

アルミニウムダイカストの MIG 溶接特性

MIG Welding Characteristics of Aluminum alloy Die Castings

駒崎 徹 * Toru Komazaki
中田 一博 ** Kazuhiro Nakata

自動車の軽量化要求により、ダイカスト部品がアルミニウムボディの構造体として用いられることも多くなり、ダイカスト品にも接合・溶接が必要になってきた。しかし、アルミダイカスト材の接合に関する研究は少ないため、適切な接合法の選択は難しい。そこで、高真空ダイカストの MIG 溶接特性を調査した。

1. はじめに

環境問題や燃費向上などの軽量化要求により、自動車にアルミニウム部品がより多く使われるようになってきている。特にダイカスト部品は、エンジンブロックを始めとするパワートレイン系の部品から最近の高真空ダイカストの導入により足回り部品にまで及んできている。特にヨーロッパではアウディ社をはじめアルミニウムボディの車を作っているが、多くのダイカスト部品がアルミニウムボディの構造体として用いられている。そのため、ダイカスト品にも接合・溶接が必要になってきている。図1にアウディ A2 の B ピラーを示すが、ダイカスト品にピアシリングリベット、レーザーによる重ね合わせ溶接、MIG 溶接が用いられている¹⁾。

2. 一般的なアルミニウム合金の溶接特性

アルミニウム合金の物性は表1に示すように鉄

鋼材料と大幅に異なる。アルミニウムは、鋼に比べ、熱伝導率が3~5倍、酸化性が高く、水素溶解度は9倍にも及ぶため、溶融溶接は一般的に難しい。

また、一般ダイカストは、ガス含有量が多く靱性向上のための熱処理 (T6、T7) や溶接は出来ない。高真空ダイカストを用いた場合、通常ガス

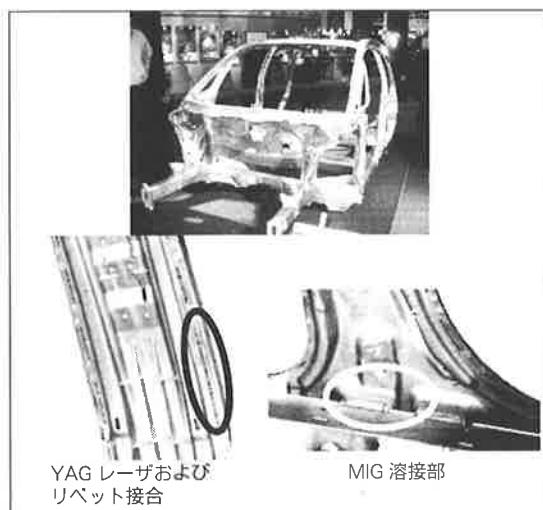


図1 アウディ A2 B ピラーの接合部¹⁾

* リョービ(株)
** 大阪大学

表 1 アルミニウム合金の物性と溶接性の関係

項目	アルミニウム合金	鋼	溶接性との関連
溶融熱量 質量当り 体積当り	0.8 0.33	1 1	・溶接入熱の目安
熱伝導度 電気伝導度	4~5 3~5	1 1	・溶接入熱の与え方→例えばスポット溶接では大電流短時間通電とする
熱膨張係数	2	1	・溶接ひずみの発生→溶接施工方法による対策
凝固収縮率	1.5	1	・凝固割れの発生→溶加材や溶接速度の設定
酸化性	・酸化しやすい ・強固な高融点の酸化膜形成	—	・融合不良、介在物の発生→酸化膜除去、アークのクリーニング作用や溶接部のシールドの適用・酸化被膜によるスポット溶接時の電極の消耗→酸化皮膜除去、溶接条件の検討
固液間での水素溶解度の差	9	1	・ブローホールの発生→水素源の除去
割れ感受性	合金成分に依存	—	・凝固割れ、HAZ 割れ→母材、溶加材、溶接速度および層間温度の選定

