

## 927 マグネシウム合金 AZ31 の腐食疲労特性

## Corrosion Fatigue behavior of magnesium alloy AZ31

○ 准 南 震 宇 (富山大・院) 正 石原 外美 (富山大)  
正 五嶋 孝仁 (富山大)

Zhenyu Nan, Sotomi Ishihara and Takahito Goshima

<sup>2</sup>Department of Mechanical and Intellectual System Engineering, Toyama University,  
3190 Gofuku, Toyama-shi, Toyama, 930-8555 Japan

Key Words : Corrosion Fatigue, Extruded Magnesium alloy, Fractography.

## 1. 緒 言

マグネシウムは、実用金属の中で最も軽い材料で、鉄やアルミニウムより優れた比強度、比剛度や振動吸収性を有するため、構造材として非常に魅力的であるが、腐食しやすい、高価であるなどの理由から、これまでその使用量は少なかった。構造部材として、マグネシウム合金の使用を考える時、同材の疲労特性の把握が必要であるが、マグネシウム合金の疲労特性については、十分明確にされていないのが現状である。

著者らはこれまでマグネシウム合金の疲労における基礎的データの蓄積を目的として、展伸材 AZ31 合金を用いて大気中において疲労実験を行い、大気中における S-N 特性、疲労き裂の発生、進展特性について検討を行った。その結果、同材の大気中における S-N 曲線に鋭い折れ曲がりが見られる。この S-N 曲線の鋭い折れ曲がりはき裂停留現象によるものであることを明らかにした。

本研究では、マグネシウム合金の腐食環境下における疲労特性を究明するために、展伸材 AZ31 合金を用いて腐食環境下で疲労実験を行い、腐食環境下における疲労き裂の発生、進展特性について検討を行った。

## 2. 供試材と実験方法

本実験で用いた展伸材 AZ31 マグネシウム合金は、 $\phi 88.9\text{mm}$  のピレットから  $\phi 19\text{mm}$  の丸棒に押し出したもので、その化学成分と機械的性質をそれぞれ Table 1、並びに Table 2 に示す。Fig.3 に供試材の表面組織の顕微鏡写真を示す。図からわかるように、表面組織は押し出し方向と平行な黒と白の層状組織になっていることが分かる。A、B はそれぞれ白と黒の層状組織を、また C は黒の層状組織中の結晶粒を示している。A、B、C の各微細組織を、EPMA と X 線回折装置を用いて同定を行った。同時に、微小硬度計を用いて各組織の硬さを測定した。分析結果と硬さ値を Table 3 に示す。同表には各微視組織の代表寸法も併せて示している。表よりわかるように、A の白の層状組織は Mg 相、B の黒色の層状組織は  $\text{Mg}_{32}(\text{Al},\text{Zn})_{49}$ 、また C の黒い層状組織内の結晶粒は  $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$  であり、硬さの順位は B、C、A の順位になっている。

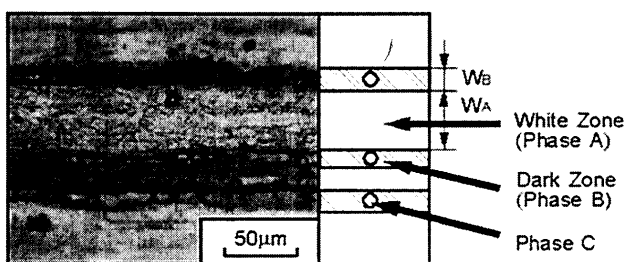


Fig. 3 Microstructure of the AZ31 alloy.

Table 1 Chemical compositions of the material. (wt%)

Al	Zn	Mn	Fe	Ni	Cu	Si	Ca	Mg
2.98	0.97	0.004	0.007	0.005	0.002	0.02	0.05	Bal.

Table 2 Mechanical property of the material.

Yield Strength	Tensile Strength	Elongation	Young's modulus
200MPa	275MPa	11%	45GPa

Table 3 Composition and vickers hardness of the microstructure.

