

110 AZ31 マグネシウム合金の疲労過程における疲労き裂発生機構

On the mechanism of the fatigue crack initiation of AZ31 magnesium alloy

○ 準 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
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。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、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、押出方向と平行(以後 Type P 材)及び垂直(以後 Type V 材)に試験片を取り、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、Type P 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、この S-N 曲線の鋭い折れ曲がりには、押出 AZ31 マグネシウム合金の微視組織に起因し、き裂停留現象によるものであることを明らかにした。また、Type V 材は Type P 材より疲労限度が低下し、Type V 材の疲労破壊は複数き裂の合体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疲労過程における疲労き裂発生機構を究明するために、原子間力顕微鏡 (SHIMADZU : Scanning Probe Microscope-9500J2) を用いて、押出 AZ31 マグネシウム合金の微視組織各部のヤング率を求めた。ついで汎用有限要素プログラム MENTAT/MARC を用いて、弾性範囲の解析を行い、微視組織各部に負荷される応力を計算し、き裂発生機構を考察した。

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、 $\phi 88.9$ mm のピレットから $\phi 19$ mm の丸棒に押出したもので、その化学成分と Type P 及び Type V の機械的性質をそれぞれ Table 1, 並びに Table 2 に示す。Fig. 1 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、D は白い層状組織中の介在物を示している。A, B, C, D 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。分析結果と微小硬さの測定結果を 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ある。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 $Mg_{32}(Al,Zn)_{49}$ 、ま

た C の黒い層状組織内の結晶粒は $Mg_{17}Al_{12}$ 、D の白い層状組織中の介在物は $Al_{81}Mn_{19}$ であり、硬さの順位は D, B, C, A の順位になっている。

試験片は、回転曲げの砂型時計型に機械加工後、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。疲労過程のき裂発生の観察はレプリカ法を用いて行った。得られたレプリカを光学顕微鏡にて約 400 倍にて観察した。

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 properties of the material.

	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation	Young's modulus
Type P	200 MPa	275 MPa	11 %	45 GPa
Type V	170 MPa	235 MPa	16 %	45 GPa

Table 3 Composition and vickers hardness of the microstructure.

Structure	Composition	Vickers hardness	Typical size(μ m)
A	Mg	61	40
B	$Mg_{32}(Al,Zn)_{49}$	93	24
C	$Mg_{17}Al_{12}$	83	20
D	$Al_{81}Mn_{19}$	97	15

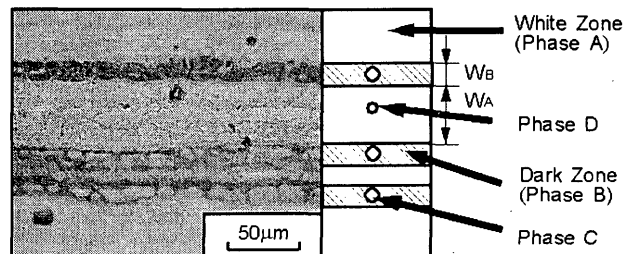


Fig. 1 Microstructure of the AZ31 alloy.

3. 実験結果

3.1 Type P 材の疲労き裂発生挙動

Fig. 2 は応力振幅 σ_a が 122.5 MPa における疲労過程のき裂発生挙動の観察結果を示したものである。き裂発生挙動と微視組織の相互作用を調べるために、エッチングにより試験片表面の微細組織をあらかじめ現出させて実験を行

った. また図ではき裂先端を明示するために矢印を付した. 図中矢印で示すように, 繰返し応力の負荷によって疲労寿命の早い段階で, C相の上下端部でき裂が発生している様子が分かる.

3.2 Type V 材の疲労き裂発生挙動

Fig. 3 に示すように, Type V 材は介在物からき裂が発生していることが分かる. その介在物の組成を究明するために, 応力振幅 100 MPa で中断実験を行い, EPMA 分析を行った. その結果, 繰返し負荷によって白い層状組織中の介在物 D 相界面でき裂が発生することを判明した.

以上の Type V 材におけるき裂の発生・進展特性は Type P 材とは次の点で異なる, すなわち, Type P 材では黒い層状組織内の結晶粒 C 相からき裂が発生するのに対し, Type V 材では白い層状組織中の介在物 D 相界面でき裂が発生する. 以下ではこの理由について原子間力顕微鏡と有限要素解析により検討する.

3.3 超微小押し込み試験による各相の物性値

切出し方向の違いにより, 疲労き裂発生機構の相違の原因を究明するために, 原子間力顕微鏡で超微小押し込み試験を行い, 各相の物性値について調査した. 最大負荷荷重を 1000 μN , 押し込みと除荷時間を 5 sec と設定することにより, 押し込みと除荷速度を 200 $\mu\text{N}/\text{sec}$ と一定に設定し, Berkovich ダイヤモンドチップを用いて測定した. その結果を Fig. 4 に示す. 図の除荷曲線傾きより, 算出された各相のヤング率: A 相は 45 GPa, B 相は 75 GPa, C 相は 60 GPa, D 相は 80 GPa である.

