

マグネシウム合金とステンレス鋼摩擦圧接継手の腐食と疲労強度

加藤 数 良(機械工学科)

1. 緒 言

軽量化を目的としたマグネシウム合金の使用量は増加しているが、構造物に用いる場合には部分的に高強度を求められることが多く、異種材料を組合せて用いる必要が高まりつつある。著者らは先に、マグネシウム合金と他の金属を組合せた継手の作製に摩擦圧接を適用し、適切な圧接条件を選定することにより引張試験においては実用上十分な強度を有する継手が得られることを報告した^{1), 2)}。また、マグネシウム合金を用いた異材継手を実用的に使用するためには疲れ強さに関する検討や、腐食、特に接触腐食についての検討が必要であると考え、AZ31マグネシウム合金とSUS304ステンレス鋼を組合せた継手の疲れ強さおよび塩水中の腐食状態について検討し、接触腐食の影響が大きいことを示した³⁾。

本研究では、AZ31マグネシウム合金とSUS304ステンレス鋼を組合せた継手について塩水中で腐食した状態の試験片による疲労強度および塩水中での疲労強度について検討した。

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25mm)、およびSUS304ステンレス鋼丸棒(直径20mm)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て用いた。供試材の化学組成および機械的性質をTable 1, Table 2に示す。供試材は、摩擦圧接直前に接合面を脱脂洗浄して用いた。

摩擦圧接は、NC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Table 3に示す圧接条件により行った。

得られた継手は、接合面をゲージ部中央としたJIS 4号試験片、およびFig.1に示す形状の疲労試

Table 1 Chemical compositions of base metals.(mass%)
(a) AZ31 magnesium 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) SUS304 stainless steel

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0.05	0.25	1.12	0.037	0.024	10.05	18.04

Table 2 Mechanical properties of base metals.

Materials	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness HV0.1
AZ31	275	14	60
SUS304	605	59	207

Table 3 Friction welding conditions.

Rotational speed (s ⁻¹)	33.3
Friction pressure (MPa)	20
Friction time (s)	3
Upset pressure (MPa)	40
Upset time (s)	5

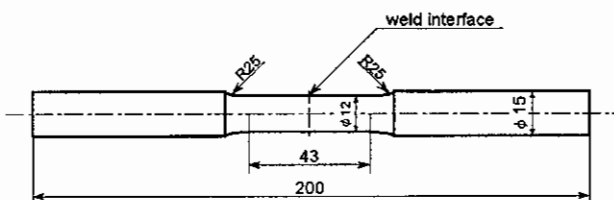


Fig.1 Shape and dimensions of fatigue test specimen.

試験片に加工後塩水中で疲労試験を行った。また、比較のために、3%塩水中に8時間浸漬し、腐食生成物を除去した試験による大気中での疲労試験も合わせて行った。浸漬後の試験片は、その外観をFig.2に示すように、試験片平行部のAZ31合金側は腐食により、特に接合界面近傍の断面積が減少している。よって応力の計算には最小直径を用いた。

3. 実験結果および考察

Fig.3に3%塩水浸漬試験後の腐食減量の測定結果³⁾、および浸漬試験中での継手(直径20mm)の直径の減少割合を測定した結果を示す。腐食減量は浸漬時間が長くなるのに伴い直線的に増加する。これに伴い継手の直径も浸漬時間が長くなるのに伴い直線的に減少し、74時間後には試験片の直径は約50%の減少を示した。Fig.2に示した浸漬試験後の疲労試験片に認められるように、接合界面より僅かに離れた部分の直径が他の部分に比較して最も減少した。

引張試験結果をFig.4に示す。浸漬試験後の継手の引張強さは約174MPaであり、圧接のままの継手の引張強さ170MPaと同等の値が得られ塩水中に浸漬した影響は認められなかった。試験片は、Fig.2に示したように接合界面よりわずかに離れた部分が最も細くなったが、破断した試験片の外観をFig.5に示すように、破断はいずれも接合界面であった。このことは、外観的には明瞭に観察されなかったが、接合界面においても、界面より僅かに離れた部分と同様に、接触腐食の影響により腐食が進行していたものと考えられる。

