

Al-Mg 系合金鋳物と圧延材の溶接継手強度

下野 功, 菅原 智明, 加賀 壽

Mechanical Properties of Weld Joints of Al-Mg Casting Alloy and Rolled Plate

Isao Shimono, Tomoaki Sugawara
and Hisashi Kaga

要 旨

高耐食性アルミニウム合金圧延材 (A5083P) とそれに相当する鋳造材 (AC7A) を種々組合せ、MIG 及びTIG溶接により溶接継手を作製し、その機械的特性について評価した。鋳造材を少なくとも1枚含んだ組合せではほとんどの場合鋳造材部分で破断し、継手部の気孔の差による引張強度への影響は見られないことから、この場合母材への熱影響を考慮するとMIG溶接を用いる方が良いと結論した。また、溶接継手の引張試験結果を破断位置と引張強度で整理することにより、母材の組合せ、溶接法、溶接棒等が決まれば破断位置とおおよその引張強度を推定することが可能であることを示した。

1. 緒 言

近年、船舶や構造物などに対する軽量化やリサイクル化の要望が強まる中、アルミニウム合金の益々の需要拡大が期待されている。ここで、船舶や構造物などに用いる複雑形状部材を全て圧延材で作製しようとする、高価な金型が多数必要となり、製品の高コスト化が生じる。一方、鋳造で全ての部材を製作する場合には、部材の大型化に伴い鋳造欠陥が問題となり、均質性の改善面で多くの技術的困難さを伴う。そこで、複雑形状部材を鋳造材、単純形状部材を圧延材で作製し、溶接施工して製品化することにより製品の低コスト化が期待できるものと考えられる。

アルミニウム合金の圧延材と鋳造材をそれぞれ単独で溶接し、その溶接継手に関する研究報告^{1)~4)}はこれまでも多く見られる。しかし、圧延材と鋳造材を組合せて作製した溶接継手に関する研究報告はほとんど見あたらない。

このような背景から、本研究では主に船舶用部品に用いられる高耐食性アルミニウム合金圧延材

とそれに相当する鋳造材の溶接継手を作製し、その機械的特性について評価した。さらに、強度を制御している溶接条件について考察するとともに、改善の可能性についても検討を加えた。

2. 実験方法

2.1 供試材

圧延材には高耐食性を有し、当地域において船舶用部品として用いられることの多いA5083Pを選択した。圧延材の形状は幅130mm、長さ330mm、厚さ10mmであり、市販品を用いた。

鋳造材にはA5083Pに組成に近いAC7Aを選び、金型および砂型鋳造により幅150mm、長さ330mm、厚さ10mmの板状試験材を作製した。溶解には重油溶解炉を用い、脱ガス材を添加して脱ガス処理を行った。溶解温度は約740℃、鋳込み温度は約720℃で行った。

2.2 溶接方法

表1に示すように母材の組合せを圧延材同士、

表1 母材の組合せと溶接法

No.	母材の組合せ			溶接法	
	A5083P	AC7A[M]	AC7A[S]	MIG	TIG
1	○	○		○	
2	○		○	○	
3	○○			○	
4		○○		○	
5			○○	○	
6	○	○			○
7	○		○		○
8	○○				○
9		○○			○
10			○○		○

[M]: 金型、[S]: 砂型

金型鑄造材同士、砂型鑄造材同士、圧延材-金型鑄造材、及び圧延材-砂型鑄造材の5種類とし、それぞれについてMIG溶接とTIG溶接を行い、溶接継手を作製した。図1に開先形状と溶接層数を示す。突合せ角度70°のV型開先加工を施し、ルート間隔0mmにてMIGおよびTIG溶接を行った。MIG溶接では表2層、裏はつり後、裏1層の計3層盛りとした。また、TIG溶接では表3層、裏はつり後、裏3層の計6層盛りとした。MIG溶接の溶接棒は線径1.2mmφのA5356-WY、TIG溶接の溶接棒は3.2mmφのA5356-BYを用いた。その他の溶接条件は表2に示す通りであった。