3.4 有限要素法による解析

Fig. 1 の本供試材の微視組織写真と Table 3 の組織寸法に基づいて, 微視組織は Fig. 5 のように模式的に示すことができる. 図からわかるように, 微視組織は硬質 B 相と軟質 A 相が交互に層状組織を形成している. そして B 相内部に入れ子式に C 相が入っている. また A 相内部には D 相が入っている組織となっている.

対称性を考量して Fig. 5 の枠部分を Fig. 6 に示すモデルにおきかえ, 弾性範囲で解析を行った. その結果, Type P 材では C 相と B 相の界面 (Fig. 6 の I) で応力集中により, 柔らかい C 相上下端部でき裂が発生し, Type V 材は D 相 (Fig. 6 の II) で応力集中が生じた. 以上の微視組織に加わる応力集中箇所は実験で観察されたき裂発生部と良い一致が見られる.

4. 結言

- (1) Type P 材は繰返し負荷によって疲労寿命の早い段階で, C 相の上下端部で応力集中によりき裂が発生する.
- (2) Type V 材は繰返し負荷によって疲労寿命の早い段階で, D 相の界面で応力集中によりき裂が発生する.
- (3) 有限要素法による解析結果は実験結果と良い一致が見られた.

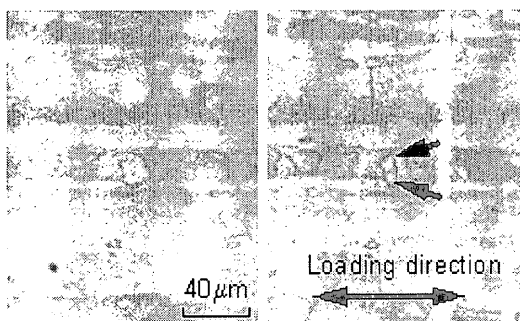


Fig. 2 Specimen surface during the fatigue process (Type P)

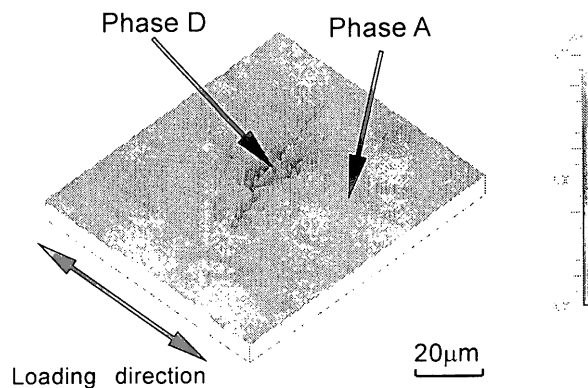


Fig. 3 Specimen surface during the fatigue process (Type V)

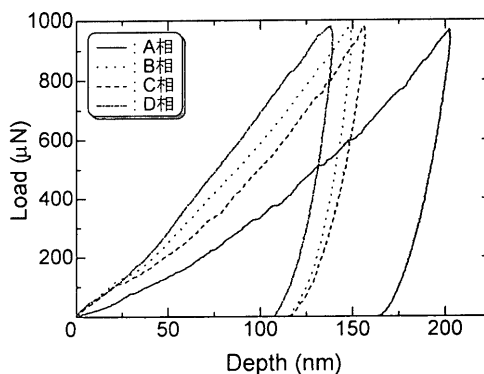


Fig. 4 Relation between load and depth

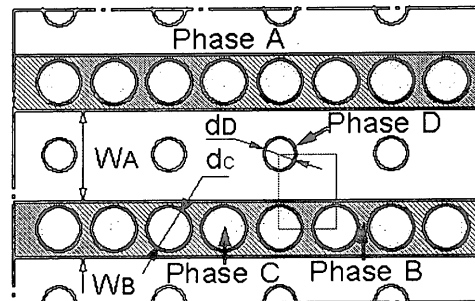


Fig. 5 Model of microstructure

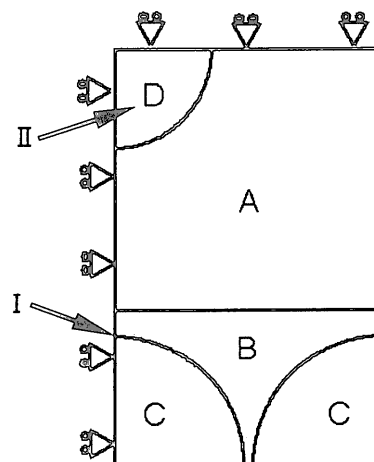


Fig. 6 Model of FEM analysis