721 AZ31 マグネシウム合金の破壊靭性値に及ぼすミクロ組織の影響 物・材機構 〇染川英俊 物・材機構 向井敏司

The Effect of Microstructure on Fracture Toughness in an AZ31 Magnesium alloy Hidetoshi SOMEKAWA and Toshiji MUKAI

1. 緒 言

マグネシウムは実用金属材料の中で最も軽量な金属材 料であり、高比強度、高比弾性率などの優れた機械的特 性を有する材料である。従って、近年の省エネルギー・ 省資源や排気ガスなどの環境負荷を低減するという社会 的要請から、鉄道車輛や自動車などの移動用構造部材へ の適応が検討され始めている。そのため今後、マグネシ ウム構造部材に対する安全性や信頼性が要求されること は必須である。一般的に、構造部材に対するそれらの評 価は、破壊靭性値などを用いる。しかし、マグネシウム の破壊靭性値に関する調査は限られているのが現状であ り[1,2]、マグネシウムの破壊靭性値は、アルミニウムの それに比べ遥かに小さいと報告されている[1]。一方、マ グネシウムは六方晶構造を有するため、室温での機械的 特性は底面の集合組織の分布に大きく依存する。向井ら は、実用 AZ31 マグネシウム合金を用い、底面の方位分 布を制御することにより、室温でも 50%を超える巨大 な延性を得ることに成功し、延性が飛躍的に改善するこ とを示した[3]。また、渡邊らは、高温(523 K)において も、底面の集合組織の分布の違いにより、異なる変形応 力を示すと報告している[4]。このように、マグネシウム の機械的特性に及ぼす集合組織の影響は非常に大きい。 本研究では、マグネシウム合金の破壊靭性値を向上する ための手段を探索することを目的とし、破壊靭性値に及 ぼす底面の集合組織の影響について調査した。

2. 実験方法

本研究で使用した試料は、商業用 AZ31B マグネシウ ム合金(Mg-3mass%Al-1mass%Zn-0.2mass%Mn)押出材で ある。まず、入手時のひずみを除去するために 573 K 1.8 ks で、熱処理を施した。熱処理後のミクロ組織観察結果 を Fig. 1に示す。Fig. 1 より、平均結晶粒径は 13.5 µm であることが分かる。また、シュルツの背面反射法を用 い、底面(0001)の集合組織の分布を調査した。

室温の機械的特性を調査するために、断面直径 2.5 mm、 平行部長さ 5 mm を有する丸棒試験片を用い、初期ひず み速度 1 × 10⁻³ s⁻¹ で引張り試験を実施した。引張り試験 片は、押出し方向に対し平行方向と垂直方向からそれぞ れ採取した。また、破壊靭性試験は、厚さ 5 mm、高さ 10 mm を有し、板厚方向断面上に標準 V ノッチを刻入 した三点曲げ試験片を用い、ASTM-E399 に準拠し調査 した。破壊靭性試験片も引張り試験と同様に、押出し方 向に対し平行方向と垂直方向から採取した。平面歪み破 壊靭性値(K_{IC})は、試験片の板厚が薄く小規模降伏条件を 満足しないため、走査型電子顕微鏡(SEM)ならびにレー ザー顕微鏡を利用したストレッチゾーン破面解析により 算出した。



Fig. 1; The typical microstructure on AZ31 magnesium alloy after heart treatment.

3. 実験結果

Fig. 2 に底面の集合組織の分布を示す。押出方向に対 し平行に強い底面の分布が観察され、マグネシウム押出 し材特有の集合組織を有していることが分かる。

室温で実施した引張り試験の結果を Table I にまとめ る。最大引張り強度は、試験片の採取方向に関係なく、 ほぼ同じ値を示した。しかし、降伏強度ならびに破断伸 び値は、試験片の採取方向により、異なる値を示した。 これは、底面の集合組織の分布の違いに起因すると考え られる[3]。