Structure	Composition	Vickers hardness	Typical size( $\mu\text{m}$ )
A	Mg	61	40
B	$\text{Mg}_{32}(\text{Al},\text{Zn})_{49}$	93	24
C	$\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$	83	20

試験片は、Fig.4 に示す試験片形状(応力集中係数は 1.04)まで機械加工により仕上げた。その後、観察を容易にするため、最小断面部をエメリー紙で 2000 番まで縦方向に研磨、ダイヤモンドペーストで鏡面に仕上げた後実験に供した。疲労実験は、片持ち回転曲げ疲労試験機を用いて、応力繰返し速度 30Hz のもとで行った。腐食液は蒸留水を溶媒とする 3%NaCl であり、試験片最小断面部表面に腐食液を滴下させながら実験を行った。また試験部と腐食槽との間を、流量が 140ml/min の定量ポンプを用いて腐食液を循環させた。試験片とチャック部分、試験片とベアリングの間の接触腐食を防止するため、試験片最小断面部の左右 5mm の範囲を除いてすべてシリコン樹脂で被覆させた。なお、腐食液は新しい試験片毎あるいは一日毎新しい液に交換した。疲労過程のき裂発生・進展特性の観察はレプリカ法を用いて連続的に行った。得られたレプリカを光学顕微鏡にて約 400 倍で観察することによってき裂長さを測定した。また、試験片破面の観察には走査型電子顕微鏡(SEM)を用いた。

## 3. 実験結果

## 3.1 腐食環境における S-N 曲線

応力比  $R = -1$ 、繰返し速度  $f = 30\text{Hz}$  における供試材の腐

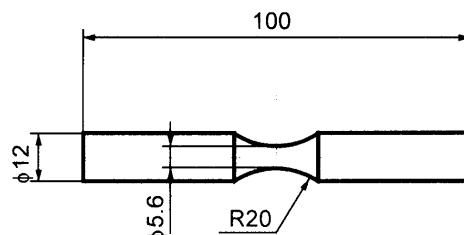


Fig. 4 Shape and dimensions of the specimen. (mm)

食環境下における S-N 曲線を大気中の S-N 曲線とともに Fig. 5 に示す。図からわかるように、大気中において、本材料は  $N=10^5 \sim 10^7$  で明確な水平部観察され、耐久限度が存在するが、腐食環境下では明確な水平部が観察されず耐久限度が存在しない。また、大気中における有限寿命範囲、応力振幅  $\sigma_a$  が 120MPa より大きい範囲において腐食環境の影響はあまり見られないが、大気中の耐久限度 120MPa 以下では、3%NaCl 溶液中の疲労強度の低下が顕著である。

3.2 き裂発生

Fig.6 は、応力振幅  $\sigma_a$  が 100MPa と 110MPa における、腐食環境下疲労過程の試験片表面連続観察結果を示す。図よりわかるように、繰返し応力の負荷によって B 相が溶解され、腐食ピットが発生し、その腐食ピットが成長し、腐食ピットの底からき裂が発生する。

3.2 破面観察

SEM 破面観察の一例として、応力振幅  $\sigma_a$  が 80MPa における破面様相を Fig. 7(a) に示す。Fig. 7(b) は、き裂発生起点と表面様相の関係を調べるために破断面を 45° 傾斜させ撮影したものである。Fig. 7(a) からわかるように、腐食環境においてき裂は繰返し応力により図中矢印の腐食ピットから発生し、内部へと進展している。Fig. 7(b) と Fig. 6 の連続観察結果より以下のことが言える。腐食環境では、繰返し応力により B 相において腐食ピットが形成され、腐食ピット底からき裂が発生・進展し破壊が生じる。

3.3 腐食環境における疲労き裂の進展特性

Fig.8 は、連続観察より測定されたき裂長さを疲労寿命比  $N/N_f$  の関数として示したものである。図よりわかるように、応力振幅が高いとき、き裂は初期に発生し、応力振幅の低下によりき裂発生寿命が長くなるが分かる。

Fig.9 は、Fig.8 の実験結果をき裂進展速度  $da/dN$  と応力拡大係数幅  $\Delta K$  の関係として整理したものである。図中には

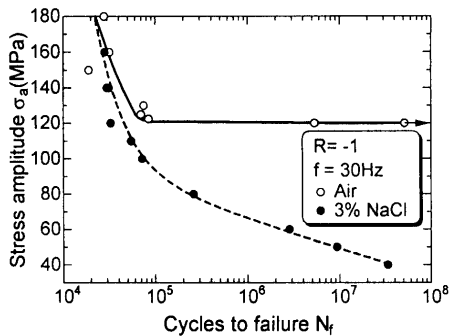


Fig. 5 S-N curve for AZ31 magnesium alloy in air and corrosion environment.