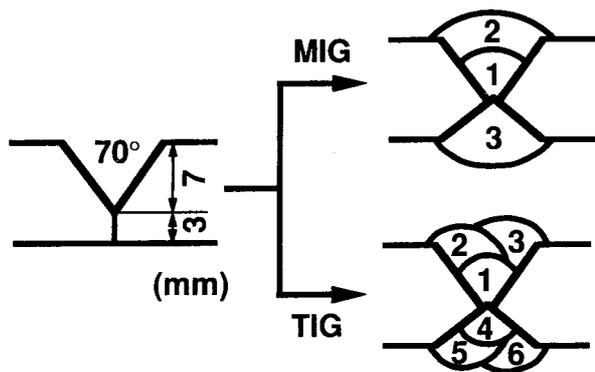


図1 開先形状と溶接層数

表2 MIG及びTIG溶接における溶接条件

溶接法	ガス流量 (l/min)	溶接棒	溶接サイド	電流 (A)	電圧 (V)	溶接速度	バス間温度(K)
MIG (直流)	Ar	A5356-WY	表	190	20	6.9	≦373
	18	1.2mmφ	裏	190	20	6.5	≦373
TIG (交流)	Ar	A5356-BY	表	190	15	2.0	≦373
	18	3.2mmφ	裏	220	15	2.2	≦373

2.3 溶接継手の評価方法

溶接継手部の欠陥等を評価する目的で、X線透過試験を行った。X線透過試験は管電圧60kVp、フィルム-線源間距離755mmで行い、判定はJIS Z 3104に従った。X線透過試験後、各溶接継手から図2に示すように試験片を採取してそれぞれの試験へと供した。

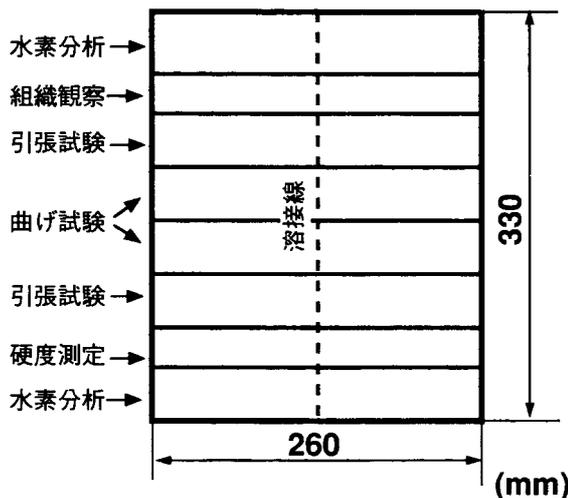


図2 溶接継手試験片形状

溶接継手部に見られた気孔の原因を究明する目的で、母材ならびに溶接継手部近傍より直径9mm×長さ50mmの試験片を採取し、不活性ガス加熱抽出-熱伝導法により水素分析を行った。次に、供試材及び溶接継手試験片より平行部長さ60mm、余盛り無しのJIS Z 2201 5号引張試験片を各2本ずつ採取し、母材及び溶接継手の引張試験を行った。次に、余盛り無しの曲げ試験片を各2本ずつ採取し、JIS Z 3124に従い突合せ溶接継手のローラ曲げ試験を表曲げ、裏曲げについて行った。また、溶接継手部断面を研磨し、マイクロビッカース(荷重100g)を用いて上面から約3mm下の部分を1mm間隔で硬度分布測定を行った。

3. 試験結果および考察

3.1 供試材の機械的特性

圧延材、金型鑄造材、及び砂型鑄造材の化学分析結果を表3に示す。表3にはJIS H 5202で規定されている成分範囲も併記した。本研究で用いた供試材の化学成分はJIS規格値を満足している。

次に、圧延材、金型鑄造材、及び砂型鑄造材の機械的特性を図3に示す。図3中に記載した値は

2本の試験片の平均値であり、括弧内の値はJIS規格値を示す。各供試材ともJIS規格値を満足している。最も引張強度が高いのは圧延材であり、次いで金型鑄造材、砂型鑄造材の順であった。

3.2 溶接継手部の欠陥と水素含有量

本研究で作製した10種類の溶接継手について、X線透過試験を行った。写真1にX線透過写真と

表3 試料の化学成分のJIS規格値と分析値

A5083P	化学成分 (mass%)				
	Mg	Mn	Si	Fe	Al
JIS規格値	4.0~4.9	0.40~1.0	≤0.40	≤0.40	残
分析値	4.31	0.53	0.07	0.14	残

