

## AZ31マグネシウム合金／工業用純アルミニウム摩擦圧接継手の 塩水浸せき試験における腐食挙動

加藤 数良(機械工学科)

### 1. 緒言

軽量化の目的で用途の拡大が期待されるマグネシウム合金は、比強度が高く振動吸収性などに優れるとして多方面で用いられるようになった。しかし、構造物などに用いる場合は耐腐食性や耐摩耗性の点から他の金属と組合せて用いる必要がある。このため、接合に関する検討が重要である。固相接合の一つである摩擦圧接は熔融溶接では不可能とされている異種材料を組合せた接合に適しているとされている。

摩擦圧接による異種材料の接合に関する報告<sup>1)</sup>はいくつかあるが、マグネシウム合金を用いた検討は少ないのが現状である。また、マグネシウム合金は異種材料と組合せて使用する場合は接触腐食についての対策が必要であることはよく知られている。著者らも、マグネシウム合金と他の金属を組合せた摩擦圧接に関する検討を行い、摩擦圧接がマグネシウム合金を用いた異種材料の接合に有効な手段であることを示した<sup>2), 3)</sup>。また、マグネシウム合金とステンレス鋼との組合せでは、塩水中の腐食は著しく、何らかの対策が必要であることを報告した<sup>4), 5)</sup>。さらに、工業用純アルミニウムとマグネシウム合金の組合せにおいても塩水中では腐食の進行が著しいこと明らかにした<sup>6)</sup>。

本研究では、前報と同様にマグネシウム合金と工業用純アルミニウムを組合せた摩擦圧接継手の塩水中での腐食挙動について検討した。

### 2. 供試材および実験方法

供試材は、AZ31マグネシウム合金丸棒(直径20mm)と工業用純アルミニウム(直径20mm)をいずれも機械加工により長さ80mmとしたものを組合せて用いた。供試材の化学組成および機械的性質をTable 1およびTable 2に示す。

摩擦圧接は、前報<sup>4)~6)</sup>までと同様に全自動摩擦圧接機を使用し、摩擦圧接条件はTable 3に

Table 1 Chemical compositions of base metals. (mass%)  
(a) AZ31 alloy

Al	Zn	Mn	Fe	Ni	Cu	Si	Mg
3.00	0.90	0.31	0.003	0.002	0.002	0.02	bal.

(b) 1050 alloy

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Al
0.10	0.29	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	bal.

Table 2 Mechanical properties of base metals.

Materials	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HV0.1)
AZ31	288	14.0	57
1050	85	46.0	30

Table 3 Friction welding conditions

Rotational speed	$N(s^{-1})$	41.7
Friction pressure	$P_1(MPa)$	60
Friction time	$t_1(s)$	2
Upset pressure	$P_2(MPa)$	80
Upset time	$t_2(s)$	5

示す条件とした。

得られた継手は、接合面を中央として全長を40mmとなるように機械加工し、圧接のままのものとばりを除去したものをを用いて3%塩水中への浸せき試験を行った。浸せき時間は8時間間隔で72時間まで行った。また、浸せき中は試験片に腐食生成物が付着した状態となった場合に塩水を攪拌した。攪拌時には腐食生成物を故意に分離しないように注意した。接合面をゲージ部中央としたJIS4号引張試験片に加工後、所定の時間塩水中に浸せき後の試験片について引張試験を行った。

