

超磁歪材料における磁歪特性の 負荷履歴依存性

北海道大学[院] (現 住友電工)
北海道大学
北海道大学[院]
北海道大学

学○山口 篤
正 中村 孝
学 中林 正史
正 野口 徹

1. 緒言

基本組成を $\text{Tb}_{0.3}\text{Dy}_{0.7}\text{Fe}_{1.95}$ とした希土類-鉄化合物である超磁歪材料は、外部磁界の印加により最大 0.25% の寸法変化を生じる。これは類似する特性をもつ圧電材料 PZT の 2 倍以上に相当する。この他にも、高応答、低電力駆動、アクチュエーターの直動化・簡素化が可能であるなど、従来の磁歪材料、圧電材料と比較して優れた機能を持ち、この応用開発へ向けた研究が近年盛んに行われている¹⁾。

超磁歪材料の磁気特性に関する研究は数多く報告されているものの、これと機械的特性との相関に関する研究は少ない。そこで、連続駆動に対する磁気機械的な材料特性に関する信頼性を明らかにすべく、まず繰返し負荷による超磁歪材料の磁気機械特性の変化について検討した。

2. 磁気特性試験機の開発

超磁歪材料の磁歪特性を評価するために、磁気特性試験機を開発した。この概略図を図 1 に示す。上下のコイルと純鉄の棒の鉄心で一对の電磁石を構成し、コイルに電流を流すことにより、磁極間に挟まれた試験片に磁界を印加する。試験片の側面に貼ったひずみゲージで磁歪を検出する。

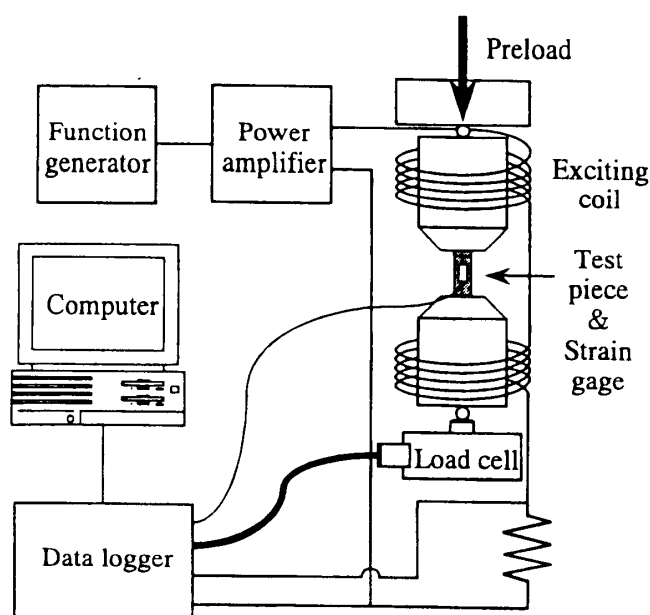


Fig. 1 Measuring apparatus

3. 供試材

供試材には、粉末冶金法により製造された超磁歪材料 $\text{Tb}_{0.3}\text{Dy}_{0.7}\text{Fe}_{1.86}\text{Co}_{0.04}$ を使用した。充填率は 85.3%，すなわち 14.7% の気孔率である。試験片は $\phi 6 \times 15$ の円柱である。

4. 強度試験

繰返し負荷による磁気機械特性の変化を評価する際に、圧縮強度に対する負荷応力の比 (Normalized stress = σ / σ_{CB}) が一つの指標となる。そこでこれに先立って静的圧縮試験、及び圧縮疲労試験を実施した。この結果、圧縮強度 $\sigma_{CB} = 535 \text{ MPa}$ 、ワイブル形状母数 = 22.4、疲労強度 $\sigma_{CW} = 267 \text{ MPa}$ であった。ここでは 10^7 時間強度を疲労強度とした。図 2 に圧縮強度で規格化した圧縮疲労試験の結果を示す。試験条件は応力比 $R=0.1$ 、繰返し周波数 $f=40 \text{ Hz}$ である。

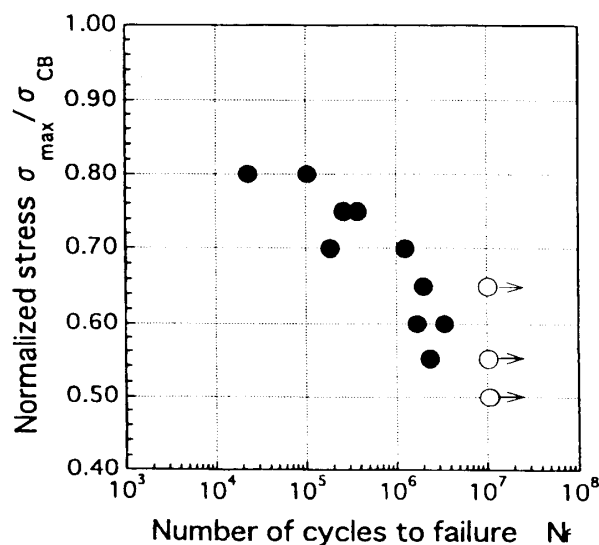


Fig. 2 S-N plot

5. 磁歪特性試験

繰返し圧縮応力負荷前後に磁歪 λ - 磁界 H の測定を行い、繰返し数の増大に伴う磁歪特性の変化を検討する。具体的には、

- (1) 予め各試験片について、磁歪特性試験を行う。
- (2) 疲労試験機にて繰返し圧縮応力を負荷する。
- (3) 合計の繰返し数が規定回数に達した時点で、再び磁歪特性試験を行う。