	展伸材	金型鑄造法	ダイカスト法 砂型鑄造法
ガス量 cc/100g	0.1	1	10
熱処理性	T6, T2 処理可能	—	ふくれ変形発生
溶接性	可能	—	ピンホール発生
耐圧性 (油圧)	100~150Kg/cm ²	—	100Kg/cm ² 以下

図 2 アルミニウム鑄物の含有ガス量と特性²⁾

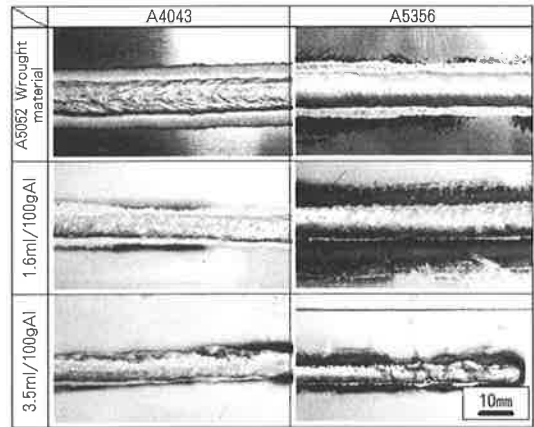


図 3 溶接外観

含有量は 1~5ml/100gAl 程度と言われている。図 2 にダイカスト鑄物の含有ガス量とその特性を示す²⁾。一般的に溶接に適したガス含有量は 1ml/100gAl 以下といわれ、T6 処理などの熱処理の条件より厳しい。高真空ダイカストにおいても 1ml/100gAl 以下を達成することは難しく、溶接ができるかどうかはグレイゾーンの範疇になる。

また、著者らも含めアルミニウムダイカスト材の接合についての研究は少なく³⁻⁵⁾、高真空ダイカスト材を含めたダイカストの接合について適正な接合法を選択することが難しい。そこで高真空ダイカストの MIG 溶接特性を調査した結果を報告する。

3. 高真空ダイカストの MIG 溶接特性

3.1 MIG 溶接外観

AC4C に 0.3%Mn を添加した合金を高真空ダイカストした 4mm 厚の平板を MIG 溶接した溶接後のビードの状態を図 3 に示す。ダイカスト材は、

含有ガス量を 1.6 および 3.5ml/100gAl に調整し、比較材として一般的に車両などの構造材に使用されている非熱処理系 Al-Mg 系展伸材 A5052 (4mm 厚) のビードオンプレートと同時に示す。

A5052 展伸材の場合、含有ガス量が非常になので、どの溶加材を使用してもビードがうるこ状になり、ビード際には白色化したクリーニング帯が存在している。しかし、供試材では A4043 と A5356 溶加材を使用した場合、外観が異なる。まず、A4043 溶加材を使用する場合、ビード高さが低く平坦な形状をしている。A5356 溶加材を使用する場合、A4043 に比べビード高さが高く、黒色状のスマットが多く生じている。これは、Al-Mg 系合金の A5356 が溶融した場合、Al-Mg 系合金の粘性が高いためビード高さが高く、マグネシウム成分が多く含まれているため空気中の酸素と反応しスマットを生じやすいのであ

る。

1.6ml/100gAl のダイカスト品の場合、展伸材の外観品質には劣るがどちらの溶加材を使用してもビード表面はうろこ状になり比較的きれいである。しかし、A5356 の溶加材を使用すると展伸材に比べスマットが大幅に増加した。このことは、展伸材に比べダイカスト品は、含有ガス量が多いため、含有ガスと溶加材のマグネシウム成分と反応してスマットが増加したものと思われる。

3.5ml/100gAl のダイカスト品の場合、A4043 の溶加材を用いると、多少ビードは左右に乱れるがほぼ直線状である。しかし A5356 溶加材を用いると、A4043 に比べビードの乱れが顕著に現れていた。また、多くのスマットを生じていた。これは MIG 溶接中にダイカスト品の含有ガスの突出が起これ、MIG のアークが乱れ同時にビードも著しく乱れたものと思われる。また、その時アルゴンシールドが破れ、空気中の酸素と溶加材より蒸発したマグネシウム成分と急激に反応したためより多くのスマットが生じたものと思われる。