AC7A	化学成分 (mass%)				
	Mg	Mn	Si	Fe	Al
JIS規格値	3.5~5.5	≤0.60	≤0.20	≤0.30	残
分析値[M]	4.36	0.27	0.12	0.15	残
分析値[S]	4.20	0.27	0.16	0.16	残

[M]: 金型、[S]: 砂型

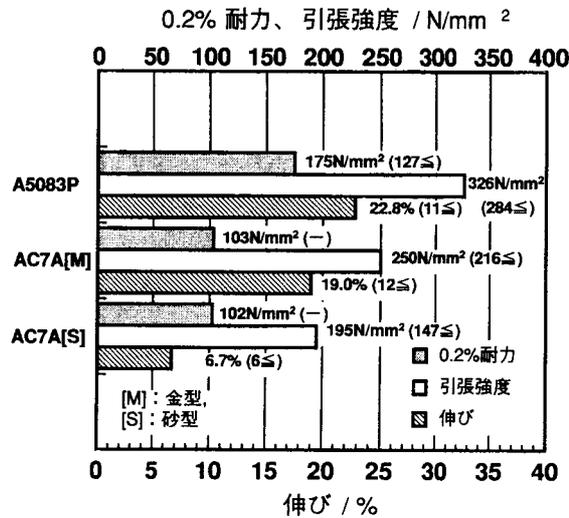


図3 供試材の機械的特性

	MIG	等級	TIG	等級
A5083P / AC7A[M]		4		2
A5083P / AC7A[S]		4		1
A5083P / A5083P		4		2
AC7A[M] / AC7A[M]		3		1
AC7A[S] / AC7A[S]		4		4

[M]: 金型、[S]: 砂型

10mm

写真1 溶接継手部のX線透過試験結果

JIS Z 3105に基づく判定結果を示す。MIG溶接においては多数の気孔が認められ、判定結果は3~4級となっている。一方、TIG溶接においては砂型鑄造材同士の溶接継手を除いていずれも気孔の少ない健全なものであり、判定結果は1~2級となっている。砂型鑄造材同士の溶接継手部のみにMIG溶接と同様多数の気孔が見られ、判定結果は4級となっている。

3種類の母材、及び同じ母材同士の組合せでMIG溶接並びにTIG溶接を行った継手部近傍の水素分析結果を図4に示す。図4において、各試験片の個々の分析値を○印にて、その平均値を棒グラフにて記述した。母材の水素含有量は砂型鑄造材で最も多く、次いで金型鑄造材、圧延材の順に減少している。継手部近傍の水素含有量は溶接法に関わらず母材と比較し高い値を示している。TIG溶接の場合、継手部近傍の水素含有量は砂型鑄造材で最も多く、次いで金型鑄造材、圧延材の順に減少している。この結果は母材における水素含有量の結果と同じ傾向であった。一方、MIG溶接においては、継手部近傍の水素含有量はTIG溶接の場合と比較して約2~3倍高い値を示し、母材の違いによる前述の傾向を示さない。

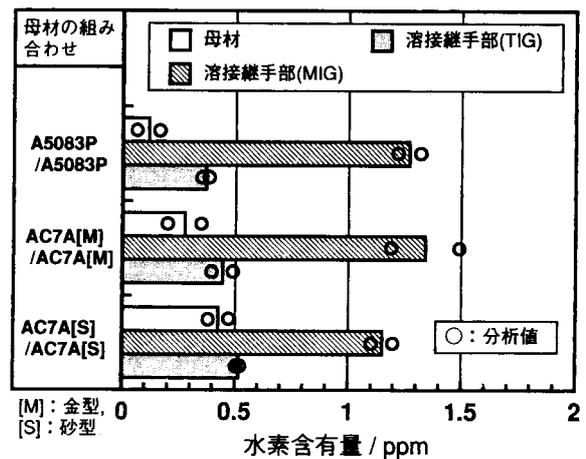


図4 母材及び溶接継手部の水素分析

溶接法の違いによるX線透過試験での気孔の結果と継手部近傍の水素含有量との間には相関関係が見られることから、気孔の生成は水素に起因すると考えられる。アルミニウム合金の溶接により生じる気孔の原因は主に溶融金属中に溶解した水素によるとする報告がなされており⁵⁾、本研究の分析結果はこの報告と一致する。

