

超磁歪素子による高周波スピンドルの軸方向加振

○横内 弘宇 正 室蘭工大
竹本 剛 正 (株)牧野フライス製作所

要旨

プリント基盤の小径ドリリング用の高周波スピンドルを対象として、周波数、振幅をそれぞれ KHz, μm オーダーの軸方向加振を実現することを目標にしている。 piezo素子加振法、電磁加振法では振動数及び振幅のうちどちらかが不適合である。超磁歪素子を用いて、非回転条件ではあるが、加振実験を行って有望な結果を得たので報告する。

1. 緒言

これまでの研究において、穴位置の高精度化、ドリルの初期迷走、曲がりの抑制を目的とし、様々な条件において小径ドリルの加振穴あけの効果について検討してきた。その結果、ある範囲の周波数と適当な振幅、例えばスピンドル回転数 60000 rpm、送り $10\mu\text{m}/\text{edge}$ に対して、1~10kHz、2~3 μm 程度の加振穴あけが有効であることが実証された¹⁾。高速回転軸に対し非接触条件で、ドリルスピンドルの piezo素子加振法及び電磁加振法を用いて試験してきたが、これらは振動数及び振幅のうちどちらかが不適合であり、前述の振動条件範囲を満たすことができなかった。本研究はスピンドルシャフト本体に超磁歪素子を挿入する加振法を提案し、その予備試験を行ったものである。

2. 実験装置及び実験方法

プリント基板の穴あけ実験には直径 0.4mm の小径ドリルが使用されており、ドリルスピンドルの回転数は 60000rpm にも達している。スピンドルのシャフトにはエアベアリングが用いられている。従って非接触で振動エネルギーを供給することが必要条件となる。

実験装置は、Fig.1 に示す様に、スピンドルのシャフトに見立てた軸に円筒状の超磁歪素子 ($\text{Tb}_{0.3}\text{-Dy}_{0.7}\text{-Fe}_{1.9}$ 、アメリカ海軍研究所 NOL 開発、以後 TERFENOL-D と呼ぶ) を組み込み、その周囲に磁界発生用のコイルを配した。また漏洩磁界の防止や磁歪素子の磁束密度分布の均一化を図るため、コイル及び磁歪素子の端面には磁気ヨークを配置した。

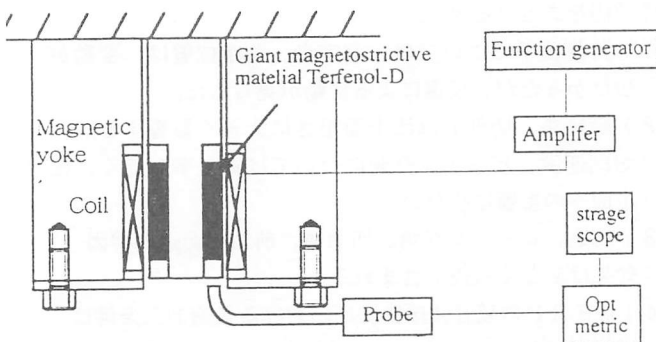


Fig.1 Vibrant drilling spindle model for experiment

高周波交流磁界によって、導体である磁歪素子に渦電流が生じ、ジュール熱を発生させ、出力損失をもたらす。そのため、Terfenol-D を積層化することによって渦電流に対する限界周波数の向上を試みた。 Fig.2 に磁歪素子の厚みに対する限界周波数を示す²⁾。

実験は、Fig.3 に示すような普通円筒型と積層円筒型の2種類の超磁歪材料を使用した。又、素子は黄銅製のスピンドルシャフト($\phi 10\text{mm}$)座面に接着させる。軸端で