X 線透過観察およびビード断面を図 4 に示す。A4043 の溶加材を使用すると、含有ガス量に関係なくビード全体にほぼ均一に細かい内部欠陥が存在している。内部欠陥はガス量に関係なく、元の板厚よりも高いビード上面（余盛部）に多く存在している。A5356 溶加材を使用すると 1.6ml/100gAl の場合、A4043 溶加材よりも内部

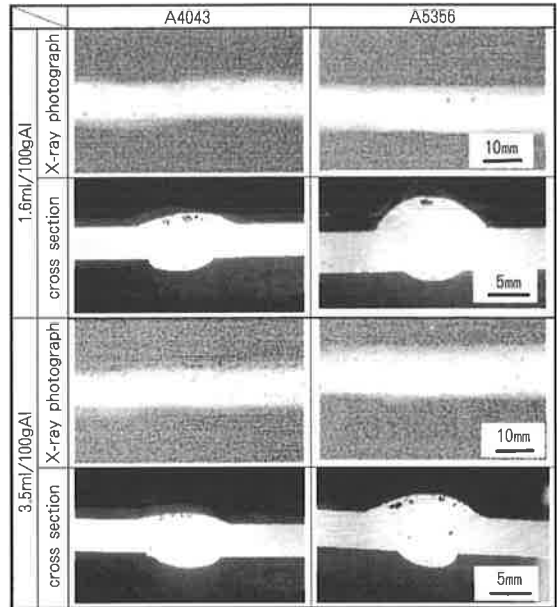


図 4 溶接部の X 線透過写真および断面マクロ組織

欠陥が大きく、この大きな内部欠陥があるところはビードが大きく乱れていた。A4043 溶加材に比べ A5356 溶加材を使用すると細かい内部欠陥は少ない。これは、溶加材の Al-Si 系合金よりも Al-Mg 系合金は固溶水素量が多いため⁸⁾、固溶した水素がガスとして析出しなかったものと考えられる。含有ガス量の多い 3.5ml/100gAl の場合、大きな内部欠陥があるところはビードが乱れ、さらに全体的にも内部欠陥も多い。A4043 溶加材と同様に A5356 溶加材を使用すると、内部欠陥はガス量に関係なく余盛部に多く存在している。

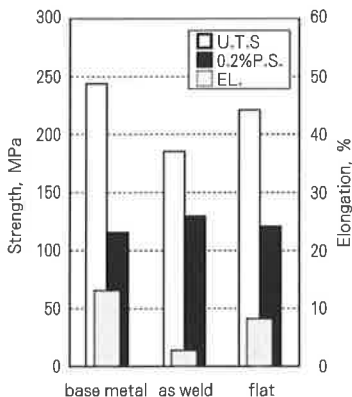


図 5 溶接ビードの強度、伸びへの影響

3.2 ビード付き（余盛）の強度への影響

強度調査に供する試験片は、試験片平行部の中央に溶接部がくるようにし、ビードを残した黒皮試験片とビードを削除した両面加工試験片を用いた。黒皮試験片、両面加工試験片ともに JIS4 号試験片に準拠して作製した。

A4043 溶加材を使用したときの引張試験結果を図 5 に示す。黒皮試験片は、母材よりも強度 24% 減、0.2% 耐力 10% 上昇、伸び 78% 減になり、大幅に引張特性を低下させる。しかし、ビード削

除した両面加工試験片の場合には、引張特性、伸びについて大幅な向上が見られる。特に伸びの母材からの減少量は、40%減にとどまり約8%の伸びを示す。これは、ビードが残った状態に比べ、2倍以上向上していることを示している。ビード付きの試験片の場合、裏ビード際が起点になり破断が起きている。図4の溶接部断面によると、ダイカスト材と裏ビードとの際には鋭角上になっており、応力集中しやすい形状である。裏ビードは表面側と異なり、クリーニング効果もなくダイカスト材と溶融アルミとの濡れが悪い。そのため、ビード付きの強度、伸びが大幅に低下したものと思われる。継手効率としてみると、黒皮（ビード付）試験片の場合75%、加工試験片（ビードなし）の場合90%である。6000系合金の継手効率は約60~75%と言われている⁷⁾ことから、継手効率とすれば平均以上といえるであろう。