以下、同一試験片について(2), (3)を繰返す。これを複数の応力レベルで行う。その設定は次の通りである。

Normalized stress {0.20, 0.40, 0.60, 0.80}
 $\times$
 Number of cycles {0, 1, 10^2 , 10^3 , 10^4 , 10^5 , 10^6 }

図3は処女材と、Normalized Stress=0.80で繰返し数1回の試験片の磁歪特性である。±30kA/mの低磁界では両者はほぼ一致しているが、これ以上の高磁界になると負荷を受けたものの方が磁歪の増加が大きい。したがって負荷の影響は、磁壁移動よりも回転磁化による磁歪に強く表れていると考えられる。

図4に負荷の繰返し数と160kA/mにおける磁歪との関係を示す。各応力レベルにおいて、初めの1回の負荷後に磁歪が大きく増加し、それ以降の繰返し数では明瞭な変化は表れていない。

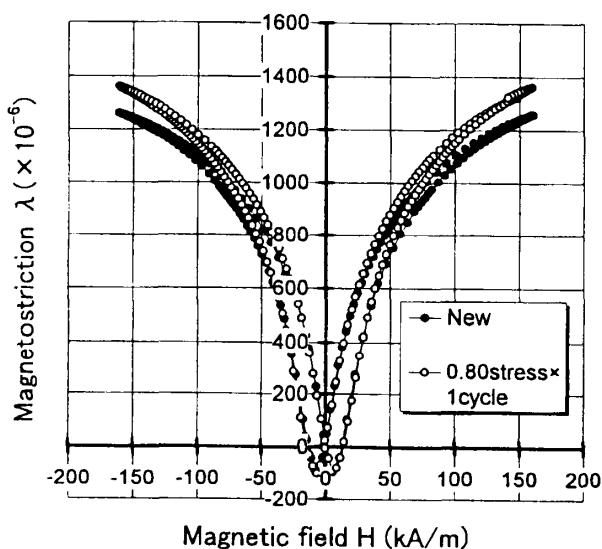


Fig.3 Magnetostriction

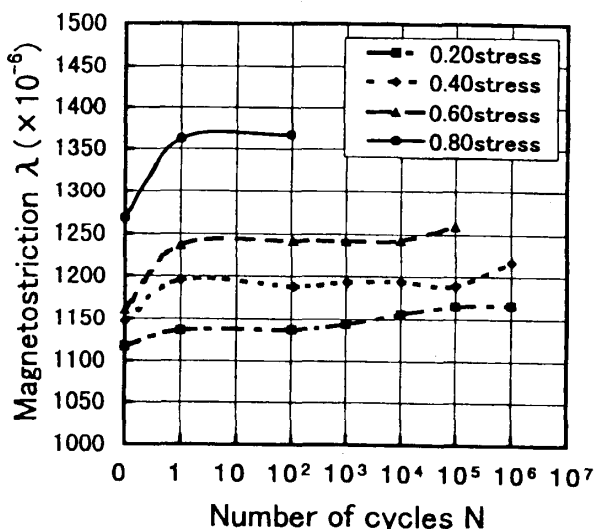


Fig.4 λ -N plot (H=160kA/m)

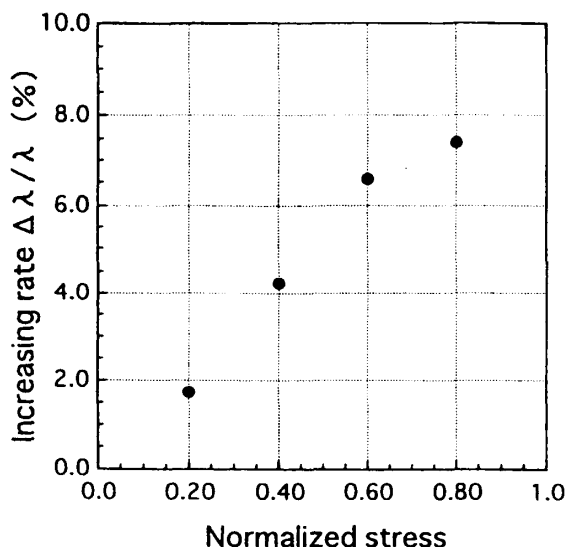


Fig.5 Increasing rate of magnetostriction (H=160kA/m)

図5に初めの1回の負荷前後の、負荷と160kA/mにおける磁歪の変化率との関係を示す。両者はほぼ比例関係にあり、磁歪の変化量は負荷の大きさに多分に依存している。

この磁歪の変化が直接起因しているものとして、機械的損傷による弾性率の低下と、透磁率や磁気異方性定数の増加といった磁気特性の変化が推察される。そこで負荷を1回与えた試験片について、共振法により弾性率を測定したが、負荷の大きさによる差は生じなかった(表1)。

Table1 Influence of load on Young's modulus

σ / σ_{CB}	f_r (kHz)	E(GPa)
0	65.4	30.6
0.20	64.1	29.1
0.40	65.0	30.1
0.60	66.2	31.3
0.80	64.9	30.1

6. 結言

- (1)超磁歪材料に繰返し負荷を与えた場合、一定磁界における磁歪が増加する。この磁歪の変化は負荷の繰返し数ではなくその大きさに依存する。
- (2)負荷による弾性率の変化は生じないことから、磁歪の増加は、弾性率の低下ではなく材料の磁気特性(透磁率、磁気異方性など)の変化に起因している可能性がある。

供試材の御提供、共振周波数測定など、多大なる御協力を頂いた TDK(株)基礎材料研究所森輝夫氏に感謝の意を表す。

参考文献

- I) 例えば江田弘, 精密工学会誌, Vol.60, No.12, 1683(1994)