

# 925 マグネシウム合金 AZ31 の疲労き裂進展特性

## Fatigue crack propagation behavior of magnesium alloy AZ31

準 南 震 宇 (富山大・院) 正 石原 外美 (富山大)  
 正 五嶋 孝仁 (富山大) 学 中西 礼子 (富山大・学)

Zhenyu Nan, Sotomi Ishihara, Takahito Goshima and Reiko Nakanisi  
 Dept. of Mechanical Engineering, Toyama University, Gofuku 3190, Toyama 930-8555, JAPAN

Key Words : Magnesium alloy, Fatigue crack propagation, Fatigue life, Crack initiation.

### 1. 緒 言

マグネシウムは、実用金属として最も軽い材料で、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。しかし近年、地球環境問題などの観点から、軽量化ならびにリサイクル性の向上が求められている。マグネシウム合金は省エネルギーや構造物の軽量化の観点から、近年、運輸機器の部品、携帯用パソコンや電話の部品として、需要が急激に伸びている。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。また構造物等の実働環境における疲労で重要なのは、長さが数ミクロンから数百ミクロン程度の微小き裂の進展特性を把握することである。しかしながら、マグネシウム合金の疲労特性については、これまで十分明確にされていないのが現状である。

本研究では、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、展伸材の AZ31 合金を用いて疲労実験を行い、疲労き裂の発生、進展特性について検討を行った。

### 2. 実験方法

本実験で用いられた展伸材 AZ31 合金は、3.5 インチの丸棒から  $\phi 19\text{mm}$  に押出したもので、その化学成分と組織写真をそれぞれ Table1、並びに Fig.1 に示す。図の矢印の方向は押出方向で、押出の先端と後端で大きな相違は認められない。Table2 に、機械的性質を示す。

試験片は Fig. 2 に示す試験片形状(応力集中係数は 1.04)まで機械加工し、その後エメリー紙で 1000 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。

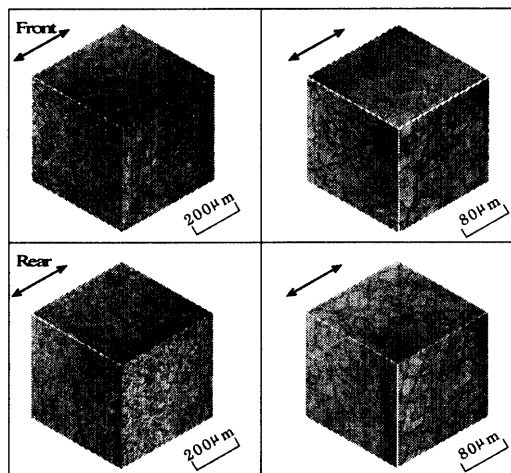


Fig. 1 Three-D microstructure of the AZ31 alloy.

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           |

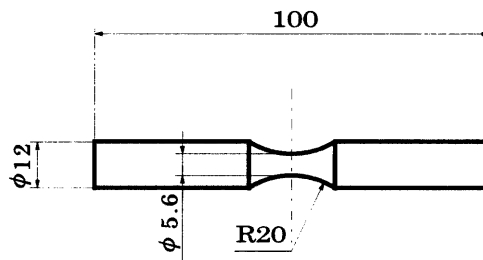


Fig. 2 Shape and dimensions of the specimen. (mm)

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。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 300 倍にて観察することによってき裂長さを測定した。なお一部の試験片については、エッチング液を用いて表面組織を現出させて実験を行った。

### 3. 実験結果

#### 3.1 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 S-N 曲線を Fig. 3 に示す。実験中の室温は 298K、湿度は約 68%

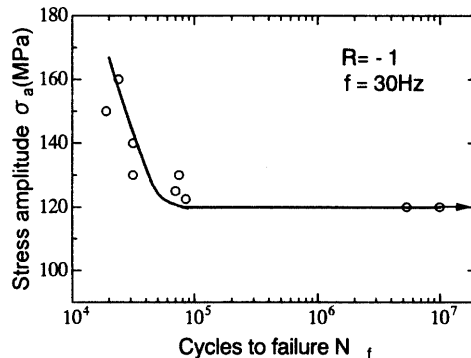


Fig. 3 S-N curve for the AZ31 alloy.

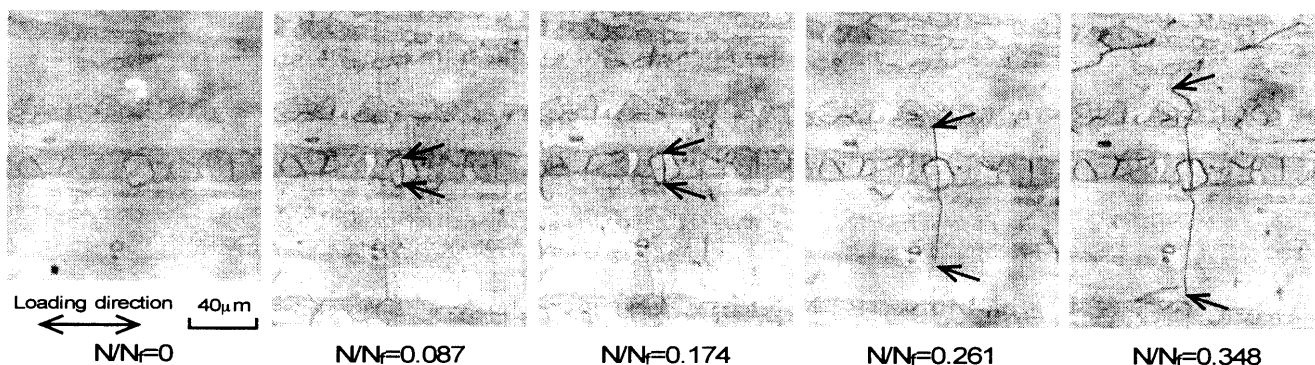


Fig. 4 Successive observations on a specimen surface during the fatigue process ( $\sigma_a = 122.5 \text{ MPa}$ ).

