

# 高温铝合金仅线圈式电磁超声检测方法研究

程施文<sup>1</sup>, 石文泽<sup>1</sup>, 卢超<sup>1</sup>

(1.南昌航空大学无损检测教育部重点实验室, 江西 南昌 330063)

**摘要:** 针对传统永磁体式电磁超声换能器(Electromagnetic Acoustic Transducer, EMAT)在高温检测过程中需要对永磁体进行冷却以避免达到居里温度时剩余磁感应强度消退、永磁体易吸附铁磁性颗粒导致换能效率下降、脉冲电磁铁式EMAT体积较大无法适合狭窄区域检测且持续耐高温能力有限、增加EMAT提离而导致信噪比差等问题, 开展了高温仅线圈式EMAT的理论建模、影响因素与规律分析和实验研究。以仅线圈式螺旋线圈EMAT为例, 建立了高温铝合金仅线圈式EMAT检测过程的多物理场场路耦合分析有限元模型, 分析了高温对检测回波的影响; 分析了线圈导线直径、线圈外径、谐振电感电容值对于检测回波的影响; 研制了高温持续检测的仅线圈式EMAT及其检测电路, 并进行了常温至450°C的铝合金试样检测。实验结果表明: 所研制的仅线圈式EMAT及其检测仪器至少可以实现450°C高温持续在线检测; 高温会造成检测回波幅值下降。

**关键词:** 金属材料; 电磁超声换能器; 仅线圈式EMAT; 高温检测; 场路耦合分析

## Study on coil-only EMAT method of high temperature metal materials

Cheng Shiwen<sup>1</sup>, Shi Wenzhe<sup>1</sup>, Lu Chao<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Nondestructive Testing, Nanchang Hangkong University, Ministry of Education, Nanchang 330063)

**Abstract:** In response to the problems of traditional permanent magnet Electromagnetic Acoustic transducer (Electromagnetic Acoustic Transducer, EMAT), such as the need to cool the permanent magnet in order to avoid the loss of residual magnetic induction at Curie temperature, the decrease of energy transfer efficiency due to the easy adsorption of ferromagnetic particles by the permanent magnet, the pulsed electromagnet type EMAT is too large to be suitable for narrow area detection, the problem of signal-to-noise ratio difference caused by the increase of EMAT lift-off. The theoretical modeling, the analysis of influencing factors and laws, and the experimental research of coil-only EMAT at high temperature were carried out. Taking coil-only coil EMAT as an example, the multi-physical field-circuit coupling analysis finite element model of high temperature aluminum alloy coil-only EMAT testing process is established. The effects of high

---

temperature on the detection echo are analyzed. The effects of coil wire diameter, coil outer diameter and resonant inductance capacitance on the detection echo are analyzed, and the coil-only EMAT and its detection circuit for continuous detection at high temperature are developed, and the aluminum alloy samples are tested at room temperature to 450°C. The experimental results show that the coil-only EMAT and its detecting instrument can realize continuous on-line detection at high temperature of at least 450°C. High temperature will cause the amplitude of the detection echo to decrease.

**Keywords :** Metal material; Electromagnetic Acoustic transducer; Coil-only EMAT; High temperature detection; Field-circuit coupling analysis

## 1 研究背景

高温高压管道工作环境苛刻，材料易发生腐蚀减薄、环境开裂、材质劣化。如果不定期进行高温检测，不仅会产生严重的安全隐患，还会造成严重的安全事故。因此，急需对高温构件进行在线无损检测与监测，及时发现缺陷并减少安全事故的发生。

由于传统永磁体式 EMAT 存在换能效率低，探头体积大、难以实现狭小区域检测、在高温检测中达到居里温度时永磁体剩余磁感应强度消退、增加高温 EMAT 提高而导致信噪比差[1]等问题。采用仅线圈式 EMAT 这一配置形式，即通过单个线圈实现超声波的激励和接收，只要解决高温 EMAT 线圈绕制和阻抗稳定性等问题，即可实现高温持续在线无损检测与监测，且探头体积小，适用于狭小区域等探头不可达区域的检测。鉴于此，本研究以高温铝合金为研究对象，开展了高温仅线圈式 EMAT 技术的理论建模、影响因素与规律分析和实验研究。

## 2 研究内容

本文主要工作为高温下仅线圈式电磁超声检测方法的研究。通过采用 Proteus 与 COMSOL 仿真软件进行联合仿真，研制了分时放电仅线圈式电磁超声检测电路，针对线圈导线直径大小、外径大小、谐振电感大小、温度对接收信号的大小影响做出了理论分析和实验验证，检测系统如图 1 所示。



