

テーラードブランク材の加工技術に関する試験研究事業(第 3 報)

行武栄太郎* 小松崎和久* 上田聖* 早乙女秀丸*

小林正憲* 齋藤和哉* 山下 宏**

1. はじめに

近年、マルチマテリアルによる軽量化技術の開発が進んでいる。マルチマテリアルとは適材適所に材料を選定し軽量化を実現する手法である。そこには、異種材料との接合技術が必須となる。さらには、金属材料同士の組み合わせでなく、樹脂材料と金属材料との組み合わせも検討が進んでいる。このように異種材料を組み合わせシート化（テーラードブランク材）しプレス加工することで軽量化する技術は、自動車産業では鉄鋼材料において取り入れられており、実用化（鋼板+高張力鋼板）されている。

本事業では軽量化を実現する技術として、軽金属材料におけるマルチマテリアル化の実現性を検討することを目的に、アルミニウム合金、マグネシウム合金を用いたテーラードブランク材の作製技術及びその加工特性について検討した。

テーラードブランク材の作製には固相接合の一つである摩擦撹拌接合技術を用いて異材及び異板厚の接合を検討した。また、板厚方向には圧延技術を用いてクラッド材の製作を検討した。また、テーラードブランク材及びクラッド材を加工する技術として金属ブロー成形技術の検討をした。これら軽金属材料のマルチマテリアル化に関する加工技術を検討することで更なる軽量化を実現でき、快適な省エネ社会の実現が期待できる。

2. 目的

本研究事業では、異種金属接合を可能とする摩擦撹拌接合（FSW）を用いて、軽金属材料（マグネシウム合金、アルミニウム合金等）のテーラードブランク材を作製し、成形することを目的としている。

本年度の報告では温間圧延機を用い板厚方向に異種材料を積層する技術としてクラッド材製造技術の検討、及びテーラードブランク材の成形技術として検討した金属ブロー成形技術について報告する。

3. 研究内容

3.1 供試材

アルミニウム合金には一般市販材料である A5052-H34 の圧延材（板厚 2.0mm、表面研磨済み）、マグネシウム合金には日本金属社製難燃性マグネシウム合金（板厚 2.0mm、1.5mm、表面研磨済み）圧延材である AZ31F（Al13mass%、Zn1mass%）を用いた。

クラッド材作製には、幅 70 mm、35mm、長さ 200mm を用いた。金属ブロー成形ではφ100mm（板厚 1.5mm）のブランク材を板材より切り抜き試験片とした。また、幅 70mm、長さ 200 mm の短冊状の試験片を摩擦撹

拌接合で突き合せ接合したものをφ100mm に切り抜き試験片とした。

3.2 クラッド材の製作の検討

クラッド材の作製には温間圧延機（大野ロール株式会社製：2DR-160D）を用いた。ロール径φ160mm、ロール幅 210mm の温間 2 段圧延機で、ロール内にカードリッジヒーターが挿入されており直接ロールを加熱することでロール表面温度を室温～400℃の温度範囲で制御できる。圧延速度 0.1m/min～10m/min の加工条件範囲でクラッド材の作製を検討した。ロールと供試材には圧延前に潤滑材として離型剤：B・N スプレー耐熱性ボロンナイトライドを接触面に噴霧し試験した。圧下率は 30%～60%としてアルミニウム合金、マグネシウム合金のクラッド材を試作し断面観察及び機械的特性を評価した。

3.3 金属ブロー成形の検討

金属ブロー成形には温間成形機（リナシメタリ）を用いて評価した。本装置はボンベ圧を利用し、300℃～450℃の温度範囲で温間金属ブロー成形を可能とする。試験片形状はφ100 mmの円形ブランクを用い、ブランクの周囲を一定負荷でクランプ密閉しガス圧、流量、時間を調整しながら温間金属ブロー成形できる装置である。

本実験ではガスに工業用アルゴンガスを用いた。試験片厚さ 1.5mm とし最大ガス圧、保持時間を変化させながらブランクの膨らみ高さを評価した。ガス圧は最大ガス圧に到達するまで直線的に増加させ、最大ガス圧で一定時間保持した後、直線的に減圧しブランク材を成形した。環境は大気雰囲気とした。

4. 研究結果と考察

4.1 クラッド材

クラッド材の製作には一般市販材であるアルミニウム合金（A5052H34）、マグネシウム合金（AZ31F）の圧延材を用いた。板厚はそれぞれ 2.0mm として、重ね合せ面は耐水ペーパーにて #1500 で圧延方向に研磨することで、表面の酸化物を除去した。研磨後は直ちにエタノールとアセトンにより研磨面の脱脂、脱水を行いクラッド材製作試験片とした。温間圧延ロールの表面には離型剤を噴霧し、表面温度が 300℃に安定した後圧延を開始した。圧延時の圧下率は 30%、40%、50%、60%の 4 条件とし、圧延ロールの中央に試験片を挿入し圧延した。