Fig.6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、比較のために大気中で試験したAZ31合金母材および圧接継手の試験結果も併記した。圧接のままの継手は、AZ31合金母材と同様に繰返し数 1×10^5 までは繰返し応力の減少に伴い繰返し数は増加するが、以後繰返し数 1×10^7 までは繰返し応力は一定値を示した。浸漬試験後の継手は繰返し数が 7×10^5 近傍まで繰返し応力の減少に伴い繰返し数は増加した。

継手の疲労限は、圧接のままの継手はAZ31合金母材の75%であり、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いが、浸漬試験後の継手の疲労限はAZ31合金母材の36%と著しく低下した。このことはFig.2に示したように浸漬試験後の継手は接合面よりわずかに離れた位置に最小径を示す部分が存在すること、および前述したように接合界面も塩水中では接触腐食の影響を受けていることにより、この部分が切欠きを付したと同様の効果をもたらしたために疲労限が低下したものと考えられる。平滑試験片に比較して切欠試験片による疲労限の低下はAZ31合金母材では約62%、AZ31合金同種材摩擦圧接継手は約70%であり⁴⁾、これに比較して浸漬試験後の継手の低下割合は著しく大きくなった。



Fig.2 Appearance of fatigue test specimen.

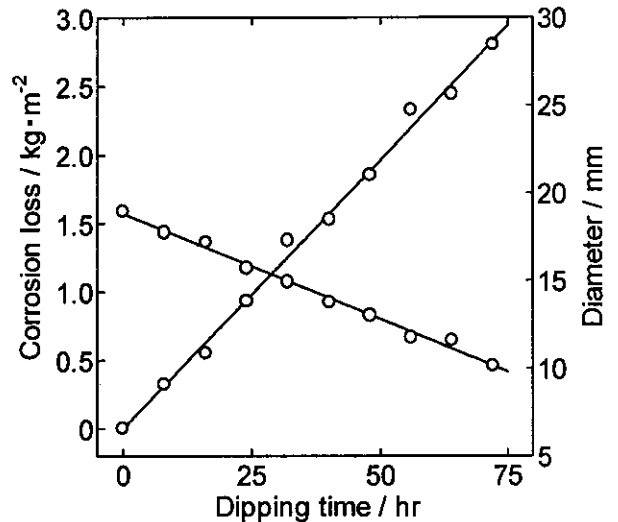


Fig.3 Relation between dipping time and corrosion loss and diameter of joint.

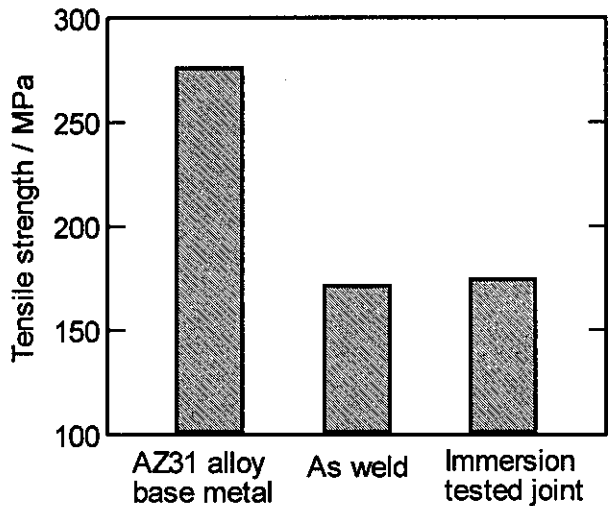


Fig.4 Results of tensile test.



Fig.5 Appearance of tensile fractured specimen..