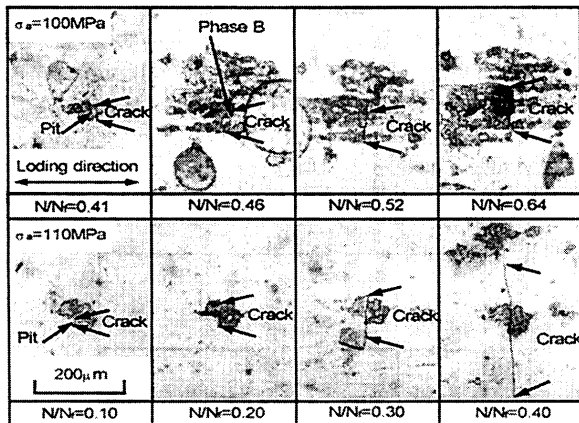


Fig. 6 Successive observations on a specimen surface during the fatigue process.

比較のために大気中の  $da/dN$ - $\Delta K$  関係も併せてプロットしてある。 $\Delta K$  はき裂を半円の表面き裂と仮定して次式で計算した。

$$\Delta K = 1.04Y\sigma_a\sqrt{\pi a} \quad (1)$$

ここで、1.04 は応力集中係数、Y は補正係数(=0.73)、a はき裂半長である。図より、 $da/dN$  と  $\Delta K$  関係には現在得られている実験データの範囲では大気中と腐食環境に違いによる差異が明確に認められない。しかしこの結論は  $da/dN$  が比較的速い領域についてであり、Fig.5 の S-N 線図の低応力域において腐食による疲労寿命の低下が顕著であることを考慮すれば、より  $da/dN$  が低い領域では腐食による加速が大きく表れるものと推察される。また  $da/dN$ - $\Delta K$  関係には応力振幅依存性がほとんど見られない。

4. 結論

1. 大気中の耐久限度 120MPa 以下では、3%NaCl 溶液中の疲労強度の低下が顕著である。
2. 腐食環境下において、繰返し応力の負荷によって B 相が溶解され、腐食ピットが発生し、その腐食ピットからき裂が発生する。

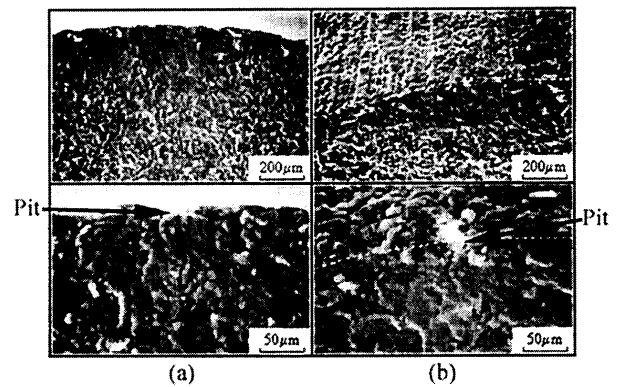


Fig. 7 SEM micrographs of fracture surface at  $\sigma_a=80$ MPa.

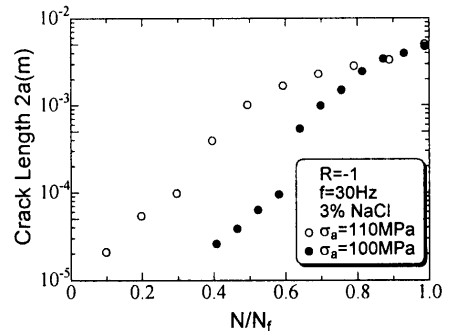


Fig. 8 Variations of crack lengths as a function of fatigue life ratio  $N/N_f$ .

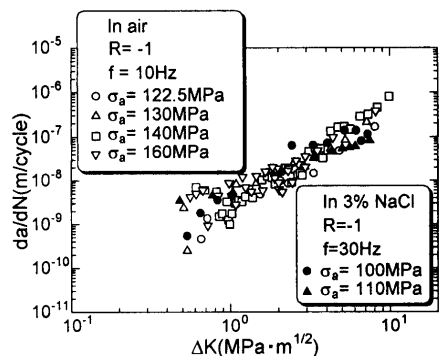


Fig. 9 Fatigue crack growth rate as a function of  $\Delta K$ .