固定する場合 (with load) と自由にする場合 (without load) との違いを比較した。

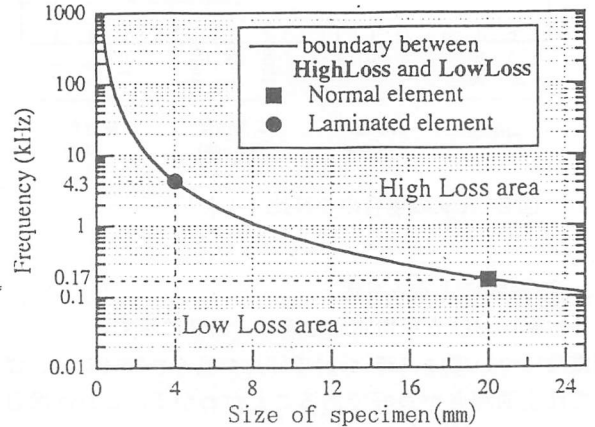


Fig.2 Limit Frequency vs. thickness of Terfenol-D

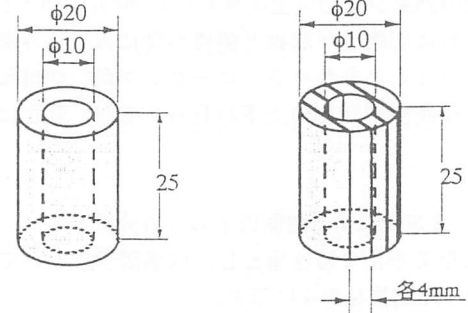


Fig.3 Size of Terfenol-D

又、Fig.4 に示すように磁歪素子の特性から、コイルに交流電流と共に直流電流を重複させ、発生磁界にバイアスを与える。磁歪素子の歪みを大きく、振動波形の歪みを小さく出来る。直流電流を 0A, 2.5A, 5.0A と3段階に変化させ、バイアス磁界を 0 Oe, 300 Oe, 600 Oe と変化させた。

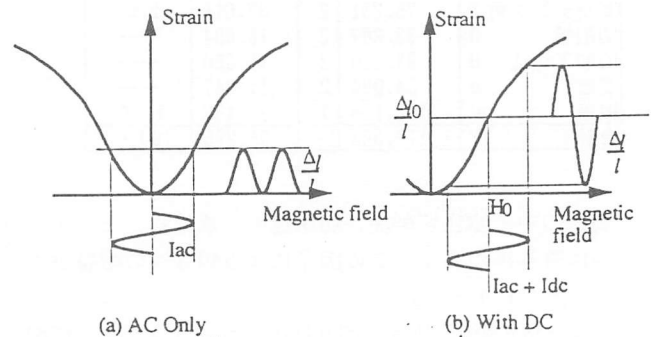


Fig.4 An effect of bias magnetic field

実験は通常型と積層型の Terfenol-D を用いて、外部

ヨークの有無について、またバイアス磁界の有無について、ロッド素子にかかる負荷の有無についてをそれぞれ組合せて行った。測定はコイルに加える入力周波数と入力電流をそれぞれ変化させて、Terfenol-Dの振動数、振幅 (Optmetric OM-15D, ㈱サテック製)、コイルに流れる電流と電圧を測定した。これらの結果から、磁歪振動系のインピーダンス、インダクタンス、磁界の強さ磁歪特性曲線等を計算した。

3. 実験結果及び考察

Fig5は300巻コイルにおける積層型と普通型素子の、振幅と振動数の関係を示したものである。高周波域での振幅は、積層型の方が通常型を上回っている。Fig2にあるように渦電流限界周波数は通常磁歪素子の場合170Hzであるが、積層素子は4.3kHzまで向上している。しかしながら、積層磁歪素子も通常磁歪素子と同様に周波数の増加と共に振幅が減少している。これは、周波数を増加させることにより、コイルのインピーダンスが増加する為である。

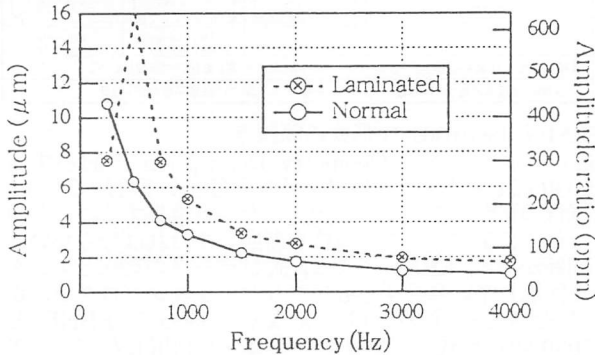


Fig. 5 Amplitude vs. Frequency (Hz)

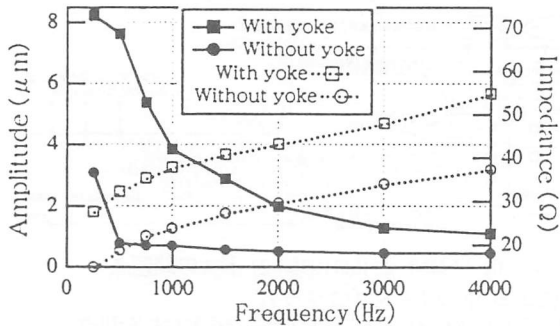


Fig. 6 Amplitude vs. frequency with and without magnetic yoke

Fig6はヨークの効果を示している。ヨークのない場合は空気中への磁束漏洩が多いと考えられる。また、磁気ヨークを配置することでコイルのインダクタンス、インピーダンスが増加して電流値はおちるのであるが、振幅は結果的に増大している。

