

P20 純水中における展伸マグネシウム合金 AZ80, AZ61 および AM60 の腐食疲労挙動

Corrosion Fatigue Behaviour of Extruded AZ80, AZ61 and AM60 Magnesium Alloys in Distilled Water

○大橋 隆司 (岐阜大院) 正 植松 美彦 (岐阜大工) 正 戸梶 恵郎 (岐阜大工)

Takashi OHASHI, Graduate Student, Gifu University, Yanagido, Gifu 501-1193
Yoshihiko UEMATSU, Gifu University
Keiro TOKAJI, Gifu University

Key Words: Extruded magnesium alloy, Corrosion fatigue, Distilled water, Crack initiation, Crack growth

1. 結 言

機械構造物の省エネルギー化や環境調和などの要求に応える次世代の軽量構造材料として、近年マグネシウム (Mg) 合金が注目されている。しかし、現在のところ携帯用電子機器の筐体などへの利用が主流であり、強度部材への利用は進んでいない。そのひとつの理由として、Mg 合金は水あるいは塩水のような腐食環境中ではもとより、大気中の湿度によっても腐食するという耐食性の低さが挙げられる。しかし、強度部材としての用途を考慮すると、Mg 合金の腐食環境中における基本的な疲労特性を把握する必要がある。

そこで本研究では、Al 添加量の異なる AZ 系合金 AZ80, AZ61 押出材、および AZ 系合金よりも延性があるとされ、Zn 添加量が少ない AM 系合金 AM60 押出材を用いて、大気中および純水中で回転曲げ疲労試験を行い、それらの疲労挙動について検討した。

2. 供試材および試験方法

供試材は、AZ 系合金 AZ61A, AZ80A 押出材および AM 系合金 AM60 押出材 (直径 20.4mm, 押出比 19.5) である。平均結晶粒径はそれぞれ 12 μ m, 17.9 μ m, 8.7 μ m である。各材の化学組成を表 1 に、機械的性質を表 2 に示す。表 2 から明らかなように、引張強さ σ_B は Al 含有量の増加に伴って上昇する。

機械加工によって、供試材から試験片軸が押出方向と一致するように、平行部直径 8mm, 平行部長さ 10mm の平滑回転曲げ疲労試験片を採取した。平行部をエメリー紙で順次研磨した後、バフ研磨により鏡面に仕上げ試験に供した。

試験には小野式回転曲げ疲労試験機を用いた。繰返し速度は約 20Hz である。腐食疲労試験は、流量 140ml/min の定量ポンプを用いて、純水を試験片平行部に滴下して行った。微小き裂の観察にはレプリカ法を用いた。また、電気化学的な面から耐食性について検討するため、アノード分極曲線の測定を行った。

Table 2. Mechanical properties of materials.

Material	0.2% proof stress $\sigma_{0.2}$ (MPa)	Tensile strength σ_B (MPa)	Elongation δ (%)	Reduction of area Ψ (%)	Elastic modulus E (GPa)	Vickers hardness HV
AZ80A	196	273	15	13	50	69
AZ61A	186	248	14	24	52	66
AM60	196	246	13	33	58	64

Table 1. Chemical compositions of materials (wt%)

Material	Al	Zn	Mn	Ni	Cu	Fe	Si	Pb	Ca	Sn	Mg
AZ80A	8.3	0.6	0.23	0.001	0.002	0.002	0.03	—	—	—	Bal.
AZ61A	6.4	0.74	0.35	0.0012	0.0029	0.001	0.015	0.001	0.001	<0.001	Bal.
AM60	6	0.02	0.32	0.0005	0.003	0.0031	0.03	—	—	—	Bal.

3. 実験結果

3.1 疲労強度 図 1 に室温大気中および純水中における S-N 曲線を示す。大気中の場合、有限寿命域の疲労強度には材料間でほとんど相違が見られないが、 10^7 回に対する疲労強度 (以後、疲労限度) は AZ61 と AM60 では 80MPa, AZ80A では 100MPa であり、Al 含有量の多い AZ80A が最も高い疲労限度を示す。

これに対して純水中の場合、 $N < 2 \times 10^5$ における疲労強度は大気中とほぼ一致するが、それ以上の寿命域における疲労強度は大気中より低下し、大気中の疲労限度以下の応力レベルでも破壊が生じる。また、各材料間で純水中の疲労強度にほとんど相違が見られない。このことから、大気中の疲労強度が最も高い AZ80A が腐食に対して敏感であることがわかる。

