

室工大 ○竹本 剛、横内 弘宇

北海道沖電気システムズ 得能 妃登美

要旨

小径ドリル用高周波スピンドルの軸方向加振は、ドリルの直進性を得る方法として有望である。しかしながら、妥当な振動数及び振幅の範囲において有効な通常加振法はない。そこで超磁歪素子を用いる加振機構を発案し、必要な基礎研究を行った。

1 緒言

近年、電子部品は多機能化、高性能化、高集積化、小型化などの技術進歩が進み、同時にプリント基板の穴あけにおいても小径化が進み高アスペクト比(穴深さ/穴径)化が不可欠となった。これまでの研究では、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、様々な条件に置いて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 μm/rev・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。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った。そこで本研究ではスピンドルのシャフト本体に超磁歪素子を挿入する加振法を提案し、予備試験を行った。

2. 実験装置及び実験方法

実験装置は、エアベアリングを持つスピンドルへの適用を目的とするため 図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 (TERFENOL-D, Tb_{0.3}-Dy_{0.7}-Fe_{1.9}) 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置いた。

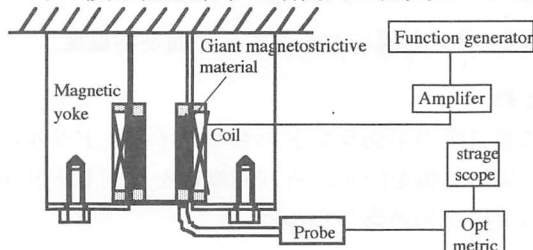


図1. 実験装置の概略図

振動子として用いた超磁歪素子は外部からの磁界による磁歪現象が非常に大きいことを特徴とする材

料である。しかし、これまでの研究では超磁歪材料を高周波域で使用した場合、渦電流損失が問題となっていた²⁾。渦電流によってジュール熱が発生し、エネルギー損失、出力損失を起こし、素子の特性を十分得ることが出来なかった。このような損失を防ぐため、超磁歪素子を積層化することによって渦電流による損失を減らし、限界周波数(図2)の向上を試みた。

実験は、図2 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。



普通円筒型(200Hz)

積層円筒型(4000Hz)

図2. 超磁歪材料の形状 (φ 20×φ 10×25mm)

駆動用コイルには 250~4000 Hz の 8 種類の周波数を与え、超磁歪材料の振動数、振幅、コイルの電圧、電流を測定した。駆動用コイルは電源の電流量を考慮してインピーダンスを約 7 Ω に抑え、それぞれの周波数に対応するよう巻数と素線径を変えて 10 種類用意した。各コイルの仕様を Table 1 に記す。

表1. コイルの仕様

巻線数	巻線径φ (mm)	DC抵抗 (Ω)	自己インダクタンス (mH)	想定周波数 (Hz)
100	1	0.4	1.71	6500
128	0.8	0.65	2.81	4000
160	0.8	0.7	4.39	2500
210	0.6	1.4	7.56	1500
276	0.6	0.6	13.05	1000
300	0.5	2.5	15.42	750
350	0.5	2.8	20.99	500
400	0.5	3.4	27.42	400
546	0.4	6.2	51.09	250
670	0.4	8	76.93	150

3. 実験結果及び考察

図3~4は 300 巻コイルにおける積層型と普通型素子の、振幅、磁界、コイルのインピーダンスの関係を

示したものである。超磁歪素子の伸びは2種類の素子の間で大きな差は見られなかった。むしろ、積層型は接着剤の層の分は負荷となり、磁歪素子の伸びは普通型よりも小さくなる¹⁾。また、普通型は発熱し短時間での試験であるが、積層型ではそのような現象は見られなかった。よって積層化することにより渦電流を減少させ、高周波での加振が可能になった。