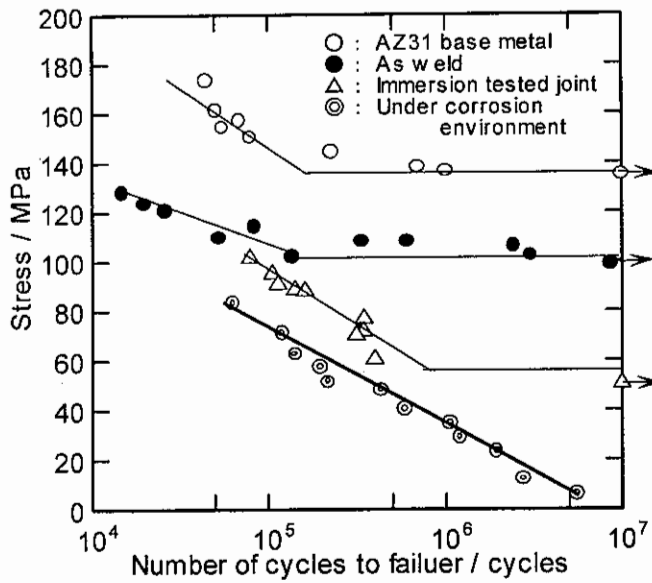


Fig.6 Results of Ono's rotary bending fatigue test.

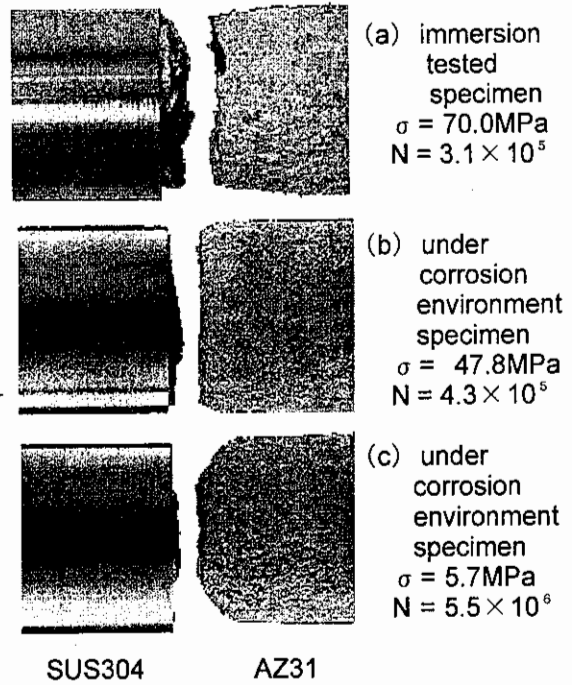


Fig.7 Appearances of fatigue fractured specimens.

Fig.7に疲労試験後の試験片外観を示す。塩水浸漬試験後大気中で疲労試験を行った継手の破断は塩水浸漬試験により最も直径が小さくなった場所と同一の個所から亀裂が進展し、破断した。しかし、塩水中で疲労試験を行った試験片は試験中は常に塩水にさらされていることから、塩水浸漬試験を行ったと同様に試験片表面は、腐食により凹凸が認められ、金属光沢は全くなかった。また、破断は塩水浸漬試験において腐食の進行が最も大きかった部分、すなわち、接合面より僅かに離れた部分から亀裂が発生し、破断した。このことは、塩水浸漬後大気中で試験した試験片と同様であるが、破面形成後も完全に破断に至るまでの間塩水にさらされているために、AZ31側の破面外周部およびSUS304側に残存したAZ31は腐食により消滅した状態となった。この傾向は破断までの繰返し数が長くなるのに伴い顕著に認められた。