Fig. 3 に典型的な破壊靭性試験後の SEM 破面観察結果 を示す。Fig. 3 より、疲労予亀裂の先端にストレッチゾ ーンを形成し、その近傍では延性破壊特有のディンプル を呈していることが観察される。ストレッチゾーンは、 外力が疲労予亀裂先端に負荷されることにより、亀裂先 端が塑性鈍化した痕跡であり、その鈍化亀裂前方の高ひ ずみ領域に形成されるディンプルによって最終的に打ち 切られるため形成される。一般的にストレッチーゾンの 高さと平面歪み破壊靭性値: K_{IC} は次式の関係があると 報告されている。

K_{IC} = [2×SZH×λ×σ_{ys}×E/(1-v²)]^{1/2} (1) ここで、SZH:ストレッチゾーン高さ、λ:材料定数(= 2 [5])、 σ_{ys}:降伏強度、E:ヤング率、v:ポアソン比(AZ31 マ グネシウム合金 = 0.35 [1])である。ストレッチゾーンの 高さは、レーザー顕微鏡を用いて測定し、その典型的な 結果を Fig. 4 に示す。測定したストレッチゾーン高さと 式(1)を用い、平面歪み破壊靭性値の結果を Table II に示 す。また、荷重-変位曲線から得られた、KICの暫定値(Ko) も併せて示す。式(1)を用いて得られた KIC は、Ko の値 より小さいため、平面歪み破壊靭性値であることが確認 される。また、採取方向により、異なる平面歪み破壊靭 性値を示し、押出し方向に対して平行に採取した試料の 平面歪み破壊靭性値(K_{IC} = 22.0 MPam^{1/2})は垂直方向のそ $n(K_{IC} = 15.9 \text{ MPam}^{1/2})$ よりも大きな値を示した。また、 Table II にストレッチゾーンの打ち切りに寄与したディ ンプルの平均サイズを示す。破壊靭性値と同様、採取方 向により、異なる値を示し、平面歪み破壊靭性値が大き い程、大きなディンプルを形成することが分かる。これ らの結果より、底面の方位分布制御は、破壊靭性値を向 上するための有効な手段であることと考えられる。



Fig. 2; The pole figure on basal plane (0001).



Fig. 3; The ypical SEM micrograph of the fracture surfaces after plane-strain fracture toughness test.



Fig. 4; The typical cross section profile after plane-strain fracture toughness test.

Table I; The result of tensile test at room temperature.

	σ _{ys} , MPa	$\sigma_{\rm UTS}$, MPa	δ, %
Normal 材	114	266	30
Parallel 材	215	267	24

 σ_{ys} :降伏強度, σ_{UTS} :最大引張り強度, δ :破断伸び値

Table II; The result of plane-strain fracture toughness test.

	SZH, µm	K _Q , MPam ^{1/2}	K _{IC} , MPam ^{1/2}	D, µm
Normal 材	4.9	22.9	15.9	4.2
Parallel 材	7.1	24.0	22.0	8.1

K_Q:K_{IC}の暫定値, K_{IC}:平面歪み破壞靭性値, D:ディン プルサイズ

4. 結言

- 1) 引張り試験より、底面の集合組織の配向に依存した 機械的特性が得られることが確認できた。
- 2) ストレッチゾーン解析に基づいた破壊靭性試験より、 平面歪み破壊靭性値は集合組織の影響により、15.9 ~ 22.0 MPam¹² を示すことが分かった。また、集合組織の制御は、破壊靭性値を向上させるための有効な手段であることが分かった。

参考文献

- [1] ASM Specialty Handbook, Magnesium and magnesium alloys, (Materials Park, OH, ASM International, 1999).
- [2] T. Sasaki, H. Somekawa, A. Takara, Y. Nishikawa, K. Higashi. Mater. Trans, 44, 986, (2003).
- [3] T. Mukai, M. Yamanoi, H. Watanabe, K. Higashi. Scripta Mater, 45, 89, (2001).
- [4] H. Watanabe, A. Takara, H. Somekawa, T. Mukai, K. Higashi. Scripta Mater, 52, 449, (2005).
- [5] 東, 平井, 大西, 軽金属, 35, 520, (1985).