溶接中に外部から持ち来される水素に対する原

因としては空気の巻き込み、電極ワイヤーに含まれている水分、シールドガス中に含まれている水素等が考えられる。本研究ではTIG及びMIG溶接で同一純度のArガスを用いているので、シールドガス中に含まれている水素が原因とは考えにくい。従って、MIG溶接で水素含有量が高かった原因として、空気の巻き込みと電極ワイヤーの水分が考えられる。特に後者については電極ワイヤーを乾燥保管するなどの対策により改善が可能であり、溶接施工における今後の課題と考えている。

TIG及びMIG溶接における水素含有量の違いに対する別の原因として、溶接時の入熱量の違いを上げることができる。TIG溶接はMIG溶接と比較して入熱量が大きいので溶接金属はゆっくりと凝固するため、溶接金属部に取り込まれた大部分の水素は凝固中に抜け出すことが可能となる。一方、MIG溶接では入熱量が小さいので溶接金属は直ちに凝固してしまい、溶接金属部に取り込まれた大部分の水素は抜け出すことができずに残存してしまうものと考えられる。

3.3 溶接継手の機械的特性

溶接継手の引張試験結果を図5に示す。図5中○印は実測値、棒グラフはその平均値を示している。

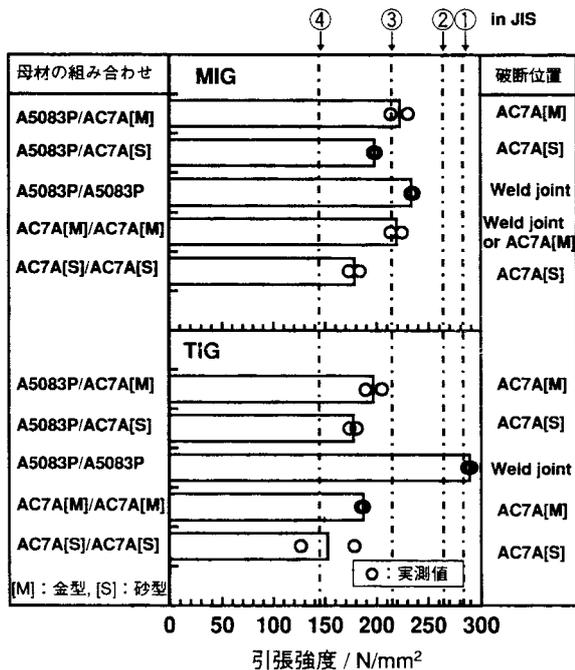


図5 溶接継手の引張強度と破断位置

引張強度 (JIS) ①: A5083P, ②: A5356, ③: AC7A [M], ④: AC7A [S]

る。図中①は圧延材、②は溶接金属、③は金型鑄造材、④は砂型鑄造材のJIS規格値であり、右側の欄には引張試験後の破断位置も併せて示した。

圧延材同士の溶接継手は溶接法によらず何れも溶接継手部で破断している。両者を比較すると、TIG溶接では溶接金属のJIS規格値を越え、MIG溶接では溶接金属のJIS規格値を下回っていることが分かる。この結果は前述したX線透過試験の結果から説明できる。TIG溶接では継手部に気孔が少ないことから引張強度は高く、一方MIG溶接では継手部に気孔が多いことから引張強度は低い値を示したと考えられる。

砂型鑄造材を含む溶接継手は全て母材部で破断し、その引張強度はTIG溶接の1本を除き、砂型鑄造材のJIS規格値以上の値を示している。ここで、1本の試験片でJIS規格値を下回った原因としては鑄造欠陥による母材強度のばらつきと考えている。