疲労試験後のSUS304側破断面の巨視的観察結果をFig.8示す。圧接のままの継手は、破断が一部に接合面を含む状態であった。また、浸漬試験後の継手の破断は接合面よりわずかにAZ31合金側にずれた最小径を示した部分より生じた。塩水中で試験した試験片の破断面は繰返し数が少ない場合、すなわち、潜水中に浸漬されている時間が短い時は、SUS304側破面上に残存したAZ31の表面が腐食により平坦となるが、繰返し数が長くなると破面の凹凸は大きくなり粗い破面となり、最終破断部のみが明瞭に認められる状態となった。

Fig.9に疲労試験後の破断面の走査型電子顕微鏡による微視的観察結果を示す。写真は、いずれもAZ31合金側の破面を観察したものである。圧接のままの試験片はAZ31同種材摩擦圧接継手⁴⁾の破面に観察されると類似した破面を呈し、いずれの部分も比較的平坦な破面であった。浸漬試験後の継手の破面は全体に圧接

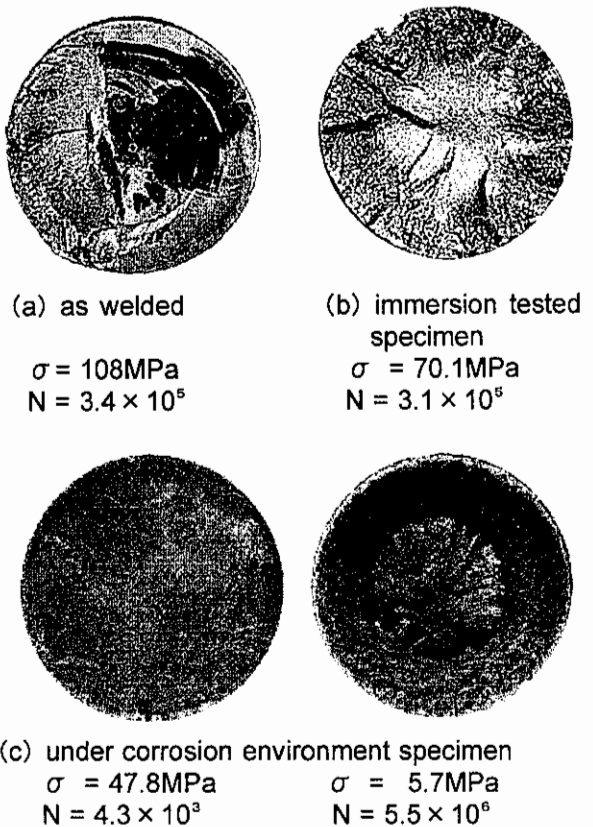


Fig.8 Macrofractographs of fatigue fractured specimens.

