

アルミニウム合金展伸材と鋳物の異材溶接性

日大生産工 (学部) ○高館 洋太郎

日大生産工 (非常勤) 長谷川 利之 日大生産工 大久保 通則

1 緒言

アルミニウム合金展伸材と鋳物の異材溶接が活用できれば、軽量溶接構造設計の自由度が増大すると考えられる。本研究の目的は、各種の溶融溶接法及び固相接合法を熱源プロセスとして、アルミニウム合金異材溶接性を明らかにすることである。

アルミニウム合金異材継手は、強度や化学組成が異なる継手を形成する必要があるため、多くの技術的課題¹⁾が残されている。著者らも電子ビーム溶接及びティグ溶接²⁾並びに高エネルギー密度溶接³⁾を異材接手に適用して基礎的な解明を行った。本研究では、構造材のマルチマテリアル化の開発に関して、自動車用材料と航空機材料を対象としてアルミニウム合金の異材溶接性に対して各種の検討を行った。

2 供試材及び実験方法

2.1 自動車用材料に関する実験

展伸材は、A7075-T651(Al-1.5Cu-2.6Mg)であり、鋳物材はAC7A(Al-4.4Mg)を用いた。母材の寸法は、15(t) x 100(w) x 100(L)mmとした。適用した接合法は溶融溶接であるティグ溶接、ミグ溶接及びレーザー溶接とした。一方、固相接合として摩擦攪拌接合も対象とした。溶接部の評価は、平板(7 x 15 mm)の引張試験を行った。さらに硬さ試験(HV0.3)を実施した。

2.2 航空機用材料に関する実験

展伸材は、前述の母材と同じA7075-T651であり、鋳物材はA201-T7(Al-4.5Cu)とA357-T6(Al-7.5Si)を用いた。適用した溶接法は真空中で施工する電子ビーム溶接法である。母材の寸法は、15(t) x 60(w) x 100(L)mmとした。溶接部の評価は、丸棒(Dia8-GL30 mm)の引張試験を行った。さらに、衝撃試験と硬さ試験(HV0.3)を実施した。

3 実験結果および検討

3.1 自動車用材料に関する実験

継手の平板引張試験結果をFig.1に示す。引張強さは破断前に接合部の面積を計測することが困難であったため試験後に破断面の面積を計測し算出した。接合部の引張強さはFSWの接合部が最も高く、AC7Aの強さを上回っているが、これは破断経路がFSWのみ特殊であったためであると考えられる。FSWの場合、攪拌された材料が硬さが低いAC7A側に攪拌されて接合されており破断に至るまでに接合部に引張り力のみでなくせん断力も働き、これが今回の試験での測定法では引張強さに加わって高い値として現れたものと考えられる。

MIGとTIGはAC7Aとほぼ同じ値を示している。TIGの試験片は溶接部とAC7A側の母材との境目で破断しており、またMIGの場合は完全に母材が破断している。

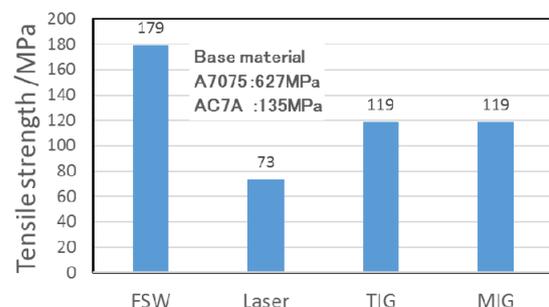


Fig.1 Tensile strength of A7075/AC7A joints.