金型鑄造材を含む溶接継手は溶接法により引張強度と破断位置が異なる。MIG溶接の場合、3本が金型鑄造材、1本が溶接金属部で破断している。本来溶接継手部が健全であれば、JIS規格値は金型鑄造材よりも溶接金属の引張強度が高く、この組合せでは金型鑄造材で破断すると考えるのが妥当である。しかしながら、上述したようにMIG溶接の継手部には気孔が多数存在するため溶接金属部の強度低下を来し、このような結果を示したと考えられる。一方、TIG溶接の場合、4本とも金型鑄造材で破断しているものの、引張強度は全てJIS規格値以下となっている。この原因として、TIG溶接はMIG溶接と比較し溶接に伴う母材の温度上昇が大きく、強度低下の原因とされる粒界析出をより助長させ、結果として母材の強度低下を誘発したと推察される。TIG溶接による金型鑄造材の強度低下に対するより詳細な原因究明は今後の課題である。

次に、溶接継手の表曲げ試験結果を表4に示す。母材に砂型鑄造材を用いた以外の組合せではいずれも良好な曲げ性能を示し、金型鑄造材と圧延材の溶接継手は十分な曲げ性能を有することが分かる。砂型鑄造材を用いた場合、35~55°の曲げ角度で破断し、破断位置はいずれも溶接金属部に近い砂型鑄造材であった。

表4 溶接継手の曲げ試験結果

母材の組み合わせ	MIG	TIG
A5083P/AC7A[M]	良好	良好
A5083P/AC7A[S]	破断	破断
A5083P/A5083P	良好	良好
AC7A[M]/AC7A[M]	良好	良好
AC7A[S]/AC7A[S]	破断	破断

R=2t、曲げ角度：180°、[M]：金型、[S]：砂型

次に、溶接継手部切断面について硬度測定を行った。TIG 溶接の場合の結果を図6に示す。図6中矢印で示す領域は溶接金属部を示す。全ての硬度分布において、硬度が急激に変化する様な熱影響部に対応する領域は見られない。MIG 溶接においても同様であった。各測定値を各母材と溶接金属に分け、それぞれの平均値を求めると、圧延材部分は80、溶接金属部分は72、金型鑄造材部分は70、砂型鑄造材部分は69となる。各部の硬度の大小関係は引張強度の大小関係と同じ傾向を示した。

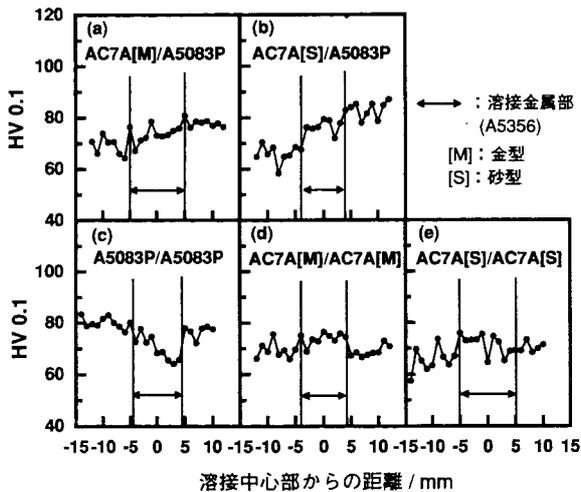


図6 TIG 溶接継手部近傍の硬度分布

3.4 溶接継手の引張強度と破断位置との関係

母材の材質の異なる溶接継手を作製し、その破断強度と破断位置を予測することは、実際に製品を製造する上からも、さらに高強度の溶接継手を開発する上からも重要な課題である。図7は本研究で行った母材と溶接継手の引張試験結果を破断位置と引張強度との関係で整理したものである。

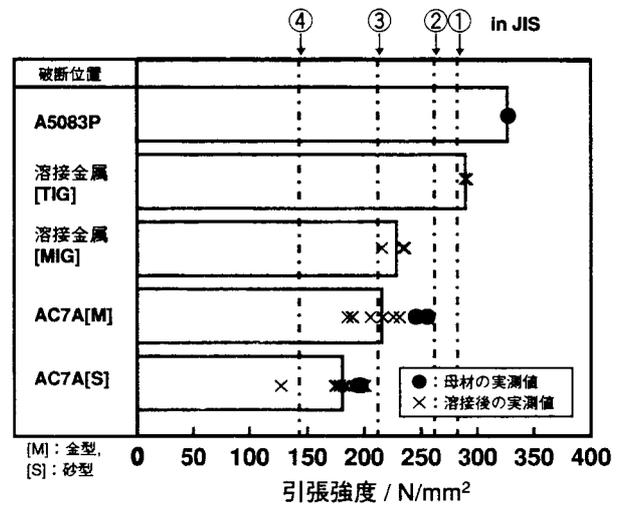


図7 破断位置で整理した母材と溶接継手の引張強度
引張強度 (JIS) ①: A5083P, ②: A5356, ③: AC7A [M],
④: AC7A [S]

