

摩擦圧接継手の疲労強度と摩擦肉盛による表面改質

時 末 光(機械工学科)

加 藤 数 良(機械工学科)

1. 緒 言

摩擦を利用した接合技術には古くから知られている摩擦圧接、摩擦肉盛があり、近年、新たに摩擦攪拌接合¹⁾が開発された。本研究の対象としている技術の一つである摩擦圧接は、我国に導入されて以来実用化に向け開発研究が進められているが、その特徴の一つである異種材料の接合に関する実用データは十分とは言えない。また、摩擦肉盛はその原理は古くから知られているが、実用データも少なく、研究報告²⁾もほとんどない。しかし、これらの技術はいずれも固相で行われることより、異種材料を組合せた接合において界面に生成する化合物の量が低減され、熔融溶接に比較して接合時の温度が低く熱影響も少なくなり実用上の効果も大きいと考える。また、摩擦肉盛は表面に性能の異なる異種金属を接合することより表面改質にも有効であるが、軽金属材料に適用した研究はほとんどないのが現状である。

金属材料の使用にあたり省資源、省エネルギーの観点から異種材料を組合せて使用することは有効な方法であるが、組成の異なる金属材料を組合せて用いる場合、使用環境によっては両者の電位差の違いにより接触腐食が問題とされる。しかし、この接触腐食に関する研究は非常に少ないのが現状であり、研究の多くは異種金属を機械的に接触させた場合³⁾についての検討が主体であり、溶接継手に関する研究はほとんど行われていない。特に、異種材料の接合に適するとされている摩擦圧接によった継手に関する接触腐食の問題を取り上げた例は皆無である。また、溶接継手の疲労強度に関する研究は同種材料の組合せに関しては古くから行われているが、異種材料を組合せた継手の疲労強度に関する研究はほとんど行われていない。

本研究ではこのような現状を踏まえ、異種材料、特に軽量化を目的として使用されている軽金属材料を用いた異材摩擦圧接継手の接触腐食特性を明らかにし、さらに構造物として使用する際に重要である疲労強度、特に腐食環境下にある場合の疲労強度に関する知見を得ることを目的とする。また、摩擦肉盛による表面改質を行うための基礎データを得る目的でアルミニウム合金を基材とした摩擦肉盛材の諸性質に関する検討を行った。

2. 摩擦圧接継手の疲労強度および耐食性

マグネシウム合金とステンレス鋼を組合せた異材摩擦圧接継手について、構造物として用いる場合に重要な疲労強度、および軽量化の目的で使用量の増加が見込まれるマグネシウム合金では異種金属を接触した状態で使用する場合に特に問題となる接触腐食の影響を検討するために、得られた継手の塩水中における腐食の状態について検討した。

2.1 供試材および実験方法

供試材は、市販のAZ31マグネシウム合金丸棒(φ25mm)およびSUS304ステンレス鋼丸棒(φ20mm)を使用し、AZ31マグネシウム合金丸棒は直径20mm、長さ105mm、SUS304ステンレス鋼丸棒は長さ100mmにそれぞれ機械加工し、摩擦圧接直前に接合面を脱脂洗浄した。

摩擦圧接は、数値制御全自動摩擦圧接機を使用し、予備実験により決定した表1に示す圧接条件により行った。本条件で得られた継手の引張強さは170MPa(AZ31合金母材に対する継手効率率は約62%)

表1 摩擦圧接条件

回 転 数 $N (s^{-1})$	2000
摩 擦 圧 力 $P_1 (MPa)$	20
摩 擦 時 間 $t_1 (s)$	2
ア プ セ ッ ト 圧 力 $P_2 (MPa)$	40
ア プ セ ッ ト 時 間 $t_1 (s)$	5

であった。

疲労試験は、図1に示すような接合面を平行部中央とした平滑試験片に機械加工し、小野式回転曲げ疲労試験機(容量：98Nm, 回転数：50cps)によった。また、耐食性の検討は圧接のままの試験片とばりを削除した試験片についていずれも接合面を中心として全長40mmに機械加工した試験片を用いて、塩水浸せき試験(3%食塩水)を行った

