

# 横波超音波を用いた金属疲労非破壊評価技術の開発

プロジェクト推進担当 山岸英樹\*、 評価技術課 佐々木克浩

## 1. 緒言

サステイナブル社会構築のための素材として、その利用拡大が期待されるマグネシウム及びマグネシウム合金の展伸材は、結晶構造に由来する常温での限られたすべり系及び強い集合組織形成のため、機械的性質の異方性が強く、生産技術上の問題点（難塑性加工性）ほか、設計段階において十分にその疲労強度が見込めない点からも構造部材としての活用があまり進んでいない。

超音波パルス法を用いて、疲労過程中の力学特性をモニタリングすることで疲労損傷挙動を把握することができれば、非破壊検査技術の観点から上述の問題の一端を解決できるほか、材料科学の観点からも、マグネシウムの持つ複雑な変形機構の解明に資する重要な情報を提示してくれるものと考えられる<sup>1-3)</sup>。

## 2. 実験方法

99.95 wt %のマグネシウム押し出し材(t=5.5 mm)において、油圧サーボ疲労試験機を用い繰り返し引張荷重(R=0)を与え、任意の疲労サイクルにおいて横波及び縦波超音波により板厚方向に各音速を取得することで、低サイクル疲労及び高サイクル疲労の進行に伴う各種弾性率を算出した。また、断面組織観察及び硬さ等の材料試験、並びに両疲労モードの挙動比較により、疲労進行に伴う力学特性の変化要因について検討した。

## 3. 実験結果および考察<sup>2,3)</sup>

### 3. 1 疲労過程の力学特性

図1に両疲労モードの疲労度に対する横波音速及(a)及び各種弾性率挙動(b-e)を示す。なお、図中いずれのデータも横波の偏向面は荷重方向に平行である。疲労の進行に伴いヤング率及び剛性率は大きく低下した。一方、ポアソン比及び体積弾性率は疲労と共に増加するが、低サイクル疲労では破壊直前に大きく低下する傾向を示した。また同じ疲労度であっても低サイクル疲労の方が、高サイクル疲労より大きな変化量となる。なお、本図に

は示さないが、横波の音速低下量は縦波よりも極めて大きくなり（結果ポアソン比の増加となる）、また偏向面を荷重方向に平行とした場合の方が、垂直にした場合よりも大きな低下となることが分かった。

### 3. 2 力学特性の挙動要因

破面及び断面組織観察より、粒界が非常に脆弱な疲労損傷形態であることが分かった。横波と縦波の伝播モード依存性及び横波の音響異方性から、本材の疲労過程における極端な力学特性低下の要因として、粒界欠陥の発達が理解できた。なお、硬さと相関のある体積弾性率の増加は加工硬化により、またその低サイクル疲労における破壊直前の急激な低下は音波の伝播経路における巨視的な疲労き裂の影響を受けたものである。

本材の変形機構領域図から、上記欠陥の形成要因として粒界拡散及びへき開が考えられる。その変形機構を検討するため、音速の低下が粒界欠陥の発達に比例したものと仮定し、疲労負荷1サイクル当たりの音速低下量( $\Delta V/V$ )と0.2%耐力で規格化した駆動応力の関係から、低サイクル疲労における本欠陥の発達機構に対する応力指数nを算出したところn=5.6となった。すなわち、単純な粒界拡散律速(n=1)ではなく、へき開が本力学特性低下の主たるモードであることが示唆された。

## 4. 結言

超音波パルス法によりマグネシウムの疲労過程における力学特性を評価し、さらに応力指数を求めることでその変形機構を提示したことは、非破壊検査技術としての有用性だけでなく、本材の利用拡大を推し進めるための新たな評価法及び知見になったと考えられる。

### 「参考文献」

- 1) H. Yamagishi, M. Fukuhara and A. Chiba: Metallurgical and Materials Transactions, **41A** (2010) pp. 2010-2151.
- 2) H. Yamagishi, M. Fukuhara and A. Chiba: Materials Transactions, **51** (2010) pp. 1255-1263.
- 3) H. Yamagishi, M. Fukuhara and A. Chiba: Materials Transactions, **51** (2010) pp. 2025-2032.

