溶融金属部の硬さの比較

試験片	硬さHBW10/500	試験片	硬さHBW10/500
A15083	55～58	AA2	45～46
溶融金属部	56～59	HA1	44～52
供試材	53～62	HA2	46～52
AN2	52～53	HN1	49～52
AA1	42～49	HN2	42～47

4. 組織観察

4. 1 接合部の断面形状

組織試験は、溶接条件の異なる試験体の厚肉部と薄肉部から採取し、接合断面を切削、研磨後、5%フッ酸液により腐食試験を行なった。

溶融部断面の観察の結果、裏面治具を使用する

と溶落ちが抑制され、ビード高さと幅は治具の接触状態で決定することを顕著に示す。また、2パス仕上げを行っても、裏面への溶落ちが少なく、表側の凹みが減少傾向を示す。

裏面治具を使用しない2パス仕上げ部についても初層時の裏ビードに影響を与えず、前層の一部と母材両端部が再溶融されて、表面ビードの凹みが少ない仕上がりとなる。

写真6に接合部断面形状の例を示す。

4. 2 溶融断面の組織

組織観察の結果、接合部は、母材組織がボンド部近傍で細かく分散し、微細な柱状晶組織となる良好な融合状態を示す。しかし、一部の試験片は、引張強さに影響を及ぼすと考える母材の巣がボンド部近傍に存在し、母材の気孔、水素の影響によるかは不明であるが、ブローホールは少なく、母材組織に類似する微小な巣が存在する溶融金属となることが分かった。

過剰な溶接入熱は、初層溶融部に微小な割れが生じたり、裏ビード止端近傍の粒界や線状の巣が開口（共晶融解）した粒界割れ、ラメラテア等の溶接欠陥が発生することを確認した。

写真7に接合部の断面組織の例を示す。

5. おわりに

推察した適正溶接施工条件による接合実験と作製した溶接継手試験片の引張・硬さ試験及び組織観察結果をまとめると次のとおりである。

- 1) 裏面治具の使用は、裏ビードの形状を均一化することができる。
- 2) 接合部の引張強さは、母材強度に近似し、破断点伸びの最高値は母材より高い。
- 3) 溶融金属断面の硬さは、母材の表面硬さに比較して低い。
- 4) 溶融金属は、微細な柱状晶組織となる。
- 5) 溶融金属中に発生するブローホールは少ない。
- 6) 過剰な溶接入熱は、微小な割れや粒界割れが生じやすい。

等、合金鋳物のプラズマ溶接は、施工条件を適正化することで、良好な溶接継手強度及び溶接性を得ることができる。

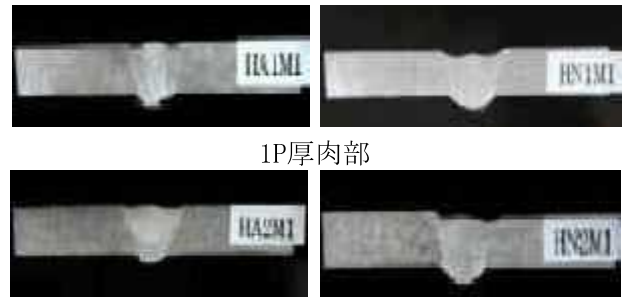


写真6 接合部断面形状の例

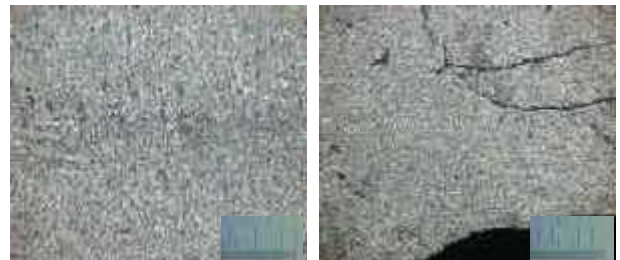


母材部



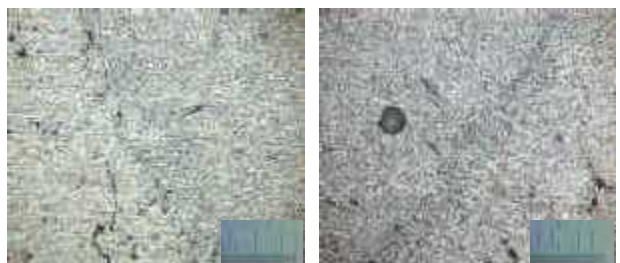
1P溶融金属部

1Pボンド部近傍



1・2P溶融中央部

ラメラテア



粒界割れ

球状ブローホール

(図中長目盛0.1mm)

写真7 接合部の断面組織の例