硬さ試験の結果をFig.2に示す。硬さではFSWが最も高くAC7AとA7075のほぼ中間程度の値になっており、十分に攪拌されていたと推測できる。LaserもTIG、MIGに比べ高い値を示しているが、引張強さは低いことから合金部が脆い合金になっていると考えられる。

Dissimilar Weldability for Aluminum Wrought alloy to Castings

Yotaro TAKADATE, Toshiyuki HASEGAWA, Michinori OKUBO

TIG, MIGはAC7Aに比べ若干高い数値を示しているが、これは溶加棒のA5183と同じAl-Mg系展伸材料のA5052の硬さがHV77でありそれに近いことから計測点の主成分がA5183であったと考えられる。

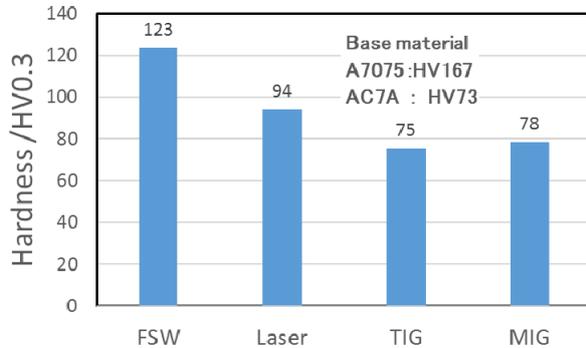


Fig.2 Hardness of A7075/AC7A joints.

硬さと引張強さの関係をFig.3に示す。これより、接合部の強度としてはFSWが硬さ、引張強度共に高い傾向にある。さらにLaserは硬さが高いが、引張強さは低く、接合部では脆い金属であることがわかる。これは凝固形態が影響を及ぼしていると推察される。TIG, MIGは硬さが低い引張強さが高い傾向を示した。

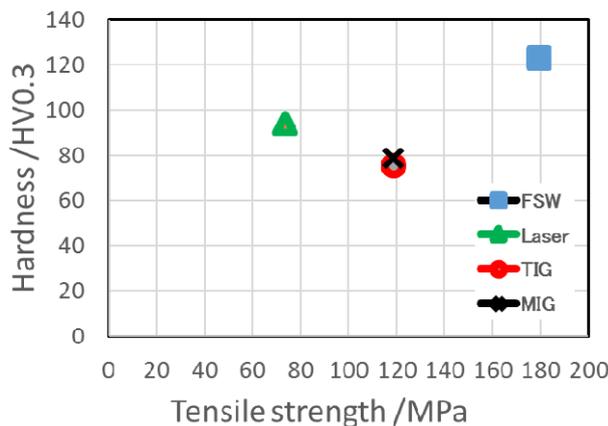


Fig.3 Relation between strength and hardness.

引張試験における最大負荷と破断エネルギーの関係をFig.4に示す。これより最大負荷と破断エネルギーの両者が高い溶接法はMIGであり、継手部ではなく母材が破断している。すなわち、継手としては最も強度が高いといえる。FSWは最も低い値を示しているがこれは片面のみの接合であることも関係していると言え、実質的にはLaserよりも高い継手強度を持っていると考えられる。エネルギーとしてはMIGが最も高いが、MIGの場合は母材で破断

しているためほぼAC7Aの強度に依存していると判断できる。LaserとFSWが低い値を示しているが、FSWは片面のみの接合であったことと、伸量が少なかったため合金部の展性が低いことが推測できる。

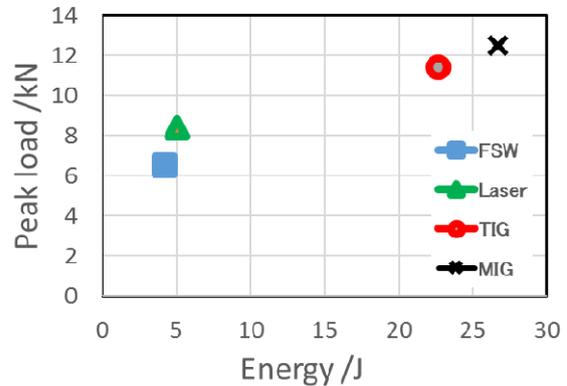


Fig.4 Relation between energy and load for A7075/AC7A joints.