\*現 産学官連携推進担当

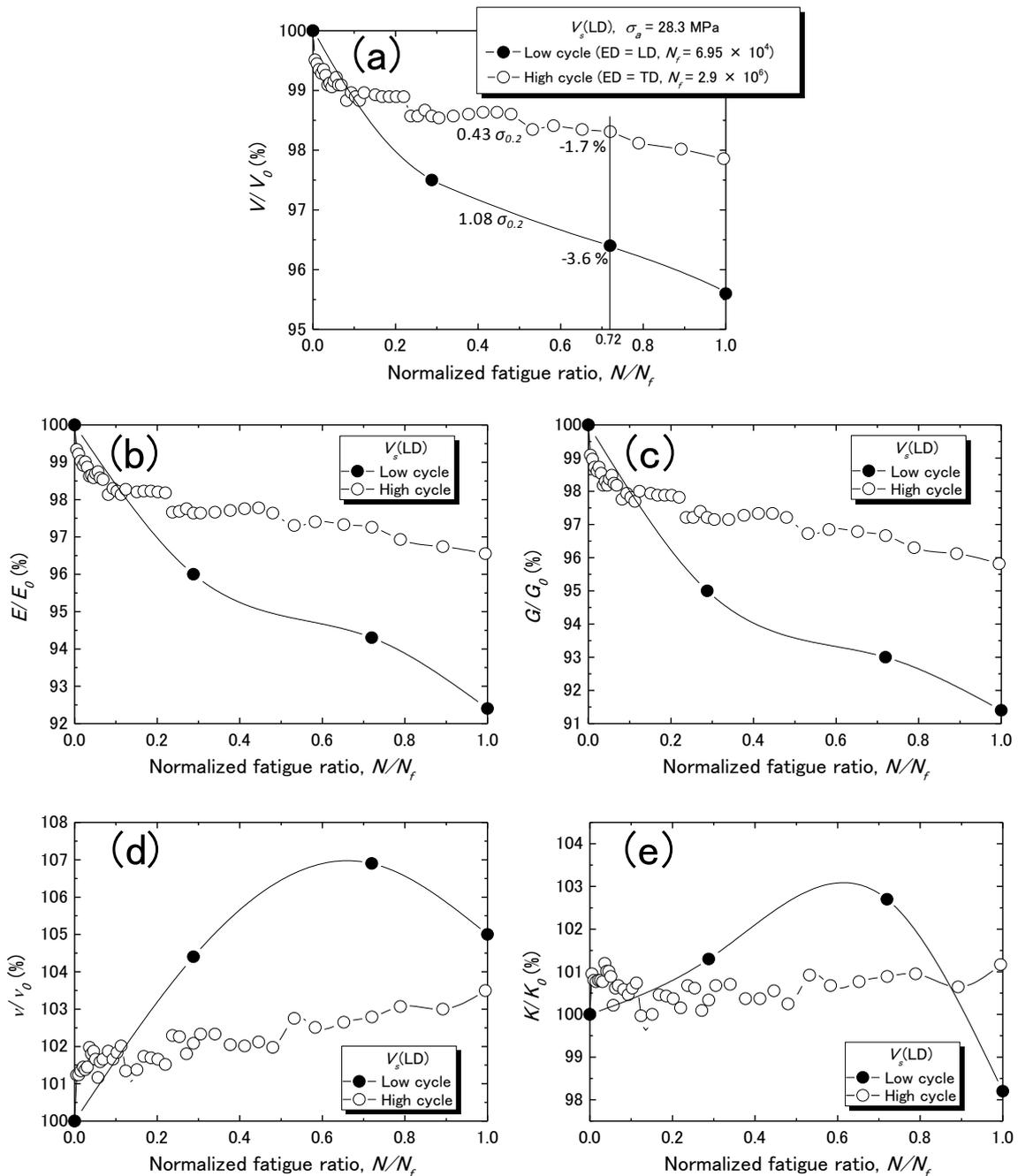


Fig. 1 Change ratios during the low- and high-cycle fatigue in the (a) shear wave velocity, (b) Young's modulus, (c) shear modulus, (d) Poisson's ratio, and (e) bulk modulus with the normalized fatigue ratio,  $N/N_f$ . The deflected surfaces of the shear waves were aligned in the LD.

キーワード：非破壊評価、超音波、金属疲労、力学特性、マグネシウム

## Nondestructive Evaluation of Fatigue Using Ultrasonic Shear Waves

Project promoter; Hideki YAMAGISHI, Evaluation section; Katsuhiko SASAKI

The mechanical behaviors of extruded pure magnesium during high- and low- cycles fatigue at room temperature were investigated using ultrasonic reflection methods with longitudinal and shear waves. The sound velocities and calculated mechanical properties, Young's and shear moduli, decreased by a large percentage with an increased number of cycles. However, Poisson's ratio and bulk modulus increased before a macroscopic crack occurred. The fatigue stress amplitude was normalized using 0.2 % proof strength to provide a reasonable figure for the mechanical property degradation that would accompany the development of void defect mainly caused by cleavage crack. The damage phase data were determined using optical microscopy, scanning electron microscopy, and Vickers hardness tests.