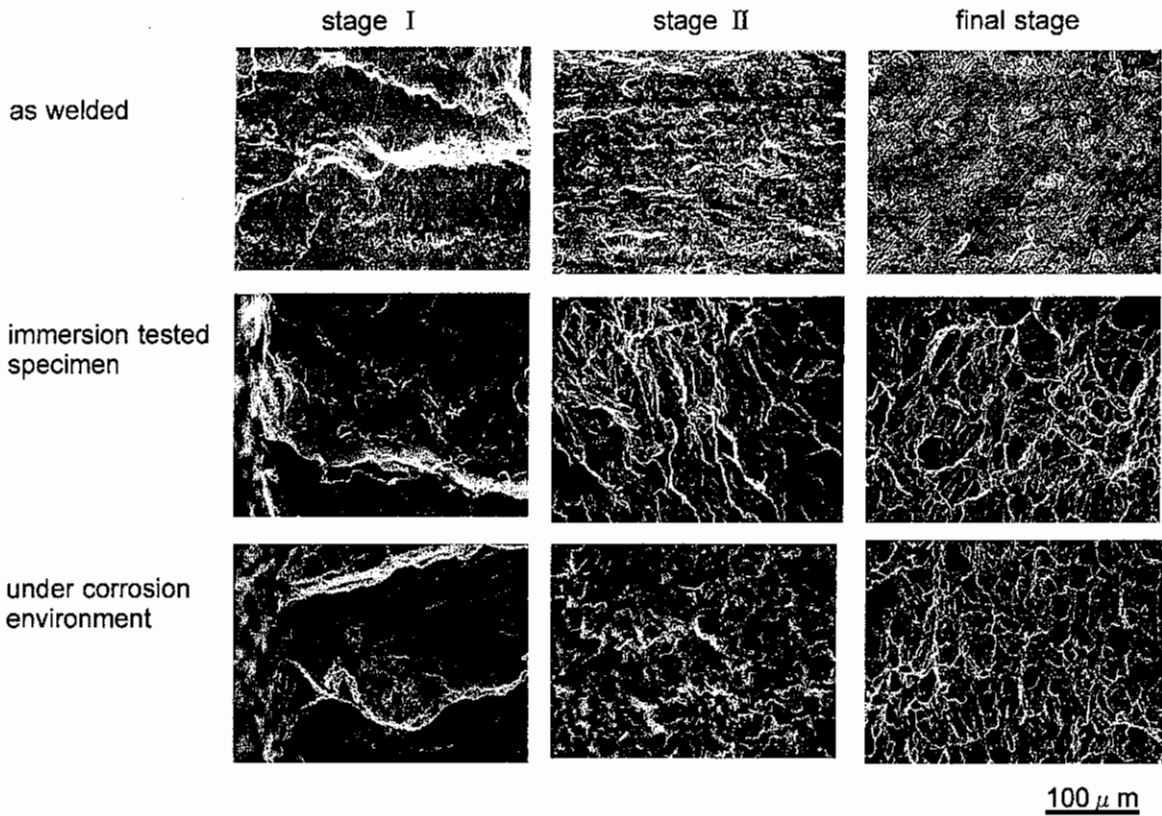


Fig.9 Microfractographs of fatigue fractured specimens.

のままの継手に比較して凹凸も大きかったが、疲労破面上に特徴的に観察されるストライエーションほとんど観察されなかった。最終破断部は、圧接のままの継手は平坦で特徴のない破面であったが、浸漬試験後の継手には、ディンプルが明瞭に観察された。このことは、圧接のままの試験片は破断が接合界面であったが、浸漬試験後の継手は接合面より僅かに離れた部分に認められた最小径を示す位置で破断したためだと考える。塩水中で試験した継手は亀裂が発生し、進展すると、開口した部分は塩水による腐食が進行し、一部の破面が消滅した様相であり、亀裂進展部においても腐食によるものと考えられる痕跡が認められた。また、最終破断部は、浸漬試験後の試験片と同様に微細なディンプルが観察される延性破面であった。

4. 結 言

AZ31マグネシウム合金とSUS304ステンレス鋼を組合せた摩擦圧接継手について塩水中で腐食した状態の試験片による疲労強度および塩水中での疲労強度について検討した結果次の結論を得た。

- 1) AZ31マグネシウム合金/SUS304ステンレス鋼摩擦圧接継手は、塩水中ではAZ31マグネシウム合金の腐食進行速度は著しく大きくなる。
- 2) 8時間の塩水浸漬後の継手引張強さは圧接のままの継手と同等の引張強さを示した。
- 3) 8時間の塩水浸漬後の継手疲労強度は圧接のままの継手に比較して低下し、塩水中における疲労試験では疲労強度の低下はさらに大きくなった。

これらのことより、本継手を使用する際には、マグネシウム合金側に対して接触腐食を回避するような表面処理などの対策が必要であり、今後の課題である。

参考文献

- 1) K.KATOH and H.TOKISUE : Proceedings of 2nd Pacific-Asia Conference on Mechanical Engineering, (1998), 549.
- 2) 加藤数良, 朝比奈敏勝, 時末 光 : 軽金属, 45(1995), 255.
- 3) 時末 光, 加藤数良 : 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.
- 4) 朝比奈敏勝, 加藤数良, 時末 光 : 軽金属, 44(1994), 147.