3.2 航空機用材料に関する実験

電子ビーム溶接施工による展伸材継手では、溶接速度150mm/minの場合、亜鉛、マグネシウム等の蒸発により電子銃が絶縁不良となり、突発的なビーム電流の増大によりビームの停止が起こった。溶接速度250mm/minではビード表面にアーキング孔が残るものの十分な溶込みが得られており、表面的な割れ等の欠陥も見られなかった。鋳物継手においては溶接速度250mm/minでは、溶込みが板厚の50%程度しか得られず、150mm/minではほぼ完全溶込みの良好な継手を得られた。

Fig.5にA7075/A201継手の顕微鏡組織を示す。溶接金属部は急冷凝固により母材に比して組織が非常に微細化している。鋳物側熱影響部には、アルミニウムと銅の金属間化合物と思われる偏析が約8mmにわたり微少な黒点となって観察される。展伸材継手、異材継手とも溶接金属部、ボンド部にミクロ的な割れ、ポロシティ等の欠陥は認められない。異材継手において展伸材側の熱影響部と見られる変化は約6mm、鋳物側は約4mmとなっている。この値はマクロ断面で見たときより大きく、広い範囲で組織に熱影響を与えていることが分かる。走査型電子顕微鏡による異材継手の溶接開始部の観察によると、溶接金属部中央部は菊の葉状の組織をしており結晶粒は粗くなっている。結晶粒は展伸材側が約10μmの結晶粒径であるのに対し鋳物側では20μmと粗大なものとなっており、割れ近傍の溶接金属中心部、割れの先端部では不純物の析出が起こっており、そ

の周囲の粒界に空隙が生じた状態となっている。この析出物は、結晶粒界に存在する低融点化合物であると考えられる。

展伸材継手の溶接金属部の硬さは、ビッカース硬さ120HV前後であり、母材に比べ軟化している。ボンド部付近では、140HV前後まで上昇し、一端125HV前後まで軟化し、徐々に母材の硬さに回復している。鋳物継手は溶接金属部、ボンド部ともに約80HVとなっており、熱影響部において約100HVまで硬化し、徐々に母材の硬さに回復している。

異材継手の硬さ分布は溶接金属部を境に、それぞれの同種材継手の硬さ分布とほぼ同じ傾向になっており、また溶接金属は、約100HVであり、各同種材継手の溶接金属部の硬さの中間的な値となっているが、溶接金属部中が一樣ではないことが分かる。

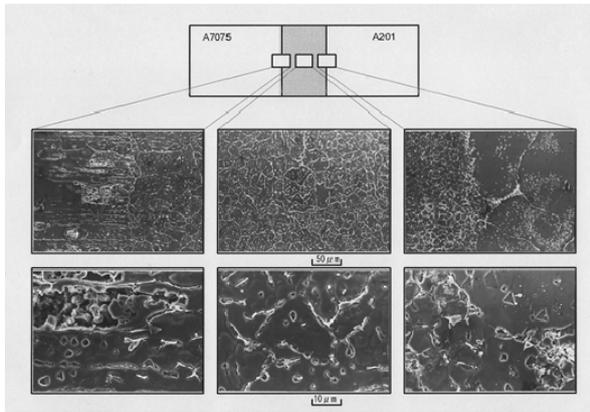


Fig.5 Microstructure of A7075/A201 joints.

電子ビーム溶接における引張強さとすべての継手の組み合わせをまとめてFig.6に示す。同図には後述するA7075/A357継手の結果も示している。展伸材同種継手の平滑試験片の引張強さは約350MPaで、破断位置は、平滑試験片で溶接金属部もしくはボンド部近傍の熱影響部、切欠きを付した試験片はすべて切欠き位置で破断している。また、切欠きを付した試験片の方が平滑試験片より強度が高くなっているが、これは硬さ試験における軟化域が、切欠き下端部において断面方向の拘束力を受け、三軸応力状態になっているためと考えられる。鋳物同種継手の引張強さは約300MPa、破断位置は平滑試験片、切欠きを付した試験片共にボンド部近傍の熱影響部である。異種継手は約100MPaと母材に比べかなり低い値となっている。切欠きの有無、位置に関わらず溶接金属部、または鋳物側ボンド部で破断している。破断面には板厚方向に平行な凹凸があり凹部に

