

Investigation of Amorphous $\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ Magnetic Powder Core

Min Yu¹, Fa-zeng Lian², Jian Tang³

Key Laboratory for Anisotropy and Texture of Materials, Ministry of Education,
Northeastern University, Shenyang, China

Email: ¹lianfazeng@yahoo.com.cn, ²yumin_0819@163.com

Abstract: The amorphous $\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ magnetic powder cores with better soft magnetic properties were prepared. Influence of annealing and particle size on magnetic properties of powder core was investigated. It was found that too high or too low annealing temperature is bad to magnetic properties and the best temperature is 350°C. With decreasing particle size, the permeability decreases and total loss increases.

Keywords: amorphous; powder core; magnetic property

$\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ 非晶磁粉芯磁性能研究

于 敏¹, 连法增², 唐 坚³

东北大学材料各向异性与织构教育部重点实验室, 沈阳, 中国, 110004

Email: ¹lianfazeng@yahoo.com.cn, ²yumin_0819@163.com

摘 要: 以 $\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ 非晶磁粉为原料, 制备出了软磁性能较好的磁粉芯。研究了退火处理和粉末粒度等工艺对磁粉芯性能的影响。实验结果表明: 退火温度过高或过低都对磁性能不利, 350°C 为最佳的退火温度; 磁导率随着粒度的增加而减小, 损耗随着粒度的增加而增加。

关键词: 非晶; 磁粉芯; 磁性能

1 引言

非晶态又称为玻璃态, 由于非晶态合金的原子排列无序不存在位错等缺陷, 也就没有易发生腐蚀现象的源滑移变形和易断裂的晶面, 所以非晶态合金具有高强度和耐腐蚀的特点。非晶态合金电阻率比一般晶态合金大 2~3 倍, 故大大降低了涡流损耗。其饱和磁化强度一般低于相应的晶态合金且没有磁晶各向异性, 由此可见在磁性、电性、力学性能和化学性能上非晶态合金比晶态合金有更优异的性能。

磁粉芯与带绕、叠片的软磁铁芯相比具有恒磁导率、低损耗等特点, 其作为滤波电感变压器等已得到了非常广泛的应用。目前的非晶、纳米晶合金以其优异的软磁性能和独特的结构, 近几十年来得到广泛的关注^[1-3]。为了改善磁粉芯的磁性能, 本实验研究了制备 $\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ 非晶磁粉芯的整个工艺流程, 讨论了去应力退火和磁粉粒度大小对非晶磁粉芯综合性能的影响。

2 实验方法

磁粉芯制备的具体操作是将 $\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ 非晶磁粉与绝缘剂(云母)、粘结剂(硅酮树脂)、无水乙醇等均匀混合, 待加热溶剂挥发后, 绝缘剂被均匀包覆在磁粉表面。将包覆好的粉末装入模具。在室温下以 1600Mpa 压制成为外径为 27mm、内径为 14.6mm、高为 11.7mm 的环形磁粉芯。

为了研究退火温度对磁粉芯性能的影响, 将磁粉芯在 300°C、350°C、400°C、450°C 等不同温度下退火。去应力退火采用随炉升温, 升温速率为 10°C/min, 在氩气氛中保温 1h, 空冷。为了研究粉末粒度对磁粉芯性能的影响, 将原始的粉末筛分成不同的粒度, 然后在合适的温度下进行去应力退火。

本实验应用日本 SY8232B-H 分析仪进行磁性能的测量。其中将每个磁粉芯用直径 $\Phi 0.5\text{mm}$ 漆包线均匀缠绕, 初级线圈 10 匝, 次级线圈 20 匝。

3 结果与分析

3.1 退火对磁粉芯性能的影响

基金项目: 国家“十一·五”863 项目资助(2008AA03Z2472642); 教育部创新团队发展计划项目资助(IRT0713)

图 1 给出了在不同温度下等温退火 1h, $\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ 磁粉芯的磁导率随频率的变化曲线。由图可见, 该非晶磁粉芯经过退火处理后, 磁导率明显的增大, 且具有优良的频率特性。磁粉芯的磁导率随着退火温度的升高而增大, 在 350℃ 达到最大值, 而后随温度的升高而降低。当频率为 750kHz, 温度为 350℃ 时, 磁导率达到 40.592。这是因为磁粉芯在模压成型之后, 存在内应力, 阻止了磁粉芯内部磁畴转向外磁场方向, 也就不容易被磁化, 所以磁导率较低。当进行退火处理后, 内应力消除, 磁畴很容易转向外磁场方向, 所以磁导率升高。温度越高, 内应力被消除的越彻底, 随着退火温度的升高, 磁导率会升高。但是, 当退火温度过高 (>350℃) 时, 会破坏材料内部的组织结构, 以至磁导率逐渐减小

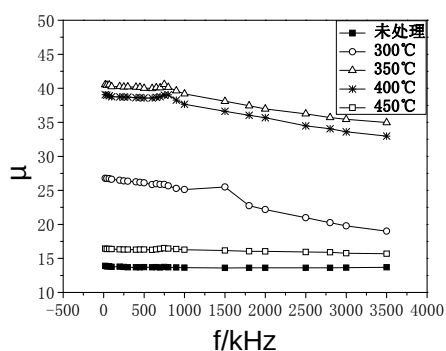


Figure 1 The effect of annealing temperature on permeability
图 1 退火温度对磁粉芯磁导率的影响

品质因数是复数磁导率的实部与虚部之比, Q 值较高表明磁导率的实部较高或损耗较低^[4]。图 2 为不同温度下 $\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ 非晶磁粉芯的品质因数随频率变