图1 高温仅线圈式 EMAT 检测系统

仅线圈 EMAT 参数优化实验中，线圈外径为 $\Phi 25\text{mm}$  时不同线径回波信号如图 2 所示，其中 B2 与 B3 分别是二次和三次底波。线圈线径为 $\Phi 0.25\text{mm}$  时不同线径回波信号如图 3 所示。线圈外径 $\Phi 25\text{mm}$  线径 $\Phi 0.55\text{mm}$  不同谐振电感回波信号如图 4 所示。

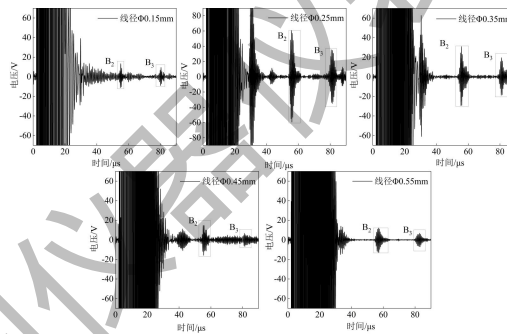


图2 线圈外径为 $\Phi 25\text{mm}$  时不同线径实验回波信号

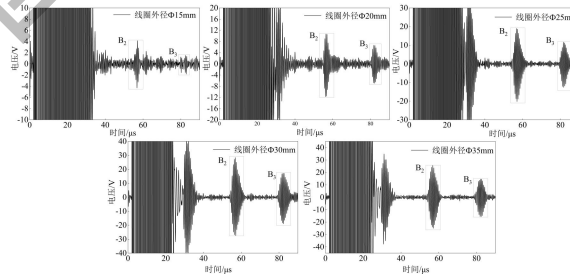


图3 线圈线径为 $\Phi 0.25\text{mm}$  不同外径实验回波信号

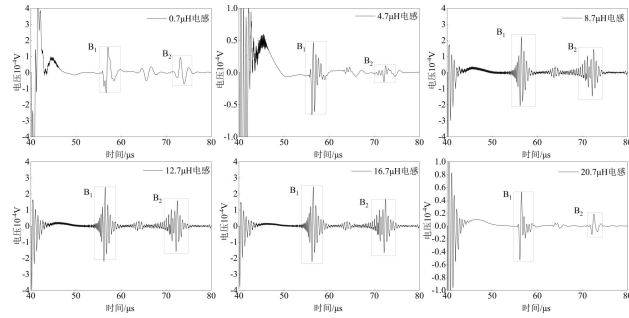


图4 线圈外径 $\Phi 25\text{mm}$  线径 $\Phi 0.55\text{mm}$  不同谐振电感实验回波信号图

高温实验中不同温度下对应的仅线圈式 EMAT 检测回波如图 5 所示。随着温度的增加，二次底波 B2 的峰峰值逐渐减小，由  $20^\circ\text{C}$  时的  $254.34\text{mV}$  下降到  $450^\circ\text{C}$  时的  $68.31\text{mV}$ 。

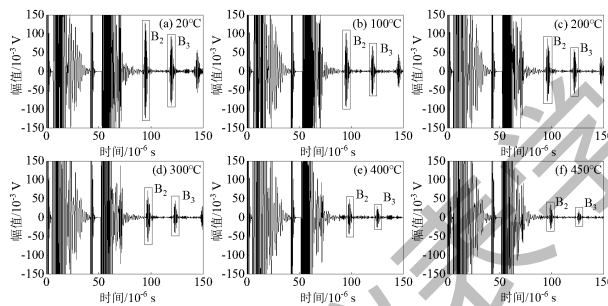


图5 不同温度下的实验回波信号图

### 3 结论

(1) 本研究研制的仅线圈式 EMAT 及其检测仪器至少可以实现  $450^\circ\text{C}$  高温持续在线检测。提出了一种分时放电激励的仅线圈式 EMAT 检测电路，该检测电路通过施加低频类直流和高频高压电流的叠加实现电路的导通，摒弃了传统的永磁体，能够在复杂环境检测。

(2) 开展了仅线圈式 EMAT 参数优化设计研究，得出了线圈导线直径与线圈外径对于超声回波信号的影响规律是一致的：在一定条件下超声回波信号随参数的增加呈先增大后减小的趋势。谐振电感对于超声回波信号的影响规律是：在一定条件下超声回波信号随着谐振电感值的增大呈先减小后增大最后再减小的趋势。

(3) 高温检测中，高温会造成检测回波幅值下降。

### 参考文献

[1] HERNANDEZ-VALLE F, DIXON S. Initial tests for designing a high temperature EMAT with pulsed elec-tromagnet [J]. NDT & E International, 2010, 43(2): 171-175.