は深い亀裂があることから、断面の組織からは観察されない溶接金属部に発生した割れが破断の起点になっているものと思われる。展伸材同種継手平滑試験片の伸び率は、母材の17%から1.5%に低下しているが、鋳物同種継手平滑試験片の伸び率は母材の4.0%から10%に向上しており、また、溶接金属部においてネッキングが起こっている。異材継手の伸び率は平滑試験片で2.8%と、鋳物の母材よりやや高い値となっている。

展伸材同種継手、鋳物同種継手とも平滑試験片において継手効率約70%と比較的良好な結果となっているが、異材継手の引張強さは各母材の約20%とかなり低下しており、これらのことから、異材継手の溶接金属部は割れの影響を含めてかなり強度が低下しており、また組織観察で見られた鋳物側ボンド部付近の割れの影響も大きいと考えられる。

展伸材同種母材の破面は延性破面でありデインプルが見られ、鋳物母材は脆性破面であり、鋳造時にできたと思われる柱状晶の先端が観察される。展伸材同種継手は熱影響部で破断したものであり、水平方向に微細な割れが発生しているが、これはMg₂Siの偏析のために粒界で開口しているものと考えられる。鋳物同種継手はボンド部付近の熱影響部で破断したものであり、破面には割れが開口しており、組織観察で見られた粒界割れであると考えられる。鋳物継手の熱影響部では強度の低下、または粒界割れから破断が進展し、このような粒界延性破壊となったと考えられる。異材継手は溶接金属部における破断である。破面には割れが開口し、高温割れの様相も観察される。異材継手の溶接金属部の破断は、この高温割れを原因とするところが大きいと考えられる。

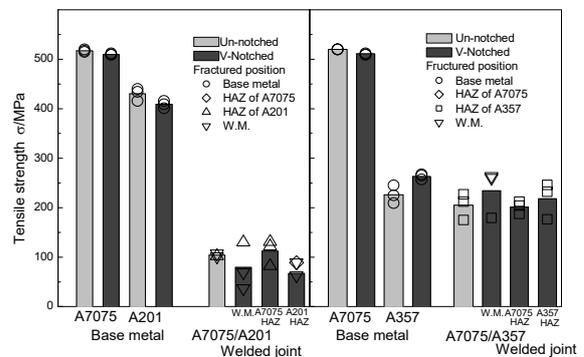


Fig.6 Tensile strength of A7075/A201 and A7075/A357 joints.

展伸材同種継手の溶接金属部の衝撃値は、平均 $2.75\text{J}/\text{cm}^2$ 、熱影響部で $4.89\text{J}/\text{cm}^2$ であり、熱影響部が若干高い値を示しているが、母材の衝撃値 $40\text{J}/\text{cm}^2$ に比して大幅に低下している。溶接金属部の破面には、溶接時の熱流方向に沿って、組織観察では見られなかった割れが開口しているが、極端に低い値を示した試験片($0.23\text{J}/\text{cm}^2$)には見られず、割れの界面における破断であると考えられる。熱影響部の破面には、引張試験片同様に、多数の微細な割れが肉眼で観察される。

鋳物同種継手の衝撃値は、溶接金属部で平均 $15.59\text{J}/\text{cm}^2$ 、熱影響部で $5.06\text{J}/\text{cm}^2$ と、母材の衝撃値($3.5\text{J}/\text{cm}^2$)より向上している。また、溶接金属部にVノッチを付した試験片でも破断が熱影響部に進展しているものがあり、熱影響部の衝撃値に近いものとなっている。異材継手の衝撃値は、溶接金属部で $0.76\text{J}/\text{cm}^2$ 、鋳物側熱影響部が $1.24\text{J}/\text{cm}^2$ とかなり低い値となっている。また展伸材側熱影響部にノッチを付したものは、溶接金属部もしくは鋳物側熱影響部での破断となっているためデータの掲載はしていない。また鋳物側熱影響部についても試験片4本中2本が溶接金属部において破断している。破断面にはかなりの凹凸が見られ、この凹凸は熱流方向に平行であることから異材継手においてはこの方向に割れが発生し、強度を大きく低下させるものと考えられる。アルミニウム合金の溶接部の性質向上には、熱影響部をいかに狭くすることが重要⁶⁾であることが示唆されている。