3.2 き裂発生挙動 大気中の場合、き裂は高応力レベル ($\sigma > 130$ MPa) では Al-Mn 系の金属間化合物から、低応力レベル ($\sigma < 130$ MPa) では母地のすべりによって発生した。図 2(a) は純水中 $\sigma = 50$ MPa で行った試験後の AM60 の表面様相である。表面は $Mg(OH)_2$ もしくは MgO の被膜で覆われており、ひび割れが生じている。無負荷状態の試料を腐食させた場合には、このような割れは見られなかったことから、荷重負荷によって被膜が割れたと考えられる。また、矢印で示すような腐食ピットが、表面被膜が割れた

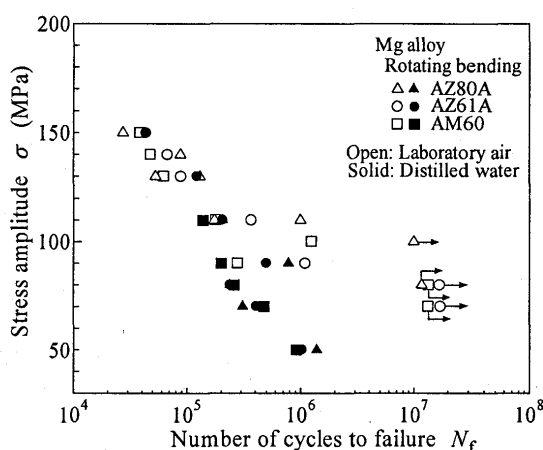


Fig.1. S-N diagram.

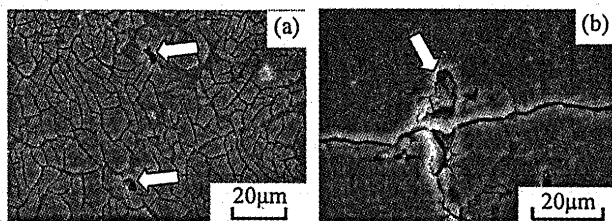


Fig. 2. Specimen surfaces: (a) AM60, $\sigma=50\text{MPa}$, (b) AZ80A, $\sigma=80\text{MPa}$. Arrows indicate corrosion pits.

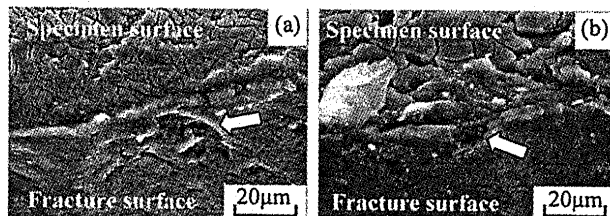


Fig. 3. Fracture surfaces near crack initiation sites: (a) AZ61A, $\sigma=50\text{MPa}$, (b) AM60, $\sigma=50\text{MPa}$. Arrows indicate corrosion pits.

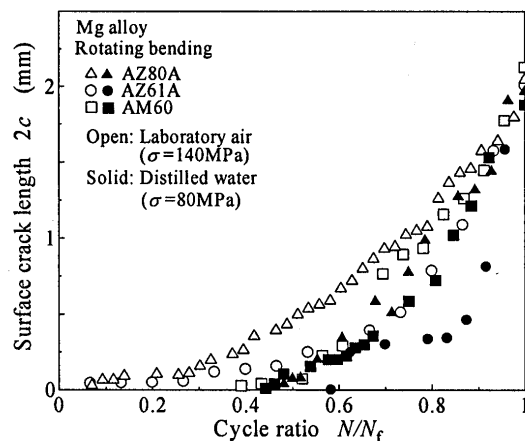


Fig. 4. Relationship between surface crack length and cycle ratio.

部分から発生しており, AZ80A と AZ61A でもほぼ同様の様相が確認されている. AZ80A ($\sigma=80\text{MPa}$) のき裂発生起点の表面様相を図 2(b)に示す. き裂は腐食ピットから発生している. 図 3 に AZ61A および AM60 ($\sigma=50\text{MPa}$) のき裂発生起点近傍の破面を約 45° 傾けて観察した結果を示す. いずれの場合も, 表面層の被膜に割れが生じており, き裂発生起点の破面には矢印で示す腐食ピットが認められる. なお AZ80A の場合, 破面接触によって腐食ピットは観察できなかった.

