

マグネシウム単結晶の疲労破壊挙動

津志田 雅之*¹, 池田 良介*², 北原 弘基*³, 安藤 新二*³

*¹熊本大学工学部技術部, *²熊本大学自然科学研究科院生, *³熊本大学自然科学研究科

1. 緒言

近年、マグネシウムは、軽量かつ高比強度材料として開発が進められている。このマグネシウムは結晶構造が hcp であるためき裂方位により疲労破壊挙動が大きく異なると考えられる。ここで、このき裂方位依存性を明確にするためには単結晶における調査が有効であるといえる。これまでにマグネシウム単結晶における疲労き裂伝ば機構を、単結晶 CT 試験片を用いて調査した結果、結晶方位によって疲労き裂伝ば挙動が大きく異なることを確認している¹⁻²⁾。

ここで、マグネシウム単結晶を用いてき裂の発生を含めた疲労強度における結晶方位依存性の調査を行う場合、従来の疲労試験における試験片サイズの単結晶を確保するのはあまり容易なことではない。また、単結晶は変形し易く試験片作製のための機械加工も問題となる。そこで、試験片サイズが小さく、かつ試験片形状が単純な試験片を用いた疲労試験機を開発し、マグネシウム単結晶の疲労強度と疲労寿命における結晶方位依存性の調査を行った。

2. 実験方法

2.1 疲労試験片

本研究において市販のマグネシウムインゴットからブリッジマン法により単結晶を作製した。Fig. 1 に作製した疲労試験片の形状を示す。20 mm×3mm×0.3 mm の試験片を切り出し、化学研磨において表面を鏡面仕上げした。試験片の下端から 15 mm の位置に、き裂発生点とするための直径 0.5 mm の円孔をドリル加工により導入した。また試験片には、ステンレス製のホルダーを、ホルダーの下端が円孔中心から 1 mm の位置になるように接着剤で取り付けた。今回2種類の方位の異なる試験片を準備し、それぞれの試験片板面および荷重軸方向は、(0001)[1012]、および(1012)[1100]とした。

2.2 疲労試験

Fig.1の試験片をスピーカのボイスコイル部に固定し、1次共振振動させることにより、Fig.2に示すように試験片の円孔部に曲げ応力を発生させることで平面曲げ疲労試験を行った。ここで振動中の試験片下端より 1mm 上部の振幅 Y をレーザ変位計により測定し、その値から片持ち梁の曲げの式を用いて円孔部に生じる曲げ応力を求めた。

$$\sigma_h = 3EYL' / \{2L^3 - 3L^2(L-L'') + (L-L'')^3\} \quad (1)$$

ここで、Fig.2に示すように、 L を試験片ホルダーから試験片下端までの長さ、 L' を試験片の下端から円孔中心部までの長さ、 L'' をホルダーからレーザ変位計による測定位置までの長さ、 Y

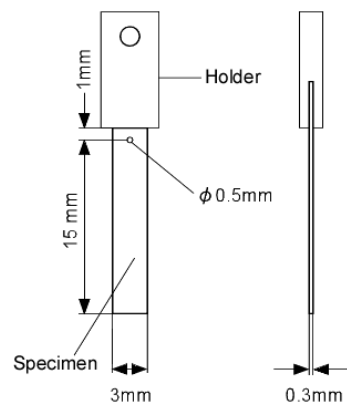


Fig. 1 Shape and dimensions of fatigue test specimen of magnesium single crystal.

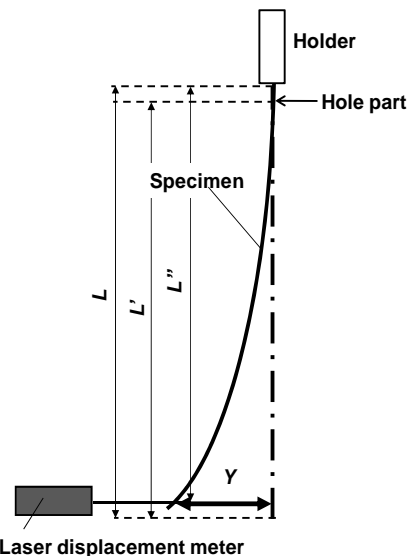


Fig. 2 Positions of the hole and the measurement point of the displacement in the fatigue specimen.