圧延 1 回での圧下率を変化させ評価した結果、圧下率 50%未満では、クラッド材の作製はできなかった。

た（重ね合せ面が接合されない）。そこで、圧下率を50%以上で評価した。圧下率50%，60%では重ね合せ面の接合が完了しクラッド材の作製に成功した。

図1にロール表面温度300℃，圧延速度1m/min，圧下率50%で得られたクラッド材の断面観察結果を示す。300℃で圧延することでマグネシウム合金（0.2mm），アルミニウム合金（1.8mm）の板厚が大きく減少することが観察された。これは，マグネシウム合金の300℃での耐力は約50MPa，アルミニウム合金では約90MPaであることから，300℃で圧延することで優先的にマグネシウム合金が変形することが影響していると考えられるが，この変形量の大きな差によりマグネシウム合金の新生面が多く発現することでアルミニウム合金と接合しやすくなるとも考えられる。

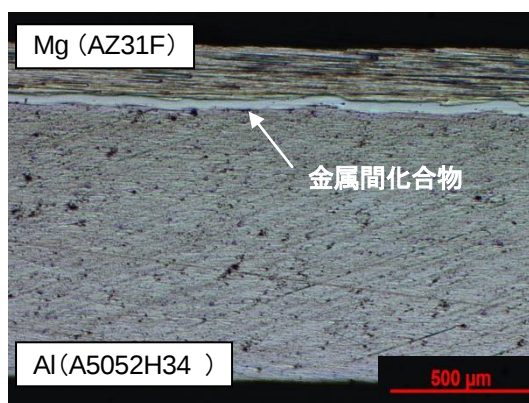


図1 クラッド材断面写真 (300℃)

クラッド材でのマグネシウム合金とアルミニウム合金との間には硬くて脆い金属間化合物の層も確認できる。この金属間化合物層はX線回折で観察した結果，アルミニウムとマグネシウムとの金属間化合物で Al_3Mg_2 ， $Al_{12}Mg_{17}$ が確認された。この金属間化合物の硬さは150HV以上を示し，安定的な化合物で，アルミニウム合金，マグネシウム合金を圧延することで発生した新生面が高压で接することで生成される。これは，摩擦攪拌接合にて異材（アルミニウム合金，マグネシウム合金）を接合した際に発生する金属間化合物と同様のものである。

金属間化合物層は一般的に硬くて脆い組織を有しており，この層の厚さは機械的特性に影響する。そこで，ロール表面温度300℃，圧延速度1m/min，圧下率50%で得られたクラッド材の機械的特性を引張試験により大気中（室温）で評価した。試験片は得られたクラッド材の圧延方向に平行部が平行となるように，平行部幅12.5mm，平行部長さ60mmの試験片を採取し評価した。引張速度は3mm/min一定とした。

図2に母材（アルミニウム合金，マグネシウム合金），クラッド材の引張試験結果（0.2%耐力，引張

強さ）を示す。クラッド材の耐力は母材に比べ低下している。クラッド材の結晶組織を観察するとマグネシウム合金では等軸の再結晶した組織が観察され，アルミニウム合金でも同様に再結晶が観察された。よって，クラッド材の耐力が低下する要因は，高温（300℃）で素材が再結晶することが考えられる。しかし，クラッド材においても最終圧延を冷間で行うことで耐力向上が期待できる。

引張強さも耐力同様に低下が観察された。母材とクラッド材の応力-ひずみ曲線において，クラッド材ではくびれ発生がほとんどなく，最大強度と破断強度が一致しており，脆性的な破断挙動を示したが，母材ではくびれ発生が確認でき，延性的な挙動を示した。これは，接合界面に発生した硬くて脆い金属間化合物が，引張強さの低下に影響していると考えられる。試験後の試験片観察では，破面近傍でクラッド材の剥離が観察された。

