

321 展伸マグネシウム合金 AZ80, AZ61 および AM60 の疲労挙動

Fatigue Behaviour in Extruded AZ80, AZ61 and AM60 Magnesium Alloys

正 ○植松 美彦 (岐阜大工)

正 戸梶 恵郎 (岐阜大工)

正 鎌倉 光利 (岐阜製技研)

正 大橋 隆司 (岐阜大院)

Yoshihiko UEMATSU, Faculty of Engineering, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu

Keiro TOKAJI, Gifu University

Mitsutoshi KAMAKURA, Gifu Prefectural Research Institute of Industrial Products

Takashi OHASHI, Gifu University

Key Words: Fatigue, Extruded magnesium alloy, Crack initiation, Crack growth

1. 結 言

近年, 地球環境保護の観点などから, 自動車のような輸送機器の軽量化や材料のリサイクルが叫ばれており, その要求に応える次世代の軽量構造材料としてマグネシウム (Mg) 合金が注目されている. 現在利用されている Mg 合金は, ダイカストなどの鋳造材が大部分を占めている. しかし, 強度部材としては展伸材が適しており, 今後利用を拡大するためには, その疲労挙動を理解する必要がある.

Mg 合金の代表的なものに Mg-Al 系合金があり, 高強度化のために Al と, その他に機械的性質向上のために Zn, 組織の微細化促進のために Mn が少量添加されている. それらの元素の添加量に依存して機械的性質が異なる.

本研究では, AZ 系合金で Al 添加量の異なる AZ80A と AZ61A 押出材, および AZ 系合金よりも Zn の添加量が少なく延性があるとされる AM 系合金の AM60 押出材について回転曲げ疲労試験を行い, 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 Mg-Al 系合金の AZ61A, AZ80A および 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. 引張強さ σ_B は Al 含有量の増加に伴って増加している.

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, 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 2000 番まで順次研磨した後, 酸化クロム粉末を用いた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, 室温大気中, 繰返し速度約 20Hz で実験を行った. 破面の観察には, 走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた. また, 微小き裂成長挙動をレプリカ法により観察した.

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	14.6	13.1	50	69
AZ61A	186	248	14	23.8	52	66
AM60	196	246	13.1	32.6	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. 試験結果

3.1 疲労強度 図 1 に S-N 線図を示す. S-N 曲線はなめらかな曲線となるが, AZ80A と AM60 は明瞭な折れ曲がりを見せ, 疲労限度が存在するように見える. 図から明らかに, 有限寿命域の疲労強度には材料間でほとんど差が見られない. 一方, $N=10^7$ 回に対する疲労強度を疲労限度とすれば, AZ61 と AM60 では 80MPa, AZ80A では 100MPa であり, AZ80A が最も高い疲労限度を示す.

3.2 き裂発生挙動 図 2 は AM60 材の $\sigma=140$ MPa におけるき裂発生起点の SEM 観察結果である. き裂は 30 μ m 程度の介在物が割れて発生していることがわかる. EDS 分析の結果, 介在物からは Mg は検出されず, Al と Mn の金属

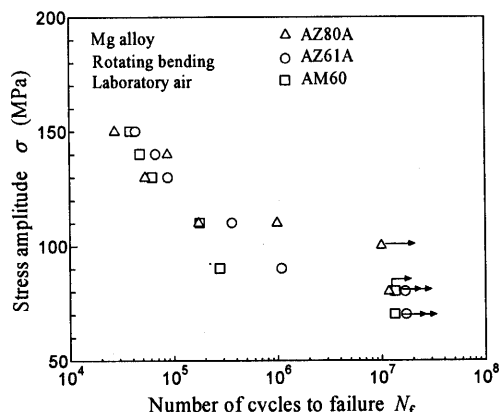
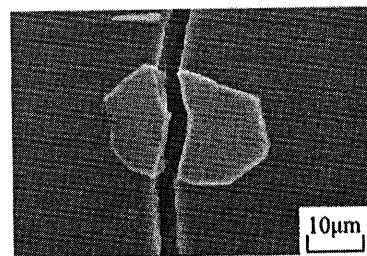
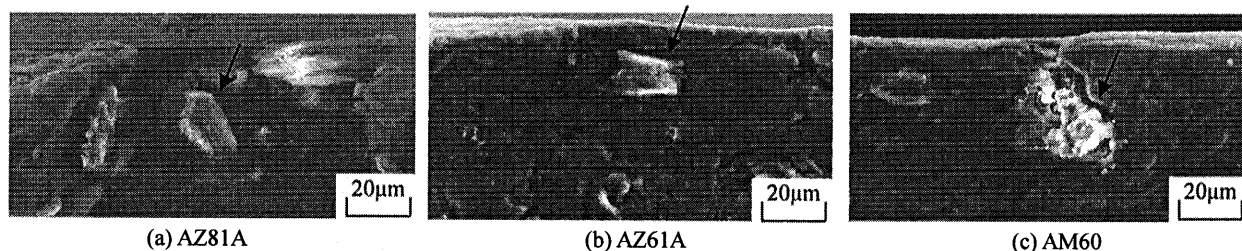
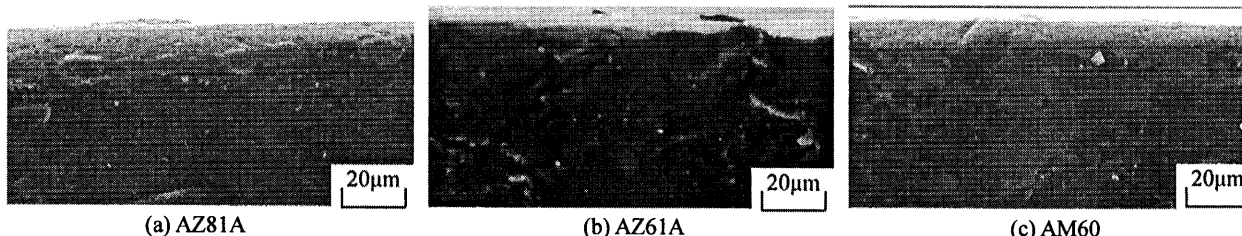


Fig.1. S-N diagram.