走査型電子顕微鏡による破面観察においては、展伸材の場合は層状に破断しており、破面にはディンプルが見られ延性破面であることを示している。鋳物は脆性破面となっており、破面には柱状晶の先端が現れている。破面には高温割れが現れている。このような割れは同種材においては見られず、異材継手とすることで、溶接金属部の合金組成が割れ感受性の高いものになり、溶接金属部の性質を低下させるものと考えられる。

硬さ分布の結果をFig.7に示す。なお同図には前述のA7075/A201の結果も示してある。鋳物同種継手の溶接金属部はビッカース硬さ約100HVであるがポンド部から熱影響部に向かって約1.5mmの範囲で約80HVと軟化しており、組織観察で見られた変化が現れている。また母材の硬さに回復するには衷心から約5mmの距離を要する。異材継手の硬さ分布はA201を使用した継手と同様、溶接金属部中心を境にそ

ぞれの同種材継手の硬さ分布とほぼ同じ傾向を示している。

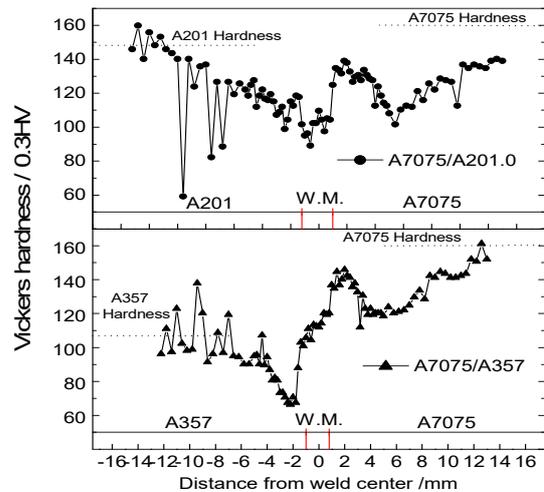


Fig.7 Hardness of A7075/A201 and A7075/A357 joints.

4 結言

(1)自動車用材料の各種溶接・接合法による異材継手は、FSWが最も引張強度が高く、MIG、TIGはAC7Aと同等でありLaserは引張強度が低い傾向を示した。硬さでもFSWがもっとも高い値となりMIGとTIGは溶加棒のA5183と同等となりLaserはこれらの中間にあった。エネルギーの観点ではMIGが最もエネルギーが高くFSW、Laserは低い傾向を示した。
(2)航空機用材料の電子ビーム溶接によるA7075とA201の溶接部は、展伸材同種継手及び鋳物同種継手とも継手効率約70%と比較的良好な結果が得られた。しかし、異材継手では約20%とかなり低い値となり高温割れが発生する傾向にあった。A7075/A357の継手においては、異材継手の性質は良好であり、溶接品質は高い。

「参考文献」

- 1) T. Luijendijk, Welding of dissimilar aluminium alloy, Journal of Materials Processing Technology 104(2000) p29.
- 2) 大久保通則, 竹中健一, 電子ビーム及びティグ溶接によるAl-Mg系合金の展伸材材と鋳物の異材継手, 軽金属溶接, Vol.34, No.9(1996), P435.
- 3) 大久保通則, 木ノ嶋 克行, 時末 光, 高エネルギー密度溶接によるA5052展伸材とAC4C鋳物の異材溶接性, 軽金属溶接, Vol.33, No.4(1995), P151.