であり、実験中特に制御はしなかった。図からわかるように、応力振幅  $\sigma_a$  が  $122.5 \text{ MPa}$  において疲労寿命が約  $10^5$  サイクルに対し、 $120 \text{ MPa}$  では  $10^7$  サイクルでも破断せず、鋭い折れ曲がりが見られる。  $120 \text{ MPa}$ ,  $N=10^7$  の未破断の試験片を観察すると、最小直径部に最大  $40 \mu$  程度の複数のき裂が観察された。このき裂が停留き裂かどうか現在さらに検討中である。なお、図中の実線については後述する。

### 3.2 疲労き裂発生

Fig. 4 は、応力振幅  $\sigma_a$  が  $122.5 \text{ MPa}$  における、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マグネシウム結晶内にすべりが生じ、そのすべり帯に沿ってき裂が発生し、結晶内で一本のき裂となって隣相へと進展を開始している。また、押し出し方向に沿って層状組織が現れているが、き裂はこの組織を横断するとき、速度が低下し、曲がるのが観察できる。このようなき裂進展形態は、 $\sigma_a = 140 \text{ MPa}$  においても同様であるが、アルミニウム合金等と比較すると、比較的滑らかで直線的なき裂形態を有するといえる。これまで、マグネシウム合金 AZ61 の疲労において、実験室環境でも湿度が高いとき、き裂は腐食ピットから発生することが報告されているが、本実験ではこのような結果は観察されず、アルミニウム含有量の影響も含めて今後検討する必要がある。

### 3.3 疲労き裂の進展特性

Fig. 5 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、疲労き裂は寿命の 5-30% の初期に発生しており、全寿命をき裂進展寿命と近似することも可能であろう。また図中には 3 種類の応力振幅に対するデータがプロットされているが、明確な応力振幅依存性も認められない。

Fig. 6 は、Fig. 5 の実験結果をき裂進展速度  $da/dN$  と応力拡大係数幅  $\Delta K$  の関係としてプロットしたものである。なお、き裂を半円の表面き裂と仮定して  $\Delta K$  を次式で計算した。

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

式中、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  $\Delta K$  関係は両対数グラフ上で直線近似でき、また応力振幅依存性も認めにくいので、次式のパリソ則が成立する。

$$da/dN = A(1.04 Y \sigma \sqrt{\pi a})^m \quad (2)$$

ここで、 $A$  と  $m$  は材料定数であり、 $m=3$  となる。また、き裂進展下限限界値  $\Delta K_{th}$  は、約  $0.54 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  とみなせる。前述のようにき裂発生寿命が無視できるので、式 (2) を初期き裂長さ  $a_0$  から試験片破壊時の臨界き裂長さ  $a_f$  で積分することによって有限寿命に対する S-N 線図が得られ、また、 $\Delta K_{th}$  より疲労限度

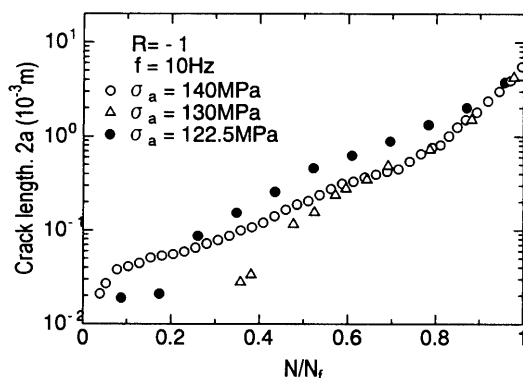


Fig. 5 Variations of crack lengths as a function of fatigue life ratio  $N/N_f$ .

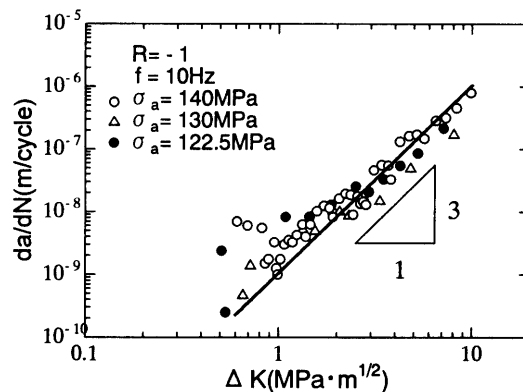


Fig. 6 Fatigue crack growth rate as a function of  $\Delta K$ .

が得られる。Fig. 1 中の実線で示した曲線はこうにして得られたものである。実験結果と比較すると良い一致が見られる。

## 4. 結 言

AZ31 マグネシウム合金を用いて疲労実験を行い、S-N 線図、疲労き裂の発生、進展特性について検討を行った結果、次の結言が得られた。

- (1) 疲労き裂は、寿命の早い段階で結晶内のすべりにより発生し、結晶内で一本のき裂になり、隣相へ進展する。
- (2) き裂進展速度と応力拡大係数の関係を積分することにより、得られた理論的 S-N 線図は実験結果と良く一致する。