### 3. 実験結果および考察

Fig.1に3%塩水中に所定の時間浸せきした試

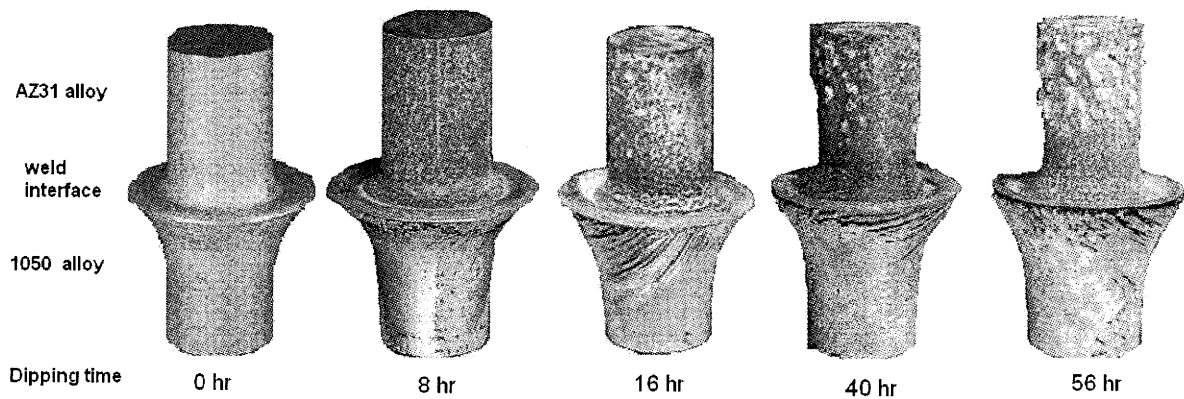


Fig.1 Appearances of corrosion tested friction welded joint with burr.

験片の外観を示す。前報<sup>9)</sup>の静止塩水中に浸せきした試験片では、試験片の腐食はAZ31合金側、1050合金側ともに腐食が認められ試験表面は両側ともに金属光沢はなく、凹凸の激しい状態であったが、本研究では浸せき中に攪拌を付与したために1050合金の腐食の進行が抑制される傾向にあった。1050合金側は圧接のままの状態ではばりの排出に伴う変形以外の特徴は外観観察からは確認できなかった。しかし、塩水中での腐食が進行することによりばり部近傍にねじれ模様が明瞭に観察されるようになった。このねじれは、摩擦圧接時において摩擦過程からアプセット過程へ移行する際の制動時素材がねじり加工を受けるためであると考えられ、より多くの塑性変形を受けた部分の結晶粒界が優先的に腐食するためであると推定する。

接合界面近傍の腐食進行状況は、接合界面のAZ31合金側の腐食が最も大きく、次いで1050合金側のばり部、AZ31合金側の接合界面より僅かに離れた部分の順であった。腐食生成物は浸せき後16時間経過後から徐々にAZ31合金側の接合界面より離れた部分に付着し始め、16時

間経過後には1050合金側にも白色の付着が観察されるようになった。

Fig.2に浸せき試験後の試験片断面巨視的組織を示す。前述したように、浸せき時間の増加に伴い接合界面およびその近傍の直径が減少する状態が明瞭に確認でき、外周部に微細な凹凸が認められる。この凹凸が連続することによりマトリクスが脱落し、直径の減少に至るものと考えられる。

Fig.3に継手外周部接合界面近傍の微視的組織を示す。圧接のままの試験片で明らかのように、接合界面外周部ではAZ31合金にも変形が認められ、ばりの排出により僅かではあるが両者に完全接合していない部分が認められた。塩水中ではこの部分に塩水が侵入し、塩水による腐食に加えて接触腐食の影響が大きく関与し、浸せき時間8時間では、すでにこの部分は腐食脱落している。また、AZ31合金側および1050合金側ともに表面層に腐食による影響と考えられる組織変化が認められ、腐食は結晶粒界を進展するものと考えられる。浸せき時間の経過に伴い腐食、脱落が繰り返され、断面積の減少が進