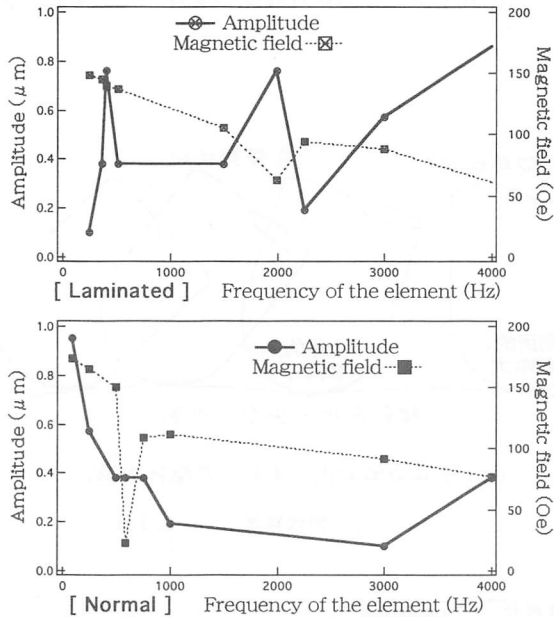


図3.磁界及び振幅の周波数特性

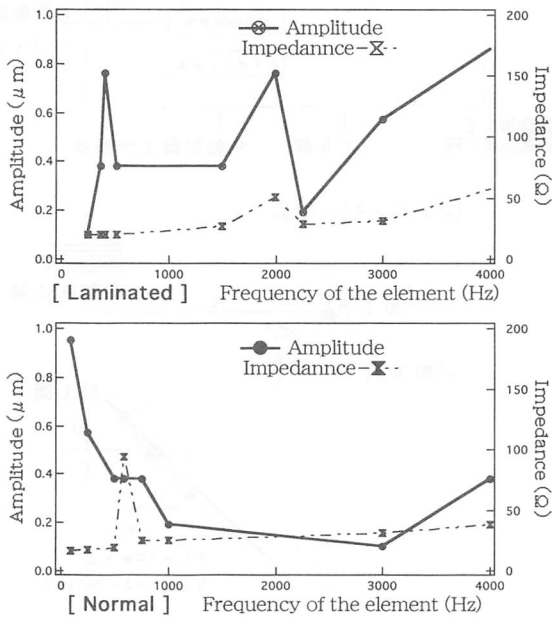


図4.インピーダンス及び振幅の周波数特性

磁歪は磁界の大きさによって変化する。図3によれば一般に磁界は周波数が高くなるにつれて低下する。しかし素子の振幅は必ずしもそれに対応しない。一方

図4によれば、振幅はコイルのインピーダンスに対応して変化している。

与えられている磁界に対して kHz オーダの周波数域での振幅は、素子の静的特性から得られるもの比べて半分以下である。また、磁界に反した振幅や、入力周波数が渦電流限界周波数を超えているにも関わらず所々で突如大きな振幅が見られるのは、ロッドを含めた振動系の共振周波数 f_r 、反共振周波数 f_a によるものと思われる。素子の特性より、コイルのインピーダンス特性曲線(図.5)が最大のときに共振周波数 f_r となり、磁界が小さくなるにも関わらずロッドは大きな振幅を見せる。また、インピーダンスが最も減少した周波数で反共振周波数 f_a となり磁界が大きいにも関わらずこの時のロッドの振幅の値はとても小さなものとなる。

今回のように、広い周波数域で素子を振動させた場合磁気機械結合係数の影響より全ての周波数で大きな磁歪を期待するわけにはいかない。磁気機械結合係数は共振、反共振周波数によってその値が決まり、素子の締結状態、コイル電源系のインピーダンス等によって異なった値をとる。以上のことを考慮して目標の周波数域によく合致した磁気回路とコイルの設計が必要である。

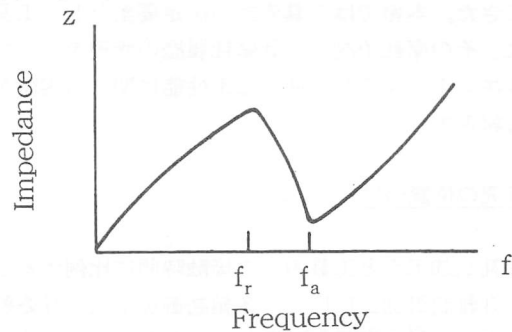


図5 インピーダンスとコイルの周波数の関係

4. 結言

本研究では、積層型と普通型の超磁歪材料の様々な条件における磁歪の違いと高周波域での適性のついて比較検討し、以下のような結論を得た。

- (1) 積層化超磁歪材料によって渦電流損失を低損失に抑え高周波域での加振が可能となった。
- (2) 広い周波数域で超磁歪素子を用いる場合、磁気結合係数を考慮して共有、半共有振動数に注意しなければならない。

次に磁界強さの大きい範囲での実験を計画している。

参考文献

- 1) 江田弘：超磁歪材料,日刊工業新聞社,(1995.10)
- 2) 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,室蘭工業大学学位論文,(1997.1),3