2.2 実験結果および考察

2.2.1 疲労試験

図2に小野式回転曲げ疲労試験により得られたS-N曲線を示す。図には比較のためにAZ31合金母材の試験結果も併記した。AZ31合金母材は繰返し応力が小さくなるのに伴い繰返し数 2×10^5 までは寿命は直線的に長くなり、疲労限は135MPaであった。圧接継手も母材と類似した傾向を示すが、疲労強度は母材に比較して低く、特に低繰返数領域での低下が大きかった。継手の疲労限は、AZ31合金母材の75%であったが、引張強さの低下割合に比較して疲労限の低下割合は小さかった。AZ31合金同種材摩擦圧接継手 とほぼ同等の疲労強度が得られており、異材継手であっても組合せた母材のうち強度の低い母材の同種材摩擦圧接継手と同等の疲労強度として取り扱っても問題はないと考える。また、継手の破断は接合界面近傍であり、破面の一部に接合面を含む状態であった。

2.2.2 塩水浸せき試験

図3に浸せき試験後、腐食生成物を除去した試験片の外観を示す。試験後のAZ31/SUS304継手のAZ31合金側は灰色に変色し、金属光沢が失われ全面に腐食が認められた。また、浸せき時間の経過に伴い特にAZ31合金側の接合界面近傍の腐食の進行が著しかった。このことは、継手の接合部ではAZ31合金とSUS304が直接接触していることによる接触腐食による影響と考える。この傾向は、ばりを除去した継手においても同様に認められ、圧接のままの継手に比較すると、ばりを除去した継手の腐食進行速度は大きくなる傾向にあった。

また、AZ31合金同種材継手では接合部近傍での優先的な腐食は認められず、AZ31合金母材と同様に全体的に灰色に変色し、浸せき時間が長くなるのに伴い大きな孔食が観察された。

図4に腐食減量の測定結果を示す。浸せき時間の経過によるAZ31合金同種材継手、AZ31合金母材の腐食減量の増加は非常に小さく、AZ31合金母材に比較してAZ31合金同種材継手の腐食減量は若干少な

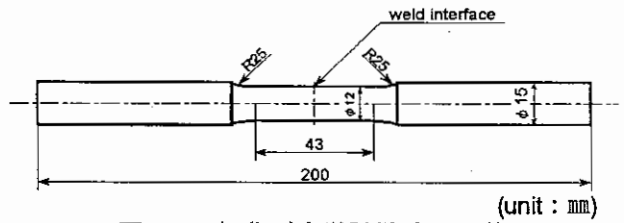


図1 回転曲げ疲労試験片の形状

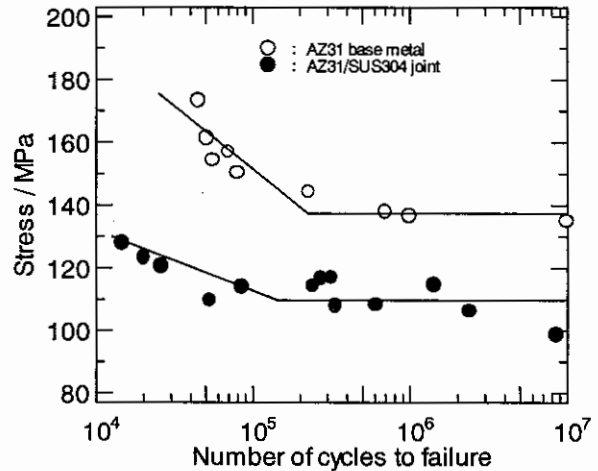
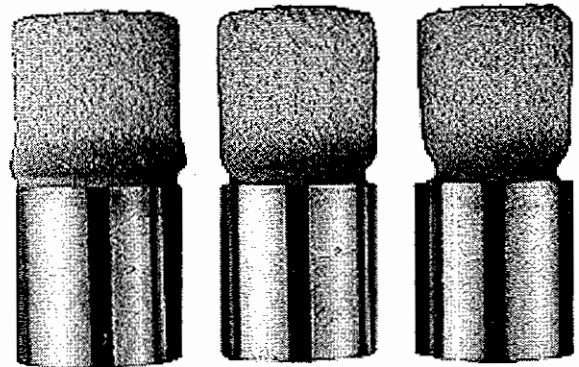
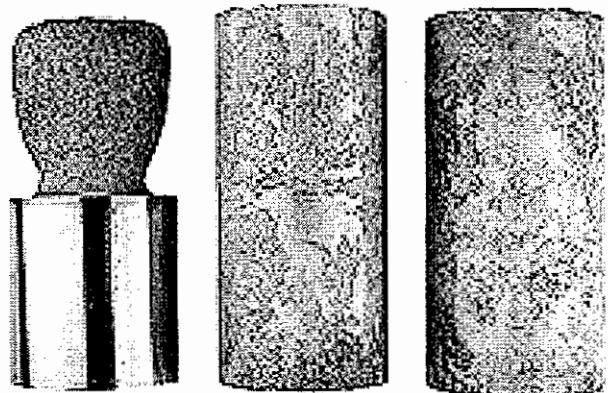