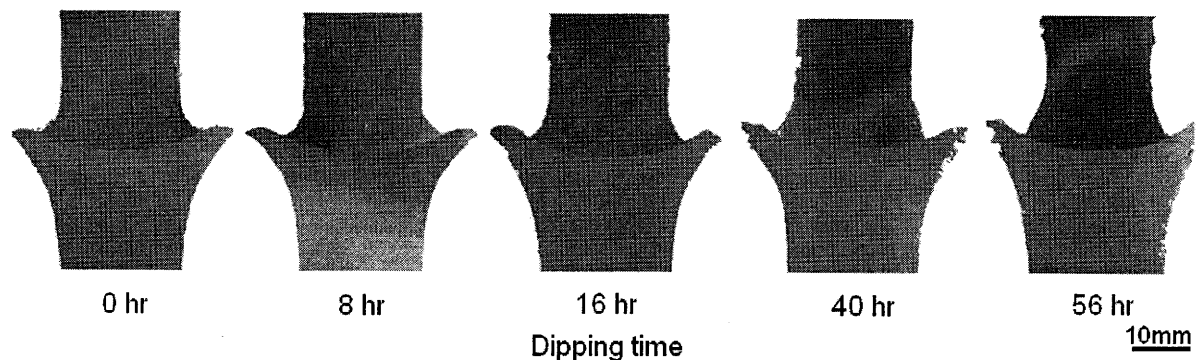


Fig.2 Macrostructures of corrosion tested friction welded joint. (up side : AZ31 alloy)

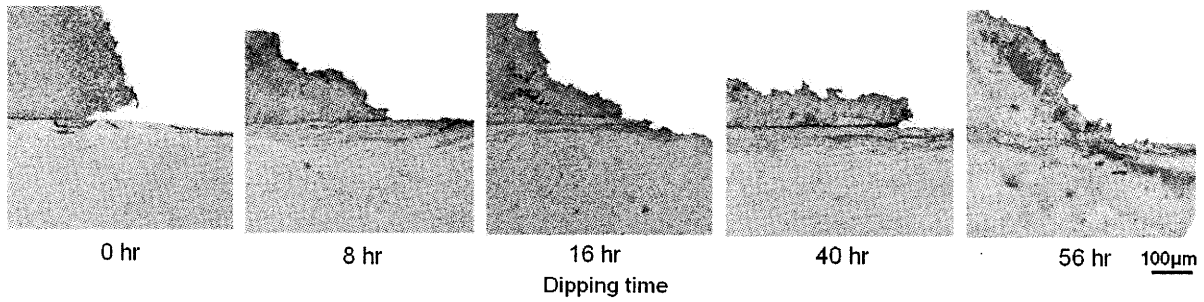


Fig.3 Microstructures of corrosion tested friction welded joint. (up side : AZ31 alloy)

行する。腐食の進行は接合界面のみならず、接合界面より僅かに離れた部分にも認められた。このことは1050合金より張り出したばりの影響が大きいと考えられるが、ばりを削除した試験片においても類似の傾向が認められることより、接触による電池効果によるものと推定する。

浸せきで使用した塩水は試験前は中性であるが、試験片を浸せきすることにより、腐食生成物により溶液のpH値が変化することが考えられる。そこで溶液のpH値を測定した結果をFig.4に示す。pH値は試験片を浸せき直後より急速にアルカリ性へ移行し、時間の経過に伴い増加する傾向を示した。このpH値の増加により強アルカリに対して耐腐食性の小さい1050合金側にも腐食の進行が認められたものとする。

Fig.5に浸せき試験後の継手についてAZ31合金側各部の直径を測定した結果を示す。全ての場所において、浸せき時間の経過に伴い直径は減少する傾向が認められた。また、接合界面に比較して、接合界面より離れた部分の直径の減少割合が大きく、接合面より5mmまでは接合界面より離れるのにしたがって直径の減少が明瞭に観察された。

腐食の進行状況を示す腐食減量の測定結果をFig.6に示す。図には比較のために引張試験片に加工後浸せき試験を行った結果も併記した。腐食減量はいずれの試験片も浸せき時間の経過に伴い増大する傾向が認められ、特に引張試験片に加工した試験片の増加割合が顕著であった。このことは、引張試験片については浸せき部の形状はばりなし試験片と同様であるが、ばりなし試験片の直径が19mmに対して引張試験片の直径は14mmと小さい、すなわち塩水中に浸せきされた部分の表面積が小さくなるためであると考えられる。また、ばりの有無による腐食減量の