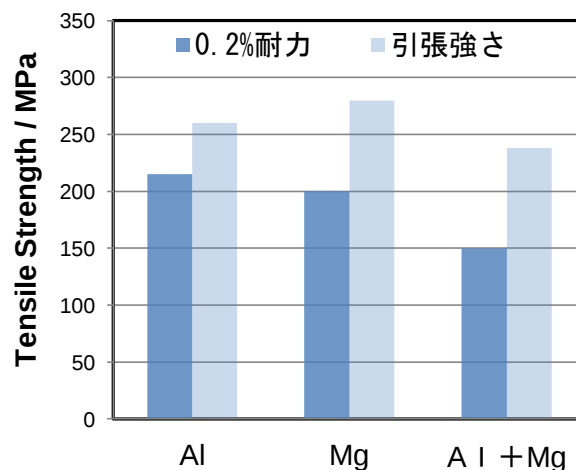


図2 クラッド材の機械的特性

図3にロール表面温度300℃，圧延速度1m/min，圧下率50%で得られたクラッド材を温度：300℃，時間：4hr，8hrで熱処理した後の金属間化合物層の厚さを測定した結果を示す。熱処理時間と金属間化合物層との関係は，金属間化合物層が時間に比例して増加することが確認できた。したがって，金属間化合物層を薄く生成させるには短時間で加工するこ

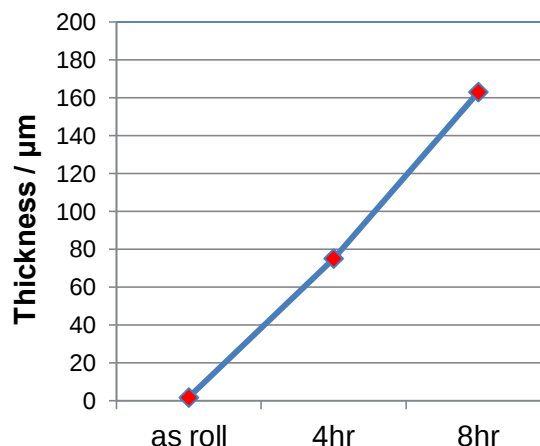


図3 金属間化合物の厚さ変化

とが必要と考えられる。また、熱処理温度を変化させた場合、温度低下に比例して金属間化合物層の成長が抑制されることも確認された。

これらの結果より、クラッド材の機械的強度低下を抑制するためには、短時間かつ低温での加工が有効である。そこで、ロール表面温度 200℃、圧延速度 5m/min として圧延した結果を図 4 に示す。

圧延温度を 200℃にすることで、アルミニウム合金とマグネシウム合金における耐力が同等となるため板厚の薄いクラッド材の製作に成功した。耐力は 180MPa 以上、引張強度 250MPa 以上を達成できた。

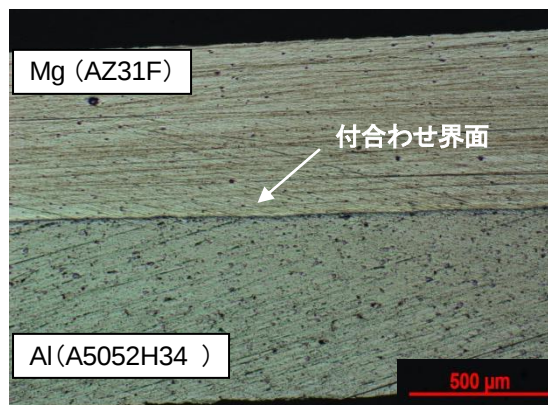


図 4 クラッド材断面写真 (200℃)

4.2 金属ブロー成形

図 5 に金属ブロー成型機による成形方法の概略図を示す。φ100mm 程度の円形ブランク（試験片）は金型により一定負荷でクランプし密閉する。密閉後にアルゴンガスを金型内へ送り、ガス圧を制御しながらブランクをガス圧で成形した。試験片にはアルミニウム合金、マグネシウム合金及びそれら接合材（摩擦攪拌接合）の 3 種類を成形評価した。試験片の加熱は、金型を加熱することで試験片も加熱し、成形温度は試験片の温度を 300℃として成形した。

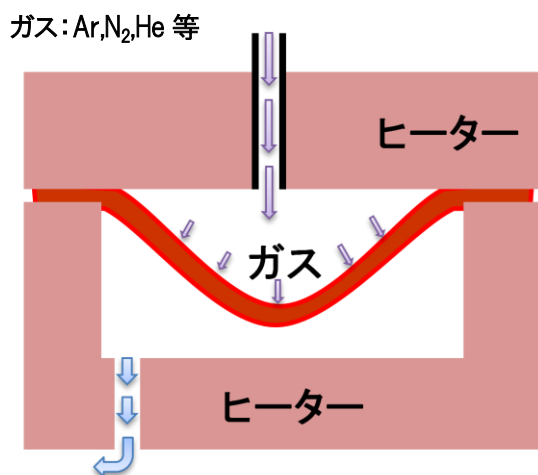


図 5 金属ブロー成形概略

摩擦攪拌接合した接合試験片の作製には、幅 70mm、長さ 200 mm の短冊状の板材（圧延方向を長さ方向と

する）を用いた。接合条件は回転数 1000rpm、接合速度 10mm/s とした。ツール接触後の予熱時間は 5sec、ツール角度は前進角度約 3° とし摩擦攪拌接合を行い接合試験片とした。得られた接合試験片はレーザー加工にて接合部を中心に φ100mm の円形ブランクとした。