を変位計測定位置での試験片の振幅，試験片の厚みを h とした．また，hcp金属単結晶のヤング率 E は結晶方位異方性をもつ³⁾．その値を計算した結果，マグネシウムでは荷重軸が底面に平行であるA，B試験片では45.45GPaとなった．

2.3 応力評価

ここで，式(1)により応力を正しく評価できるかを確認するために，円孔のない試験片とゲージ長さ2mmのひずみゲージを用いて，円孔位置（ホルダ端から1mm程度）にゲージの中心が来るようにひずみゲージを取り付け，曲げひずみを測定し，応力を評価した．その結果をFig.3に示す．式(1)において算出した応力とひずみゲージから求めた応力はこの結果より，両者の値の差は2.8%程度であり，ほぼ等しい値となった．

つぎに，円孔による応力集中の程度を有限要素解析ソフトANSYSを用いて評価した結果，応力集中係数は1.85となった⁴⁾．したがって，応力振幅 σ_a は次式により求めた．

$$\sigma_a = \sigma_h \times 1.85 \quad (2)$$

疲労試験は室温大気中で行い，繰り返し周波数1000Hzで行った．疲労試験後は破面をSEMにより観察した．

3 実験結果

Fig. 4 に各試験片における σ_a と破断までの繰返し数 N_f との関係(S-N曲線)を示す．図中に矢印を付記したものはその繰返し数において破断していないことを示している．この結果より，いずれの試験片とも $N_f=10^7$ 付近で疲労限を示しており，A，B試験片の疲労限は40 MPaであった．また，一定の σ_a で比較するとA試験片に比べB試験片の疲労寿命は長いことがわかる．このように疲労寿命には強い結晶方位の依存性が確認された．

A試験片のき裂プロファイルにおいて，いずれの試験片においても， $\{1012\}$ 双晶が発生していた． $\sigma_a = 92.5\text{MPa}$ において，き裂は $[1100]$ に沿って進展した．しかし， $\sigma_a = 44.4\text{MPa}$ においてき裂は発生した $\{1012\}$ 双晶のトレースに沿って進展した．すなわち，応力によりき裂進展機構が変化したことがわかる．

B試験片においては， σ_a に関係なく試験片表面において $\{1012\}$ 双晶が観察され，き裂はジグザグに進展した．き裂が双晶と交わるところでわずかに双晶トレースにそって進展する部分も観察されたが，大部分は双晶とは関係なく進展した．

以上のように，スピーカを用いた疲労試験機を開発し，マグネシウム単結晶における疲労破壊挙動の結晶方位依存性を調査することができた．

参考文献

- 1) S.Ando, K.Saruwatari, T.Hori and H.Tonda, J. Japan Inst. Materials, **67**, pp.247-251(2003).
- 2) S.Ando, Y.Ikejiri, N.Iida, M.Tsushida and H.Tonda, J. Japan Inst. Materials, **70**, pp.634-637(2006).
- 3) R. W. Hertzberg, "Deformation and fracture mechanics of engineering materials", pp.6-16 (1976) John Wiley & Sons.
- 4) M. Tsushida, K. Shikada, H. Kitahara, S.Ando and H.Tonda, Materials Transactions, **49**, pp.1157-1161(2008).

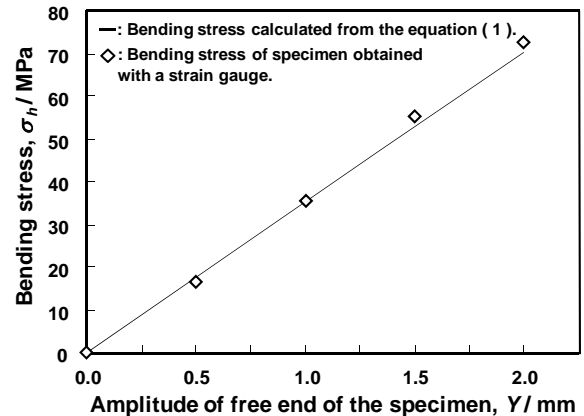


Fig. 3 Comparison between the bending stresses calculated from the equation (1) and obtained with a strain gauge.

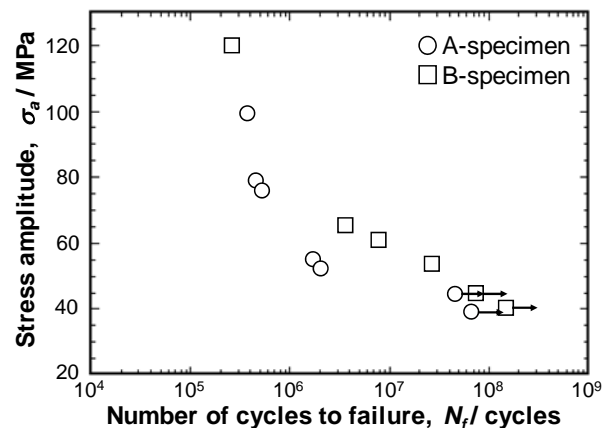


Fig.4 S-N curves of A- and B-specimen.