Fig. 7は500Hzで振動時に負荷のあるなしの状態での磁歪物性曲線を示す。軸負荷のかかる場合の方が歪率は2倍ほど大きい。端部固定の素子は、中心を通っている真鍮も同時に歪ませる。素子に圧縮応力がかかり、その結果、磁歪素子の透磁率が上昇し磁歪率を増大させていると思われる。また、両方のグラフで、全ての条件で積層磁歪素子の歪みが通常磁歪素子をわずかに下回っている。接着層によるロスとも考えられるが確かではない。

次にバイアス磁界の効果を示したグラフをFig. 8に示す。DCバイアス5.0Aにおいては磁界をかけすぎになったものであろう。

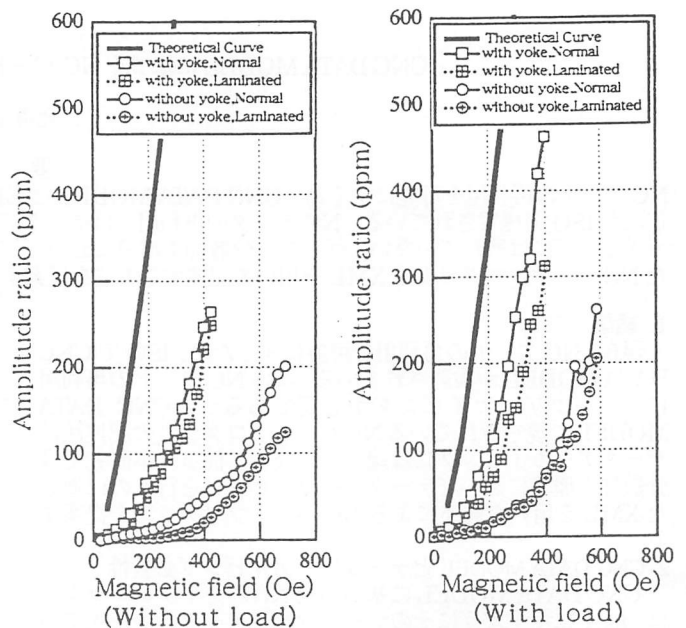


Fig. 7 Magnetostrictive curve

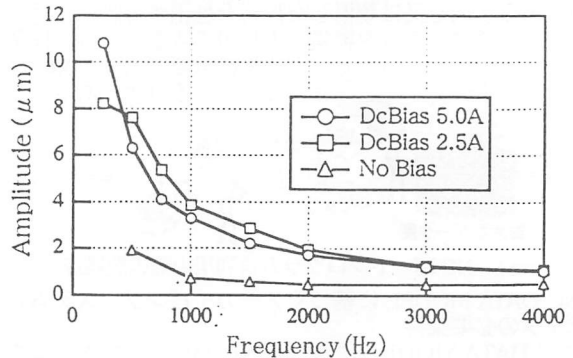


Fig. 8 Amplitude vs. frequency with Bias magnetic field

Terfenol-Dはバイアス磁界、素子の圧縮応力、コイル系のインダクタンス、素子の寸法、磁気回路の設計等の小さな変化によって、透磁率や磁気特性が大きく変化するため、その性能を出しきることは難しい。しかしながら今回の実験で、目標であったkHz単位で数μmの振幅が達成されたため、磁歪素子を用いた高周波加振スピンドルの実現の可能性は大きい。

又、永久磁石を用いれば、装置の簡略化とともに、コイルの発熱も抑えることができる。

4. 結言

以下のような結論を得た。

- (1) 積層型 Terfenol-D によって渦電流損失を低減させ、より高い周波数域で有効な振動振幅を得ることができた。
- (2) 磁気回路を最適化することにより、磁束漏洩が減少し磁束密度が向上した。
- (3) 素子に対する圧縮応力によって、素子の磁歪特性が向上した。

参考文献

- 1) 古屋誠司：小径ドリリング用高周波スピンドルの軸方向加振に関する研究，室蘭工業大学修士論文(1994)
- 2) 江田弘：超磁歪材料，日刊工業新聞社，(1995. 10)