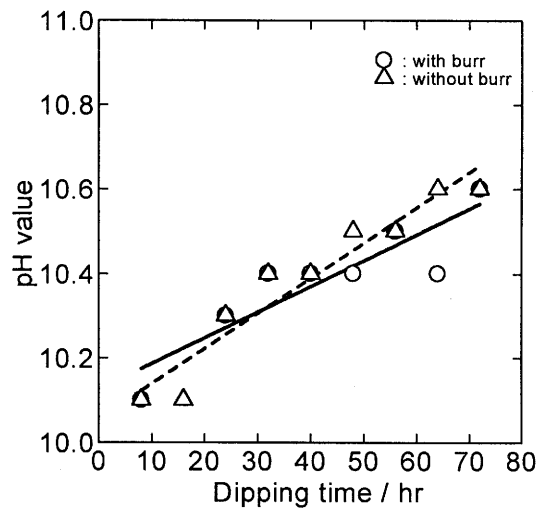


Fig.4 Relation between dipping time and pH value.

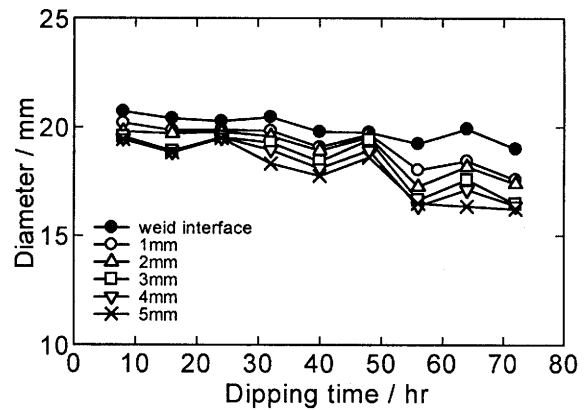


Fig.5 Relation between dipping time and diameter of welded joint with burr..

増加割合に明瞭な差異は認められなかったが、ばりを削除した試験片が若干腐食減量は小さくなる傾向にあった。

Fig.7に腐食速度の測定結果を示す。図には引張試験片に加工後の浸せき結果も併記した。腐食速度は、静止塩水中では腐食速度は減少するがその差は小さかった。本研究においても全試験片ともに浸せき時間の増加に伴い腐食

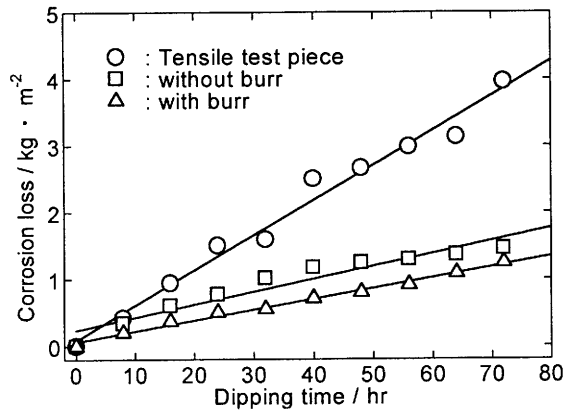


Fig. 6 Relation between dipping time and corrosion loss.

速度は減少する傾向を示した。浸せき時間が長くなるのに伴い腐食速度が小さくなる。このことは、前述した塩水溶液のpH値の増加によるものであり、耐アルカリ性のあるマグネシウム合金では塩水がアルカリ性なることにより接触腐食の影響が緩和されるためと推定する。

塩水浸漬試験後の引張試験片の外観をFig.8に示す。前述したように、引張試験片のAZ31合金側の接合界面近傍は腐食の進行が著しく、浸せき時間48時間を超えると試験片の形状を留めないような状態であった。

Fig.9に塩水中に所定の時間浸せき後の試験片による引張試験結果を示す。図は、試験片が腐食した状態であるために引張荷重で示した。引張試験片は外観から明らかなように浸せき時間の増加に伴い直径が急激に小さくなり、これに伴い引張荷重も急激な低下を示した。破断は最小断面を示す位置が接合界面より僅かに離れた位置であるにもかかわらず全ての試験片が接合界面であり、組織観察で示したように、接合界面では内部にまで腐食の影響が及ぶためと考える。