図 6 に金属ブロー成形条件を示す。試験片を金型に固定し十分加熱した後、徐々にガス圧を上げる。急激にガス圧を上げると、試験片に局部変形が発生し、十分な張出高さを得ることができないため、初期ガス圧は徐々に上げる。目標のガス圧まで上げた後、一定ガス圧を維持する。この時の保持時間により張出高さが変化する。

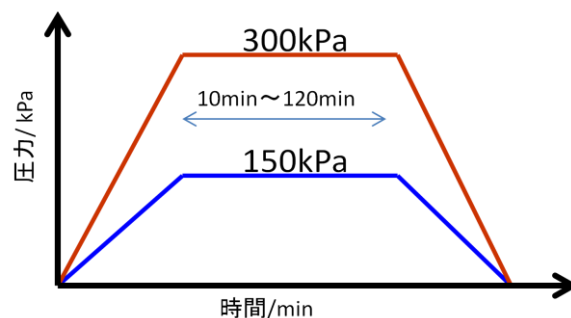


図 6 金属ブロー成形条件

図 7 に最大成形圧 150kPa、300kPa、保持時間 5min で試験した後、3 次元デジタイザにて形状を測定した結果を示す。最大成形ガス圧を 2 倍にすると、張出高さが約 1.5 倍 (150kPa: 約 12 mm, 300kPa: 約 17mm) を示した。また、ブロー成形では、金型と試験片との摩擦がないため、板厚が金型プレスと比べ均一に変形することが確認された。

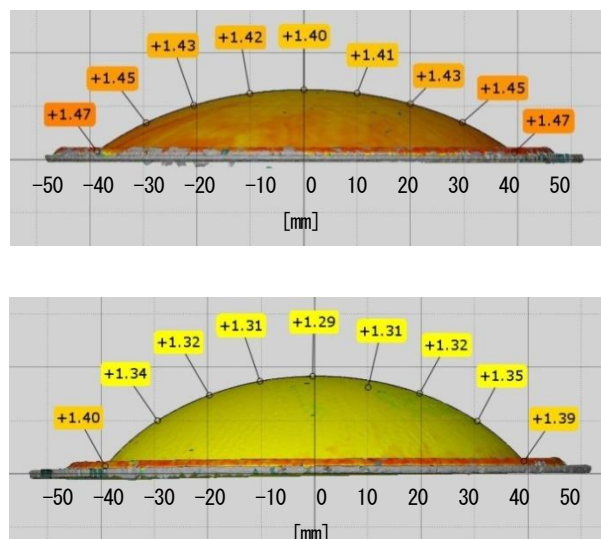


図 7 金属ブロー成形形状測定 板厚 (mm)
(上: 150kPa 下: 300kPa)

図 8 に摩擦攪拌接合した接合材試験片の金属ブロー成形後の外観写真（内側：加圧面）と形状測定結果を示す。試験条件は最大ガス圧 150kPa、成形保持

時間 5min とした。加圧面の接合部には目視できる亀裂等はなく、接合していない試験片と同様に張出成形が可能である。その張出高さは約 13mm であり、接合していない試験片と同等の張出高さを示した。

今回、接合したままの状態 で成形加工しているが、一般的に金型によるプレス加工では、凹凸のある素材をプレスすると凹凸部周辺に摩擦力、変形応力の不均一によりしわ等の発生が起きる。しかし、アルゴンガスのような気体を用いることで、凹凸部へも変形応力が均一に負荷され、しわの無い成形を可能としている。

金属ブロー成形後の接合試験片の形状を確認すると、接合部が優先的に変形していることが確認された。これは、マグネシウム合金の摩擦攪拌部の変形抵抗が母材に比べ 300℃ の温度雰囲気において低いことを示している。マグネシウム合金の摩擦攪拌接合部の特性は過去に報告^{1),2)}したように、母材より硬さが低下しており、室温での変形抵抗は母材の約 80% である。また、温間変形特性では接合部が優先的に変形することも確認されている。よって、金属ブロー成形においても同様に接合部が優先的に変形したと考えられる。