図中の●印は母材の引張試験片による実測値、×印は溶接継手による実測値であり、棒グラフにて平均値を示した。尚、圧延材については溶接継手の引張試験において圧延材で破断した結果はないので、母材の引張強度の結果を用いた。①～④は図5の表示と同様、各材料の引張強度のJIS規格値を示す。

最も引張強度の高い部分は圧延材であり、次いで溶接金属 (TIG)、溶接金属 (MIG)、金型鑄造材、砂型鑄造材の順に強度が低下する。TIG 溶接での溶接金属と MIG 溶接の溶接金属との強度差は気孔に基づく溶接欠陥による。金型鑄造材の溶接継手母材部の引張強度は母材自身の引張強度に比べ低下しており、その低下の割合は TIG 溶接の方が MIG 溶接に比べて大きかった。

図7のような表示を用いれば、異なった材料の溶接継手において、TIG または MIG 溶接の条件を指定することにより、溶接継手強度および破断位置を推定することができる。例えば圧延材と金型鑄造材を TIG 溶接する場合、図7を用いて圧延材、溶接金属 (TIG)、及び金型鑄造材の引張強度を比較する。破断位置は最も強度の低い金型鑄造材で、その強度は約220N/mm²と推定される。同様に圧延材と砂型鑄造材を MIG 溶接する場合は、圧延材、溶接金属 (MIG)、及び砂型鑄造材の比較となる。破断位置はこれらの中で最も破断強度の低い砂型鑄造材部分で、その強度は約180 N/mm²と推定できる。

5. ま と め

圧延材，金型鑄造材，および砂型鑄造材を種々組合せ，溶接継手の機械的特性に関する試験を実施した。その結果，以下の点が明らかとなった。

- (1) MIG 溶接は溶接速度が速いという利点と継手部に多数の気孔が生じるという欠点を有していた。一方，TIG 溶接は溶接速度が遅いという欠点と継手部に気孔が少ないという利点を有していた。
- (2) 圧延材同士の組合せにおいて，溶接法による気孔の差が原因と考えられる継手強度の違いが見られた。継手強度は気孔の少ないTIG 溶接で高く，気孔の多いMIG 溶接で低い値を示した。
- (3) 鑄造材を少なくとも1枚含んだ組合せでは，ほとんどの場合鑄造材部分で破断し，継手部の気孔の差による引張強度への影響は見られなかった。従って，溶接速度の違いによる作業性や母材への熱影響を考慮すると，MIG 溶接を用いる方が良いと考えられる。
- (4) 溶接継手の引張試験結果を破断位置と引張強度で整理することにより，母材の組合せ，溶接法，溶接棒等が決まれば破断位置とおおよその引張強度を推定することが可能である。

謝 辞

本研究は北海道立工業技術センターの長期実技技術研修会“目で見る材料実験講座”において実施されたものである。一緒に実験を進めてきた地元企業の研修会参加者に謝意を表します。水素分析とX線透過試験にご協力いただいた日鋼検査サービス(株)関係者に謝意を表します。また，本報をまとめるにあたり懇切丁寧なる御指導・御助言をいただいた北海道大学工学部野口 徹教授に深く謝意を表します。

文 献

- 1) 松本二郎，今泉重威，奥藤 勝：軽金属溶接，19巻，4号(1981) P141～154
- 2) 佐藤四郎，松本二郎，遠藤 隆：軽金属溶接，22巻，4号(1984) P147～156
- 3) 松本二郎：軽金属溶接，24巻，10号(1986) P463～473
- 4) 佐藤四郎，大越 登：軽金属，30巻，5号(1980) P258～262
- 5) 杉山禎彦：軽金属溶接 18巻，6号(1980) P245～251