

Research on Heat Effect of $\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ De-Icing Magnetic Material

Cheng Chen¹, Rong-chang Ye, Yi Long

¹School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing, China, 100083

Email: Jay_612@126.com

Abstract: In this paper, research on the heat effect of the $\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ de-icing magnetic material. Differential Scanning Calorimetry (DSC) measurement shows that the Curie temperature of the $\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ compound is $T_c=284.98\text{K}$, which is just above the freezing point and is more suitable for de-icing. The heat effect of the compound around 273K was measured with a self-made device under different magnetic fields ($H=4750.9, 4257.0, 3563.2, 2969.3 \text{ A/M}$). Results show that $\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ compound is a potential candidate for de-icing.

Keywords: De-icing magnetic material; Curie temperature; Heat effect

防覆冰磁性材料 $\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ 热效应的研究

陈 城, 叶荣昌, 龙 毅

(北京科技大学, 材料学院, 北京, 中国, 100083)

Email: Jay_612@126.com

摘 要: 针对防覆冰磁热材料 $\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ 在交变磁场中的热效应进行了研究。结果表明, 一方面材料居里温度 ($T_c=284.98\text{K}$) 已达到覆冰要求, 可以有效的减少高温时输电导线的热量损耗; 另一方面材料发热量随磁场强度上升逐步增加, 但总体上仍未能满足除冰要求。具体改进方法有待在后续工作中进一步深入探讨。

关键字: 防覆冰磁热材料; 居里温度; 热效应

1 引言

输电线路因受冬季危害通常容易引起严重的断线、塔杆倒塌、大面积停电、限电等事故。不仅对电力系统的安全运行造成了严重威胁, 并且对社会和经济也造成了巨大的损失。然而现有除冰方法仍存在着诸如除冰效果差、操作成本高、操作方法复杂等一系列的缺陷。^[1-4]

低居里点磁热除冰技术因其随温度改变能够自动融冰的能力而收到越来越多的关注。这类材料具有两个重要指标: 一个是较低的居里温度, 可以使材料在温度较高的情况下进入顺磁状态, 从而有效地减少输电线路热量损耗; 另一个是较大的饱和磁感应强度, 可以使材料在交变磁场中产生较高的热量来支持融冰过程。

$\text{La}(\text{Fe},\text{M})_{13}$ 系合金是一种新型的磁制冷材料, 具有出色的饱和磁感应强度和可以调节的居里温度。因此, 本文选择制备了

$\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ 材料并研究了其作为防覆冰

磁热材料的可能性。

2 实验材料

防覆冰磁热材料 $\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ 采用纯度高于 99.99% 的 La、Fe、Co、Si、C 作为原料而成 (其中稀土元素按烧损系数 10% 配比), 采用中频感应炉冶炼制备合金, 水冷铜模浇注成锭。然后, 将铸锭放入石英管中抽真空达 10^{-3}Pa 后密封, 采用冰水淬火, 获得具有 NaZn_{13} 结构的磁性材料。

3 实验仪器及设备

中频感应炉, 箱式退火炉, 日本精工公司 EXSTAR6220 高感度型 DSC, 769yp-100f 粉末压片机, 自制磁性材料融冰能力测定装置

4 实验方法

首先在材料中心部位取块状试样 (20mg 左右) 放入 DSC 中, 进行材料居里温度的测量。然后将材料捣制成粉, 粉的粒度控制在 0.1mm-0.3mm 之间, 合格的磁粉在压机中压制成 $D = 26 \text{ mm}$, $d = 16 \text{ mm}$, $h = 8.5\text{mm}$ 的环形试样。最后在环上均匀地绕上铜制线圈, 采用自制磁性材料融冰能力测定装置进行材料热效应的测量。

实验中采用升温法测量磁性材料在交变磁场中热效应, 并选用乙醇作为测量介质。具体实施方法如下, 首先, 将一定质量的待测样品放入装有一定质量乙醇的样品室内, 调整样品室内乙醇温度至 0°C 附近, 并将其装入低温室内, 待体系状态稳定后, 加载一定强度交变磁场, 则由于磁损耗生热, 样品室内水的温度上升, 通过测量一定时间间隔内样品室内水的温度变化, 即可确定待测样品在一定强度交变磁场中的发热功率。计算公式如下:

$$P_{total} = \sum mc\Delta T / \Delta t = (m_{cup}c_{cup} + m_{sample}c_{sample} + m_{media}c_{media} + m_{copper}c_{copper})\Delta T / \Delta t \quad (1)$$

在总发热功率的基础上减去线圈在交变磁场中产生的发热功率, 即可得到磁性材料的发热功率。

$$P_{sample} = P_{total} - P_{coil} \quad (2)$$

将样品的发热功率除以样品质量, 即可得到样品的单重发热值, 这样便可方便地比较不同材料的热效应大小。

$$P_{um} = \frac{P_{sample}}{m} = \frac{P_{total} - P_{coil}}{m} \quad (3)$$

5 实验结果及讨论

5.1 组织结构分析

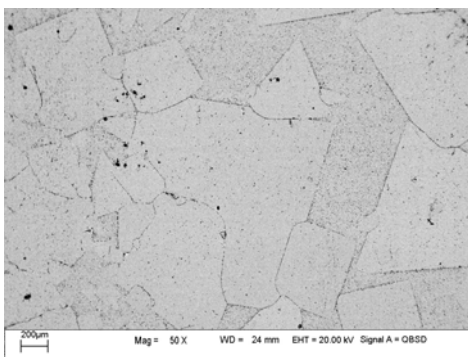


Figure 1. Back Scattering Electron images of $\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ after annealed three days