図2 AZ31/SUS304継手のS-N曲線



24時間後 48時間後 72時間後
(a) ばりつき試験片の浸せき時間による変化



異材継手 AZ31同種材継手 AZ31母材
(b) 浸せき時間72時間後のばり無し試験片

図3 塩水浸漬試験後の試験片外観

かった。AZ31/SUS304継手は浸せき時間が長くなるのに伴い腐食減量は増加する傾向が顕著に認められ、継手の腐食減量はAZ31合金同種材継手の腐食減量に比較して著しく大きい。このことより、AZ31/SUS304継手の腐食減量のほとんどが接合界面でのSUS304との接触による接触腐食によるものであると考える。また、AZ31/SUS304継手では、ばりを除去した試験片の腐食減量が圧接のままの継手に比較して大きくなる傾向が認められた。このことは、ばり部は相手材のSUS304とは直接的に接触していないために接触腐食の影響が少なかったものとする。このことから、接触腐食の影響を小さくするためには、ばりは除去しないで用いることが好ましいと考える。

図5に腐食速度を求めた結果を示す。腐食速度は、AZ31/SUS304継手、AZ31合金同種材継手、AZ31合金母材ともにほぼ一定値を示した。このことは、マグネシウム合金が腐食の過程で生じる腐食生成物が不動態を形成しないためであり、マグネシウム合金の腐食生成物のほとんどがコロイド状の水酸化マグネシウムであり、水酸化マグネシウムは凝固によって粉末状となり、試験片から離れて沈殿し、常に新しい面を露出するためと考える。

2.3 まとめ

AZ31/SUS304摩擦圧接継手の疲労強度はAZ31同種材摩擦圧接継手と同等の疲労強度が得られることが明らかになった。しかし、耐食性に関する検討結果より、同種材摩擦圧接継手に比較して耐食性が著しく劣化することが明らかになったが、今後の課題として腐食した状態の継手の疲労強度、腐食環境下における疲労強度について検討が必要であると考える。

3. 摩擦肉盛法による表面改質技術の開発

摩擦肉盛法を表面改質の適用するための基礎的な研究として、基材と肉盛材を同一の材種とし、肉盛条件と肉盛層の諸性質との関係を主として検討した。

3.1 供試材および実験方法

供試材は、肉盛材として市販の5052アルミニウム合金丸棒(直径20mm)を長さ100mmに機械加工して用いた。基材には5052アルミニウム合金板(板厚5mm)を幅50mm、長さ150mmに機械加工したものを使用した。

肉盛には、数値制御全自動摩擦圧接機を使用し、表2に示す肉盛条件でヒーティング工程を長さ制御とし、ワーク同士が接触後、肉盛材が30mm短くなるまでテーブルを移動させて行った。得られた試料の外観観察、組織観察、硬さ試験および肉盛過程の温度測定を行った。

3.2 実験結果および考察

図6に肉盛層の外観を示す。肉盛層の表面には肉盛材の回転による円弧状の模様が観察された。この円弧状の模様は主軸回転数の増加に伴い微細となり、肉盛層の幅が狭くなる傾向が認められた。また、主軸回