Fig.2. Fatigue crack initiation from inclusion at the specimen surface (AM60, $\sigma=140$ MPa).

Fig.3. SEM micrographs showing crack initiation site ($\sigma=150\text{MPa}$).Fig.4. SEM micrographs showing crack initiation site ($\sigma=110\text{MPa}$).

間化合物であることが判明した。このような寸法が数十 μm 程度の金属間化合物は、AZ81A および AZ60A の表面でも確認された。図 3 は、高応力の $\sigma=150\text{MPa}$ における各材料のき裂発生起点近傍の破面写真である。図中の矢印で示すように、いずれの場合もき裂発生起点の表面近傍には介在物が確認される。一方、図 4 は $\sigma=110\text{MPa}$ における破面であるが、き裂発生起点に介在物は認められない。すなわち、いずれの材料も高応力レベルでは介在物を起点とし、低応力レベルではすべりによってき裂が発生することが判明した。なお $\sigma=130\text{MPa}$ における破面でも、き裂発生起点に介在物が認められる場合があり、き裂発生機構の遷移は応力が $110\sim130\text{MPa}$ で生じるようである。

3.3 微小き裂成長挙動 $\sigma=140\text{MPa}$ における各材のき裂長さ $2c$ と繰返し数比 N/N_f (N_f : 疲労寿命) の関係を図 5 に示す。AZ80A および AZ61A では $N/N_f=0.1$ 程度でき裂の発生が認められたが、AM60 ではそれらよりき裂発生が若干遅い。しかし、いずれの材料も、疲労寿命の大部分をき裂成長寿命が占めていることがわかる。図 6 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。 da/dN にはわずかに差が見られ、AM60, AZ61A, AZ80A の順に低速となる傾向が見られる。

4. 考 察

すべての材料において、高応力レベルでき裂発生起点となった介在物の Al-Mn 系の金属間化合物は、状態図より MnAl_6 あるいは MnAl_8 と推測される。介在物分布の定量的評価は行っていないが、試験片表面や破面上で認められる介在物の量は少なく、また介在物の大きさや分布に材料間で顕著な差は認められなかった。これはいずれの材料も、添加元素 Mn の含有量がほぼ同程度であるためと考えられる。

図 1 から有限寿命域における疲労強度に材料間でほとんど差が見られなかった。これは、図 6 で示したようにき裂成長速度に若干の差が認められたものの、いずれの材料も応力レベルが高い場合には、Al-Mn 系金属間化合物を起点としてき裂が発生し、その大きさや分布の相違が材料間で小さかったためと思われる。一方、低応力レベルでは、き裂はすべり変形によって発生した。したがって、Al 含有量が最も多く、高強度の AZ81A で疲労限度が最も高くなったと考えられる。

5. 結 言

本研究では、合金成分の異なる 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

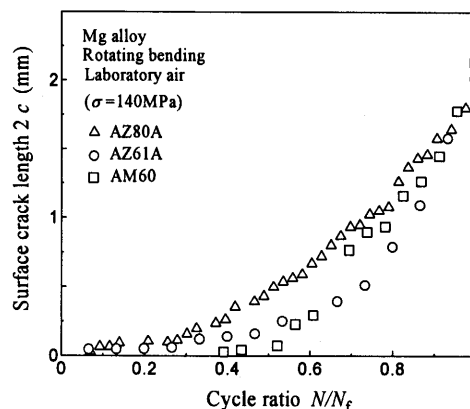


Fig.5. Relationship between surface crack length and cycle ratio.

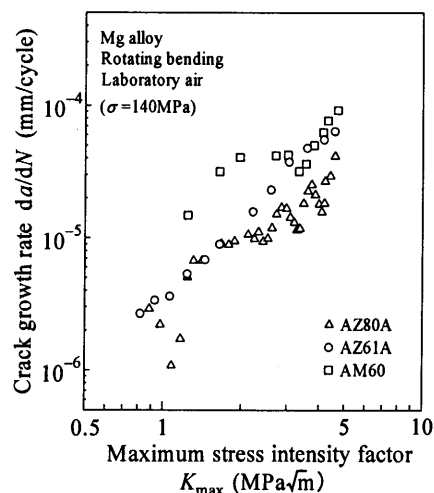


Fig.6. Relationship between crack growth rate and maximum stress intensity factor.

を行い、それらの疲労挙動について検討した。その結果、いずれの材料でも高応力では Al-Mn 系の金属間化合物がき裂発生起点となり、低応力レベルではすべりによりき裂が発生すること、有限寿命域における疲労強度は材料間で差が見られないが、Al 含有量の最も多い AZ81A の疲労限度が最も高くなることなどを明らかにした。

(参考文献省略)