図 4 に大気中 ($\sigma=140\text{MPa}$) および純水中 ($\sigma=80\text{MPa}$) におけるき裂長さ $2c$ と繰返し数比 N/N_f (N_f : 疲労寿命) の関係を示す. 大気中の場合, き裂は AZ80A と AZ61A では $N/N_f \approx 0.1$, AM60 では $N/N_f \approx 0.3$ で発生するのに対して, 純水中の場合, いずれの材料も $N/N_f \geq 0.4$ で発生している.

3.3 微小き裂成長挙動 図 5 にき裂成長速度 da/dN と最大応力拡大係数 K_{\max} の関係を示す. 大気中の場合, Al の含有量が多い AZ80A の da/dN が遅い傾向が見られるが, 純水中の場合, da/dN は材料間の差が小さく, 大気中とほぼ同程度である. すなわち, 腐食によるき裂成長の加速, あるいは腐食生成物によるくさび効果などは認められない. また, 破面様相は大気中と純水中ではほぼ同様であった.

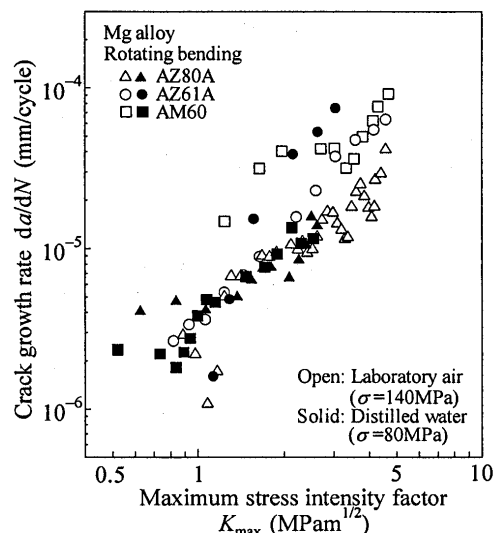


Fig. 5. Relationship between crack growth rate and maximum stress intensity factor.

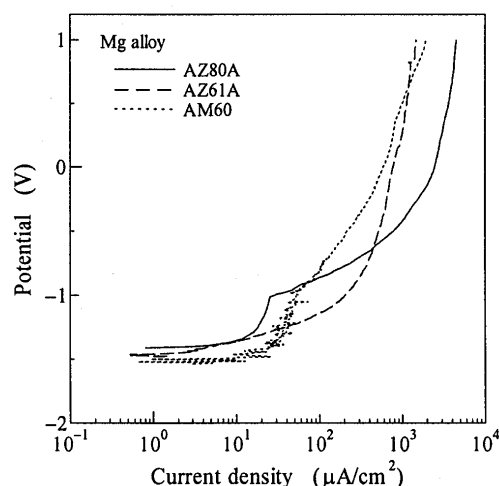


Fig. 6. Polarization curves in distilled water.

4. 考 察

図 2 および図 3 に示したように, いずれの材料も荷重負荷によって表面被膜が割れ, 腐食ピットが発生することによって大気中の疲労限度以下の応力でもき裂が発生し, 破断に至ったと考えられる. 今後ピットの成長速度やピットからのき裂発生について力学的に検討する必要がある.

分極曲線を図 6 に示す. 腐食電位にはほとんど差が見られないが, AZ80A の腐食速度が最も速いことがわかる. すなわち, AZ80A が腐食に対して最も敏感であったのは, このような電気化学的特性に起因すると考えられる. Mn の添加は Mg 合金の耐食性向上に有効であるが, Al は有害とされている. したがって, AZ80A では Al 含有量が最も多いために, 腐食に対して敏感になったと考えられる. また Zn については, AZ61A と AM60 の結果にほとんど差が見られないことから, 耐食性に及ぼす影響は小さいと考えられる.

5. 結 言

大気中および純水中において, 合金成分が異なる 3 種類の展伸 Mg 合金 AZ81A, AZ61A および AM60 を用いて回転曲げ疲労試験を行い, それらの疲労挙動について検討した. その結果, 純水中では大気中の疲労限度より低い応力でも破壊を生じ, AZ80A が最も腐食による強度低下が大きいことを明らかにした. (参考文献省略)