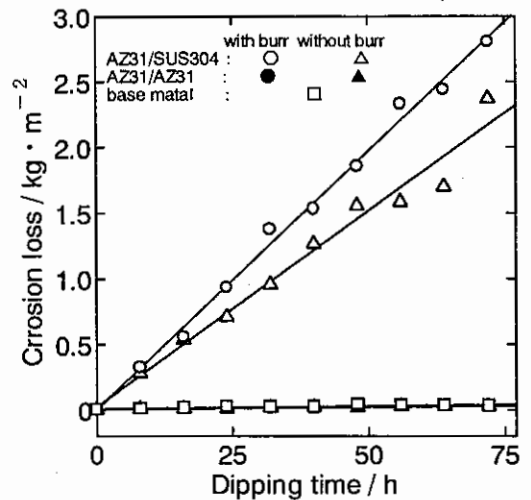


図4 浸せき時間と腐食減量の関係

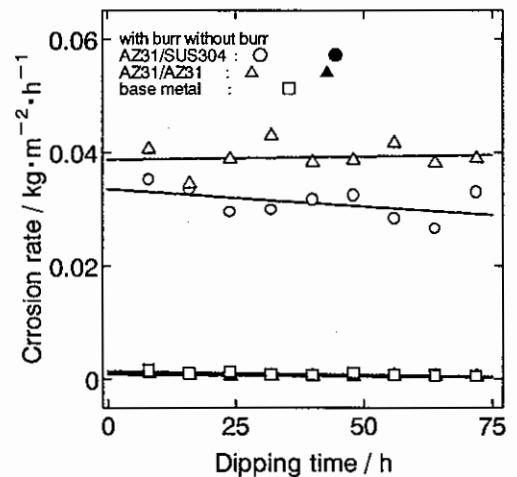


図5 浸せき時間と腐食速度の関係

表2 摩擦肉盛条件

回転数 N (s ⁻¹)	25.0 ~ 58.3
摩擦圧力 P (MPa)	20 ~ 40
肉盛速度 f (mm/s)	0.2 ~ 0.9

転数が小さい条件では送り方向に対して右側(写真上部)へ肉盛層の片寄りが大きくなった。

図7に肉盛層横断面の巨視的および微視的組織を示す。肉盛層と母材との境界は明瞭に観察され、肉盛層の両端では未接合部が認められた。しかし、摩擦圧力を40MPaと大きくすることによりこの未接合部は消滅し、接合状態が良好となるために、肉盛層と母材の界面は識別が困難な状態となった。微視的組織は、摩擦圧力20MPaの試験片には接合界面に黒色の欠陥が観察されたが、摩擦圧力30MPa以上の条件では接合界面に欠陥は全く認められず、肉盛材の内部は接合面に平行で層状の微細な組織を示した。

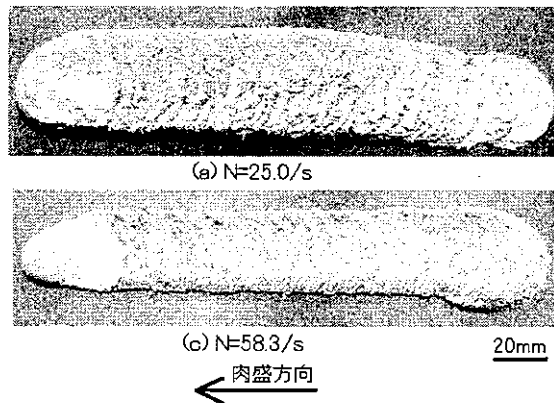


図6 肉盛材の外観
($P_f=25\text{MPa}$, $f=9\text{mm/s}$)

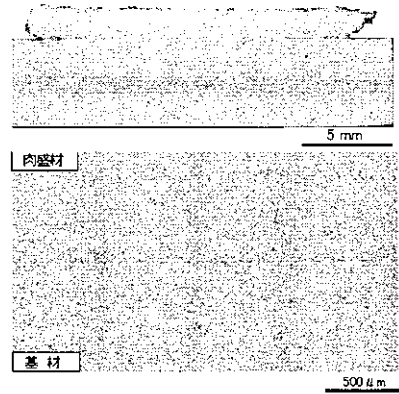


図7 肉盛材の巨視的および微視的組織
($P=30\text{MPa}$, $N=41.7/\text{s}$, $f=9\text{mm/s}$)