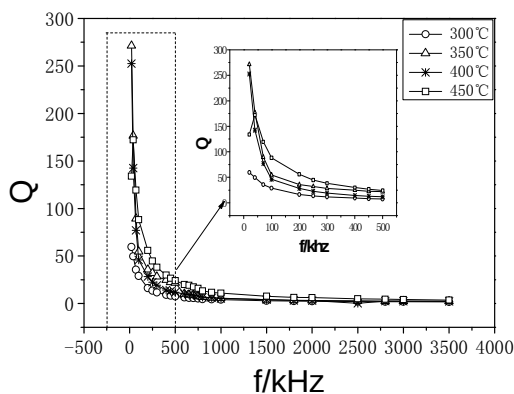


Figure 2 The effect of annealing temperature on quality factor
图 2 退火温度对磁粉芯品质因数的影响

化曲线。由图可见, 磁粉芯在 400℃ 退火时品质因数与 350℃ 退火时相差不多, 但是在该温度时, 磁粉芯已经发生晶化。而在 350℃ 时, 磁粉芯的磁导率明显偏高, 且品质因数相对较高, 最大值达到 271.348, 损耗较低, 所以最佳退火温度为 350℃。

3.2 粉末粒度对磁性能的影响

将粉末筛分成四种粒度, 分别为 -100~+150 目, -150~+200 目, -200~+250 目, -250~+320 目。分别压制制成磁粉芯为 R1#, R2#, R3#, R4#。

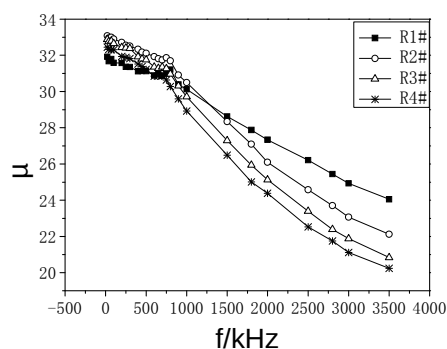


Figure 3 The effect of particle size on permeability
图 3 粉体粒度对磁粉芯的磁导率的影响

从图 3 可以看出, 总体上 4 个样品的磁导率随着频率的增大而减小, 且 R1# 的磁导率相对在高频条件下最大。这是因为随着频率的增加磁粉芯的涡流损耗急剧增大, 这样当样品被磁化时涡电流感生的磁场会抵抗外加磁场的变化, 进而降低了磁粉芯的磁导率。与此同时, 由于粉末被粉碎的越细, 则表面受到的损坏越严重, 表面缺陷越多。在外磁场的作用下, 材料的内部缺陷的增加, 势必会造成内应力的增加, 使得磁畴转向外磁场方向的难度加大, 因而磁导率较小。

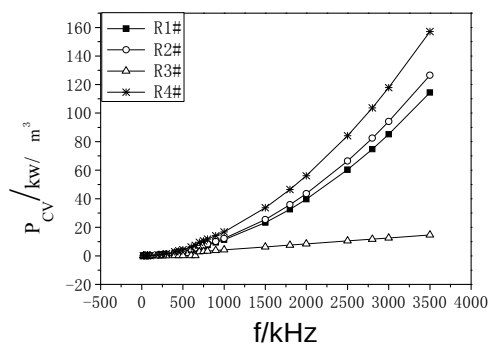


Figure 4 The effect of particle size on total loss
图 4 粉体粒度对磁粉芯磁损耗的影响

由图 4 可见,随着频率的增加,总体上,磁粉芯的磁损耗逐渐是增加的。在频率相同,随着粒度增加,损耗大体上增加,但是 R3#的损耗明显较小。由此可知,为了保证磁粉芯的高磁导率、低损耗必须要适当的控制磁粉芯的粒度范围。

4 结论

(1) $\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ 非晶粉末制得的磁粉芯最佳退火温度为 350°C 。

(2) $\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ 非晶粉末制得的磁粉芯,磁导率随着粒度的增加而减小,损耗随着粒度的增大而增加。要适当的控制磁粉的粒度范围,提高磁粉芯的磁性能。

5 致谢

本论文的主要工作是在东北大学功能材料实验室进行的,这里为课题提供了所需的原材料和实验手段,为本课题的顺利完成创造了物质条件和技术支持,在此向功能材料实验室表示深深地感谢。

本论文是在东北大学功能材料实验室连法增教授的指导下完成的。连老师以丰富的实践经验指导论文的主要工作,并提供了制订实验方案、独立思考、亲自动手的机会。在撰写论文期间,连老师在百忙之中时刻关注着论文进度,并提供相关的参考资料。在此,向尊敬的连老师表示深深地感谢。

References(参考文献)

- [1] Manivel Raja M, Ponpandian N, Majumdar B. Soft magnetic properties of nanostructured FINEMET alloy powder cores[J], Mater Sci Eng A, 2001, 304-306: 1062-1065.
- [2] Hong Seongmin, Kim Cheolgi, Kim Jongoh. Magnetic and structural properties of nitrified FINEMET powder using mechanical milling method[J], Curr Appl Phy, 2008, 8: 787-789.
- [3] Rubinstein Mark, Harris V. G, Lubitz Peter. Ferromagnetic resonance in nanocrystalline $\text{Fe}_{73.5}\text{CuNb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ (Finemet) [J], J. Magn. Magn. Mater, 2001, 234: 306-312.
- [4] Hui Xu, Kaiyuan He, Yuqing Qiu etc. Investigation of the Magnetic Properties of $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ Nanocrystalline Dust Core[J]. Journal of Functional Materials, 2000, 31(1): 42-44 (Ch)
徐晖, 何开源, 丘俞青等. 纳米晶 $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ 磁粉芯的磁性能研究[J]. 功能材料. 2000. 31(1): 42-44