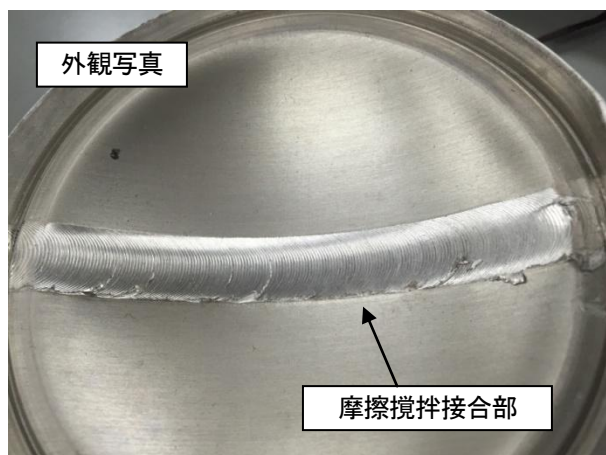


図 8 金属ブロー成形外観及び形状測定
(摩擦攪拌接合材)

図 9 に最大成形圧 300kPa、保持時間 120min で金属ブロー成形した試験した後の外観写真と 3 次元デジタル計測結果を示す。保持時間を長くすることで、割れがなく大きく張り出し、保持時間 5min と比べ 2 倍以上の張出高さ約 40 mm を実現した。張出した箇所の板厚は 0.5mm 程度で、初期板厚 1.5mm に対して約 1/3 に減少しており、変形量としては大きな塑性変形を実現している。一般的にマグネシウム合金

(AZ31F) の 300℃での伸び(単軸変形)は約 100% 程度であり、今回の変形量と比べると小さい。マグネシウム合金では比較的高速で超塑性が発現するとの報告³⁾があるが、今回の金属ブロー成形(試験温度: 300℃)では、超塑性的な変形が起きていると考えられる。その詳細については更なる検討が必要である。

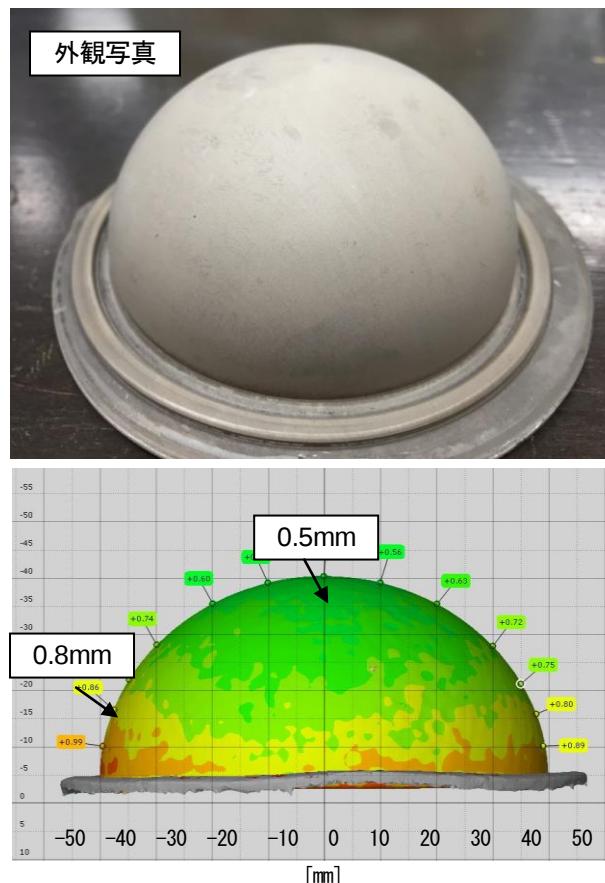


図 9 金属ブロー成形外観及び形状測定
(保持時間: 120min)

5. まとめ

- ・アルミニウム合金 (A5052H34) とマグネシウム合金 (AZ31F) とのクラッド材が作製できた。
- ・200℃で圧延することで機械的特性が良好なクラッド材が得られた。
- ・マグネシウム合金に摩擦攪拌接合を施した blanks 材を用いた金属ブロー成形では、張出高さ約 13mm を実現した。
- ・マグネシウム合金の金属ブロー成形で最大成形圧 300 kPa、保持時間 120min で張出高さ 40 mm 以上を実現した。

参考文献

- 1) 有年雅敏: 溶接学会誌 Vol. 74 (2005), 152-157
- 2) 行武栄太郎 他: 茨城県工業技術センター研究報告書 Vol. 39 (2012), 5-8
- 3) 渡辺博行, 向井敏司, 東健司: 軽金属 Vol. 51 (2001), 503-508