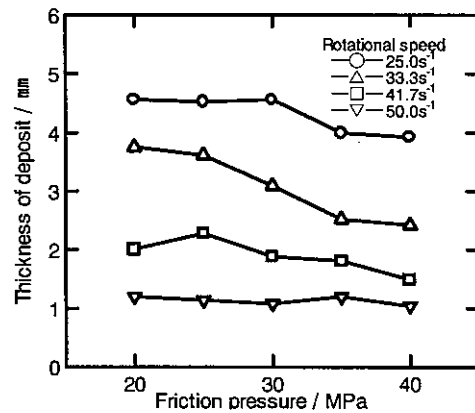


図8 肉盛層厚さの測定結果
($f=9\text{mm/s}$)

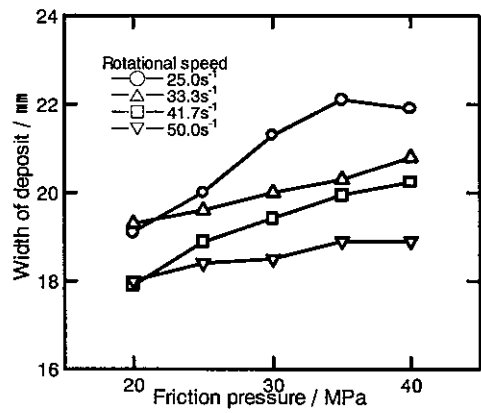


図9 肉盛層幅の測定結果
($f=9\text{mm/s}$)

図8に肉盛層幅の測定結果を示す。肉盛層の幅は摩擦圧力の増加に伴い広くなり、主軸回転数の増加によりその幅は狭くなる傾向が認められた。肉盛層幅に及ぼす摩擦圧力の影響は主軸回転数の増加に伴い大きくなった。

図9に肉盛層厚さの測定結果を示す。肉盛層の厚さは、摩擦圧力および主軸回転数の増加に伴い薄くなる傾向を示したが、摩擦圧力の影響は主軸回転数の増加により小さくなった。

図10に肉盛部の硬さ分布の測定結果を示す。肉盛層直下に肉盛層の幅に対応した軟化域が認められ、軟化割合は測定位置が接合界面から離れるのに伴い減少し、接合界面より3mmの位置ではほとんど軟化は認められなかった。接合界面より1mm離れた位置の軟化域の幅は肉盛層の幅とほぼ一致した。

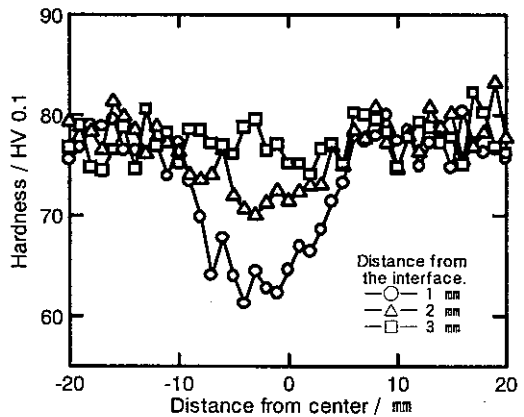


図10 肉盛材の硬さ分布
($P=30\text{MPa}$, $N=41.7/\text{s}$, $f=9\text{mm/s}$)

3.3 まとめ

同種材の摩擦肉盛の結果より、肉盛条件を選択することにより、肉盛層の厚さ、幅を制御することが可能なことが明らかとなり、今後異種材料を摩擦肉盛した場合についての検討が必要と考える。

参考文献

- 1) 例えば、時末 光, 篠田 剛: 軽金属, 49(1999), 258.
- 2) 篠田 剛, 李 錦旗: 軽金属, 49(1999), 499.
- 3) 例えば、梅原博行, 高谷松文, 伊藤哲司: 軽金属, 49(1999), 172.
- 4) 朝比奈敏勝, 加藤数良, 時末 光: 軽金属, 44(1994), 147.