

パルス磁場 EMAT の開発と構造材料を対象とした状態監視への適用

Development of EMAT with pulse electromagnet applied to condition based maintenance for constructive materials

大阪大学大学院工学研究科 大塚 裕介 Yusuke OHTSUKA Non- member
大阪大学大学院工学研究科 西川 雅弘 Masahiro NISHIKAWA Non- member

A pulse electromagnetic acoustic transducer (pulse EMAT), with an induction coil replacing the conventional magnet, has been developed in order to increase transmission amplitude of ultrasonic waves. Using a pulse generator, a current of approximately 100 A was passed through the induction coil for 25 μ s, and a surface SH wave was transmitted during induction. As a result, the observed detection signal for the pulse EMAT was 20% of that of an EMAT with a periodic permanent magnet (PPM) structure. The time taken to reach the receiver was the same for the pulse EMAT and PPM structure EMAT, and the received wave had equivalent profiles when normalized. Furthermore, the magnetic field magnitude ratio of pulse EMAT and PPM structure EMAT were found to match the magnitude ratio of the received fields.

Keywords: Electromagnetic Acoustic Transducer,, SH Wave, Ultrasonic Wave

1. 緒言

非破壊検査技術のひとつである超音波探傷において、 piezo素子を用いた探触子が通常よく利用されているが、探触子と測定対象物との間には、音波の伝播が良くなるように接触媒体を必要とする。その一方、電磁超音波探触子 EMAT は、導電性の試験体に直接超音波を発生させる方法であるため、接触媒体が必要なく、原理的には非接触で使用できる特徴を有している[1]。それゆえ、接触媒体の状態によって超音波の伝播状況が左右されるということがなく、長時間の使用によっても再現性の高い超音波送受信の結果を得ることができ、高温環境下においても使用できる。しかしながら、EMAT がこれまで幅広く利用されてこなかったのは、送信感度および受信感度が圧電素子と比べて非常に小さかったためである。

今回、我々は、出力を向上させるために全く新しいタイプのパルス磁場 EMAT を提案する。パルス磁場 EMAT では磁石の代わりに電磁石を用いており、超音波を発生するコイルと組み合わせても非常に薄く軽量化できる。そして、この試作したパルス磁場 EMAT で超音波送信の実証を行い、その超音波出力特性について調べた。

2. パルス磁場 EMAT の超音波出力特性

2.1 パルス磁場 EMAT の構成

パルス磁場 EMAT は、磁石を電磁石に置き換えた構成であり、磁石型 EMAT に比べて薄く軽量化できる特徴がある。Fig. 1 にパルス磁場 EMAT の断面を示す。パルス磁場 EMAT は、2つのコイルから成り立っており、磁石の代わりに励磁を行うための励磁コイルと試験片に渦電流を発生させるための送信コイルを重ねている。送信コイルに対して x 方向に高周波電流を流す場合、励磁コイルには y 方向に電流を流す必要がある。励磁コイルでは、電流の流れる向きが入れ替わる位置で材料表面を垂直に横切る磁場 B_z の大きさは最大となる。したがって、パルス磁場 EMAT では、コイル幅 d を、磁石によって周期的な磁場構造を持つ PPM 構造 EMAT の磁石幅と同じにすることで、PPM 構造 EMAT と同様の超音波指向性を持たせることが可能であると考えられる。

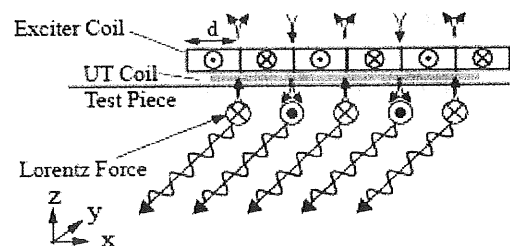


Fig.1. Conceptual diagram of ultrasonic wave transmission by a pulse EMAT

連絡先:大塚裕介、〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1、大阪大学大学院工学研究科、電話: 06-6879-7867、e-mail:ohtsuka@eie.eng.osaka-u.ac.jp