采用扫描电镜对 $\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ 材料在 1100°C 下, 真空退火三天后的的组织结构进行显微关产, 背散射电子照片如图 1 所示, 从图中可以看出不存在 $\alpha\text{-Fe}$ 相区域偏析和富 La 相, 生成了较纯的灰色基体 1: 13 相, 为较好的磁性能奠定了组织基础。

5.2 居里温度的测量

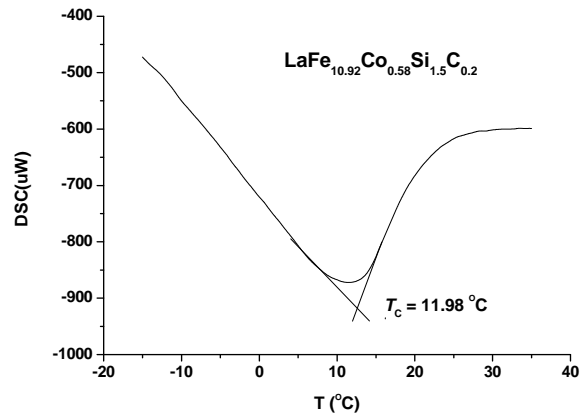
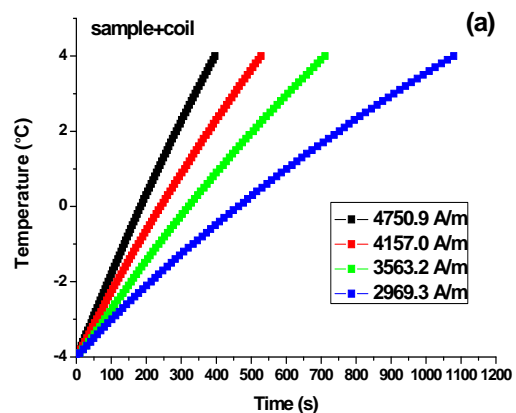


Figure 2. the DSC curve for sample at the heating

样品的 DSC 曲线结果如图 2 所示。曲线在 11.98°C 点上有一个明显的吸热峰, 说明此处发生了磁性转变。由此可知, $\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ 材料的居里温度为 11.98°C (284.98 K) 左右, 这个值正好符合防覆冰材料的要求。

5.3 热效应的测量

在不同大小的交变磁场下测量样品的热效应, 如图 3 所示, 温度随着时间连续上升, 并且随着磁场的增大, 升温速率也相应增加。



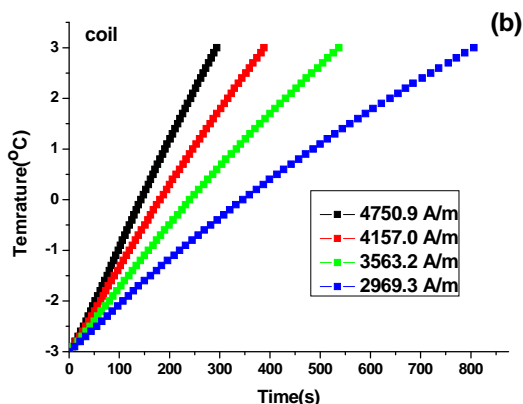


Figure 3. Temperature-time curves (a) sample + coil, (b) coil

通过上述公式计算出 $\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ 材料在不同磁场下的热效应，展示于表 1。

Table 1. computing result of heat effect

H(A/m)	P_{total} (W)	P_{coil} (W)	P_{sample} (W)	P_{um} (W/kg)
2969.3	0.803	0.737	0.066	4.133
3563.2	1.261	1.158	0.103	6.450
4157.0	1.720	1.578	0.142	8.893
4750.9	2.294	2.105	0.189	11.836

如表 1 所示， $\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ 材料的发热量

随磁场强度的上升逐步增加，但总体上仍不足以支持融冰过程。可以尝试通过进一步加大磁场强度或调节元素成分来的方法来获得更大的发热量，这有待在后续工作中进一步深入研究。

6 结论

本工作对 $\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ 防覆冰磁热材料的热效应进行了初步研究，得出如下结论：

- (1) $\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ 材料在 1100°C 下，真空退火三天后，形成了较纯的 1: 13 相，为较好的磁性能奠定了基础；
- (2) $\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ 材料的居里温度为 284.98 K，可以满足防覆冰材料的要求；
- (3) $\text{LaFe}_{10.92}\text{Co}_{0.58}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.2}$ 材料的发热量随着磁场强度的上升而逐步增加，但发热量不足，仍需进一步优化。

References(参考文献)

[1] Yasui M. Removal of Icy Snow Accumulation on the Transmission Line by Applying LC-Spiral Rod. *Tech. Rev.*, 1987(16):26~33.

[2] SHAN Xia. Research on De-icing Methods for Overhead Transmission Lines. *High Voltage engineering*, 2006(32): 25~27. 山霞. 关于架空输电线除冰措施的研究. *高电压技术*, 2006(32): 25~27.

[3] McCurdy J D. Using Dielectric Losses to De-Ice Power Transmission Lines with 100 kHz High-Voltage Excitation. Conference Record of IEEE Industry Applications Conference, 36th IAS Annual Meeting (Cat. No. 01CH37248), 2001(4):2515-19.

[4] Sullivan C R. Breaking the ice: de-icing power transmission lines with high-frequency, high-voltage excitation. *IEEE Industry Applications Magazine* 2003(9):49-