3.3 含有ガス量の強度への影響

A4043 溶加材を使用したガス量の強度特性に与える影響を図6に示す。使用した試験片は、ビードの影響を避けるため、加工試験片を用いた。引張強度、伸びは、ガス量の増加とともにわずかに減少傾向を示す。引張強度で6%、伸びで11%減少していたが、0.2%耐力はほぼ一定であった。ガス量の増加にともない塑性領域での伸びが減少し、強度もそれにともない低下していることを示

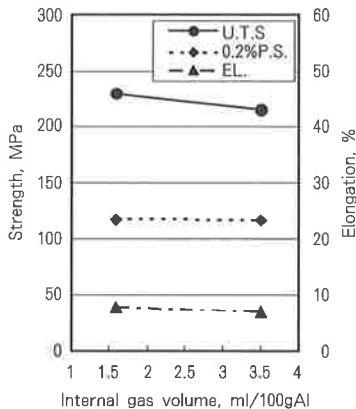


図6 MIG 溶接継手の引張特性に及ぼす含有ガス量の影響

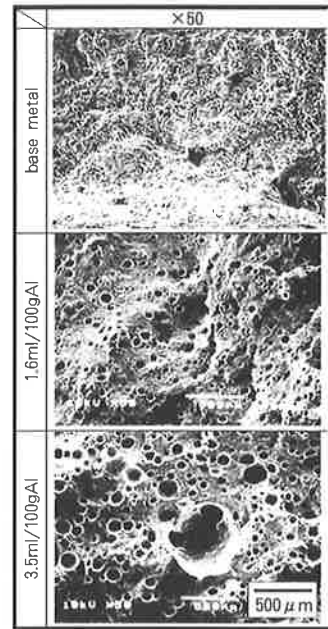


図7 引張試験後の破断面 SEM 写真

している。

図7に母材のみで引張試験を行ったときの破断面、ガス量1.6ml/100gAlのときの破断面、3.5ml/100gAlのときの破断面を示す。母材のみの場合、破面上にディンプルが多く観察され延性破面を示している。しかし、ガス量1.6ml/100gAlの場合、直径約50μmのクレータ状の欠陥が多く存在している。3.5ml/100gAlになると直径約50μmのクレータ状の欠陥が増え、さらに約100μm以上のクレータ状の欠陥も存在する。それゆえ、塑性領域での強度低下の原因は、ガス量増加による溶接部の内部欠陥によるものと考えられる。

3.4 溶加材の強度に対する影響

溶加材による強度への影響を図8に示す。含有ガス量は1.6ml/100gAlで、ビードの影響を避けるために加工試験片を用いた。溶加材A4043に比べ、A5356を用いると強度、伸びは著しく低下する。溶加材A4043に比べ、A5356を用いると0.2%耐力は上昇する。

図9に破断面および破断面近傍のマイクロ組織を

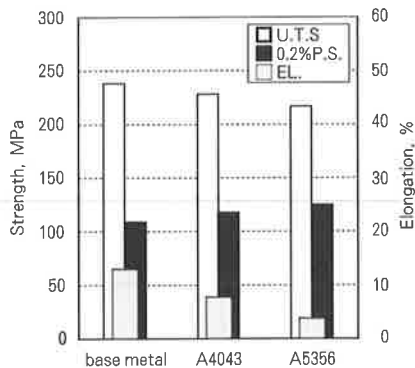


図8 溶加材の影響

示す。破断面の2次電子像を見るとA4043溶加材を使用した場合、破断面上に直径5~10 μ mの細かい内部欠陥が多く存在し、この内部欠陥により脆化していることがわかる。破断面近傍のマイクロ組織を見ると、破断は内部欠陥を通りながら進行しているが、主に α 相を横切って亀裂が進展している。このことからA4043溶加材を用いた溶接部では、主に粒内破壊を示しており、微細な内部欠陥を多く含んでいるにもかかわらず、ある程度の延性を示しているものと考えられる。