2.2 超音波出力特性

定常磁場を生じさせるために、磁石の代わりに電磁石とした励磁コイルに電流を流し続けると、励磁コイルが発熱してしまう。その一方、超音波は間欠的に発生させ送信しているの、コイルの発熱を避けるためには、超音波を送信している間だけ定常磁場を得るように電流を流せばよい。そこで、パルス的に電流を流す電源回路を組立て、励磁コイルに接続してその特性を調べた。励磁コイル両端電圧の立ち上がり時間は、 $2\mu\text{s}$ であった。その後約 $25\mu\text{s}$ の時間電圧を一定に維持していた。本研究では、超音波を発生させる時間は $15\mu\text{s}$ 以下であるので、電流が一定となり定常磁場を生じさせる時間が $25\mu\text{s}$ であれば十分である。それゆえ、定常磁場が生じているタイミングで送信コイルに高周波電流を流せば、PPM 構造 EMAT と同様に超音波が発生させることができると考えられる。

パルス磁場 EMAT を送信器として超音波の受信強度を調べた。受信器には PPM 構造 EMAT を使用した。また比較として、PPM 構造 EMAT でも超音波の送信を行った。送信器と受信器は同一平面状に配置し、送受信間距離を 200mm とした。送信周波数は 510kHz とし表面 SH 波を発生させた。受信波形を Fig. 2 に示す。パルス磁場 EMAT で送信した受信波形の peak-to-peak は 0.27V 、PPM 型 EMAT は 1.39V であったので、パルス磁場 EMAT と PPM 型 EMAT の受信強度比は約 0.2 倍となった。また、第一到達波は同じタイミングで受信されていた。Fig. 3 は、パルス磁場 EMAT と PPM 構造 EMAT に対する第一到達波の受信波形をその波形の最大値で規格化した結果である。パルス磁場 EMAT で送信した超音波の受信波形は、PPM 構造 EMAT で送信した受信波形と非常によく一致している。これらの結果から、パルス磁場 EMAT は、励

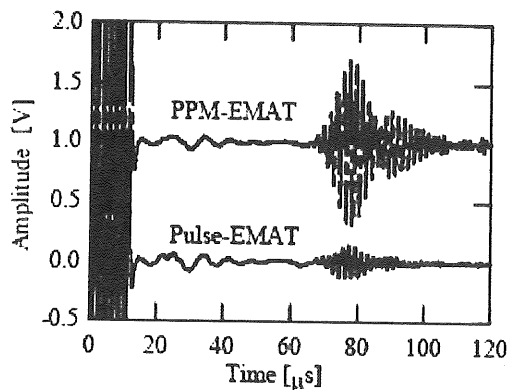


Fig.2. Detection wave profile.

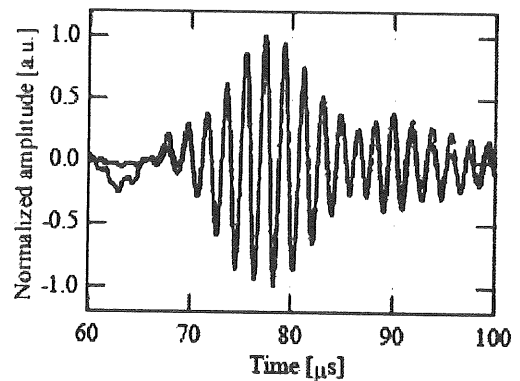


Fig.3. Normalized detection wave profile.

磁コイルにパルス的に電流を流して励磁を行い、超音波を送信できることがわかった。

3. 結言

永久磁石を励磁コイルに大電流を流す方式に置き換えた新しい EMAT を提案した。定常的に電流を励磁コイルに流すと発熱してしまうため、超音波を送信する時間だけ励磁を行える電源回路と組合せ、励磁コイルを接続し電流を流したところ、 $25\mu\text{s}$ の時間約 100A の電流が一定に流れておりパルス的に磁場を発生させることができた。この励磁コイルと送信コイルを組み合わせ EMAT を製作し表面 SH 波を発生させた。パルス磁場 EMAT と PPM 構造 EMAT で送信した超音波の受信波形を比較したところ、パルス磁場 EMAT の送信強度は PPM 構造 EMAT の 20% であり、受信波形の形状は非常によく一致していた。このことから、励磁コイルと送信コイルとの相互誘導や、パルス磁場による超音波発生への影響はなく、励磁コイルにパルス的に電流を流し超音波を発生させるパルス磁場 EMAT は、PPM 構造 EMAT と同じように超音波を発生できることを明らかにした。今後、さらに励磁電流を流すことでパルス磁場 EMAT の出力を向上できることが期待できる。

参考文献

- [1] Y. Kurozumi et. al, "Performance characteristics of electromagnetic generation and detection of shear horizontal waves by electromagnetic acoustic transducers", Material Evaluations, Vol.59, No.5 (2001) pp.638-644