#### 参考文献

- 1) 例えば、富士，粉川，金：溶接学会論文集,18(2000),617.
- 2) 加藤，朝比奈，時末：軽金属, 45(1995),255.
- 3) K.KATOH and H.TOKISUE: 2nd Pacific-Asia Conference on Mechanical Engineering (PACME)(in Philippines) (1998),549.
- 4) 時末，加藤：日本大学生産工学部ハイテク・リサーチ・センター平成12年度研究報告書，(2001)，1-39.
- 5) 加藤：日本大学生産工学部ハイテク・リサーチ・センター平成13年度研究報告書，(2002)，1-43.

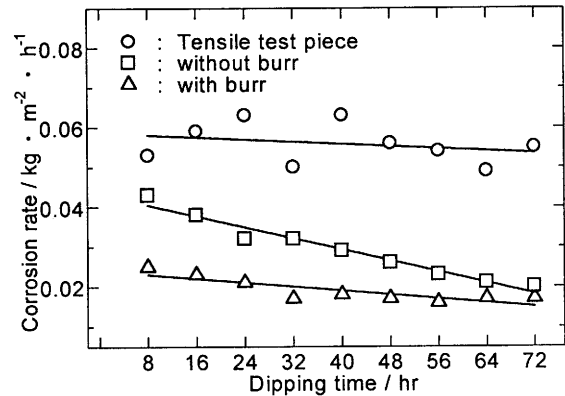


Fig.7 Relation between dipping time and corrosion rate.

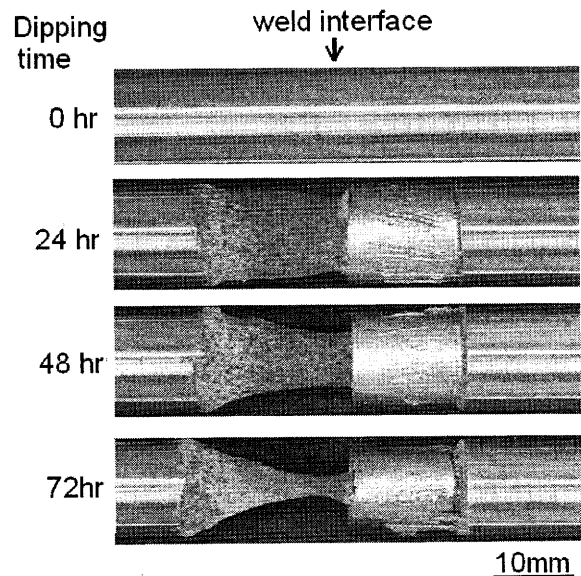


Fig.8 Appearances of tensile test specimens.

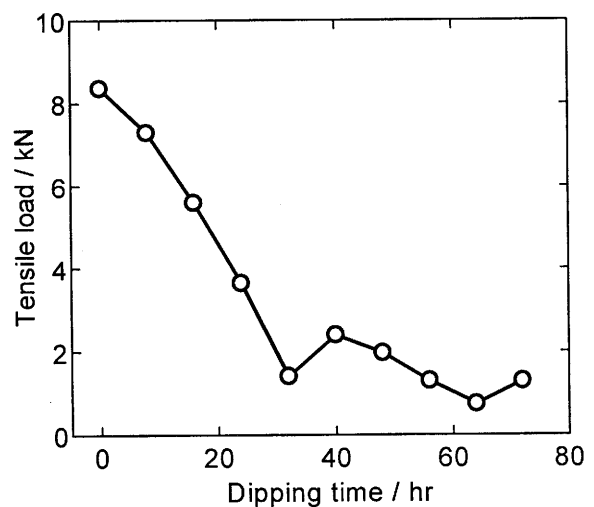


Fig.9 Relation between dipping time and tensile load.

- 6) 加藤：日本大学生産工学部ハイテク・リサーチ・センター平成14年度研究報告書，(2003)，1-43.