A5356溶加材を使用した場合、直径約0.5mmの大きなガス欠陥が試験片表面近傍に存在し、また破断面に白丸で示したガス欠陥が破断の起点になっている。破断面近傍のマイクロ組織を見ると、破断はデンドライトとの粒界に沿って進んでいる。溶加材の組成であるAl-Mg合金の場合、通常粒内破壊を起こすので靱性に富んでいる。母材であるAl-Si-Mg系の合金も粒内破壊で、比較的靱性に富んでいる。しかし、母材であるAl-Si-Mg系の合金に溶接によって、溶加材の組成であるAl-Mg合金を母材に溶融混合した場合、溶接部に過剰のマグネシウムが溶け込み、粒界には3元共晶であるAl-Si-Mg₂Siを生じる⁸⁾。これにより、粒界に存在するSi、Mg₂Siにより粒界が脆化し、破壊形態が粒内破壊から粒界破壊へと変化する。そのため、A5356溶加材をAl-Si系合金に使用す

ると粒界に存在する伸びの少ない金属間化合物上を破壊が進展するため、化学組成からの予想よりも伸びが著しく低下する。

4. まとめ

アルミニウム合金の物性は鉄鋼材料と大幅に異なり、さらにダイカスト品はガス量も多い。そのため、アルミニウムダイカスト品の溶接性は、鋼に比べ大きく異なってしまいます。鋼性車体では、抵抗スポット溶接、アーク溶接の適用が主体であるが、アルミニウム化において溶接性の差異に配慮し、合金系、部材の形状、継手形態などによって適切な溶接法と溶接施工を行う必要がある。

《参考文献》

- 1) 2003 GIFA
- 2) 鈴木：総合鋳物 '83.7.4
- 3) 内山、津村、村上、中田、駒崎：溶接学会講演概要集、74 (2004)、415
- 4) 金、中田、村上、前田、牛尾、駒崎：溶接学会講演概要集、73 (2003)、121
- 5) 駒崎：鑄造工学、76 (2004)、4、289
- 6) 水野、藁田、阪口：アルミニウムとその合金の溶接、産業出版 (1979)、60
- 7) 村松：自動車用アルミニウム合金接合技術の現状と将来動向、軽金属溶接構造協会 (2002)、73
- 8) D.Hanson and M.L.V.Gayler：J.Inst.Metals 26 (1921)、321

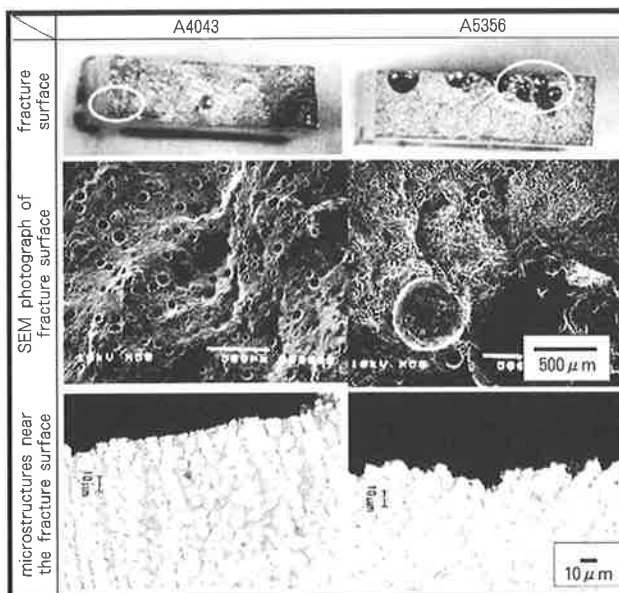


図9 溶加材による破断の違い