

添加纳米 Al_2O_3 对铁粉芯 FeSiCr 材料性能的影响研究

周勋, 聂敏, 谈敏

摘要: 铁粉芯 FeSiCr 材料的磁导率是材料的最主要的特性之一。一般我们希望材料具有较高的磁导率, 而材料的磁导率跟材料的密度有直接关系。一般铁粉芯 FeSiCr 材料的密度越大磁导率越高, 材料的密度越小磁导率越低。我们发现将纳米 Al_2O_3 按照 1%~2% 的比例添加到铁粉芯 FeSiCr 材料中可以提高材料的密度, 从而提高材料的磁导率。

关键字: 磁导率, 密度, 纳米 Al_2O_3

1 前言

目前铁合金材料产品在广泛用于快速消费类的智能终端产品, 而快速消费类的智能终端产品对材料的特性要求不断的更新和升级, 所以研究和提高铁合金材料的特性来满足市场需求是必要的。全球最大的智能移动终端 IC 方案公司已经对未来的功率电感产品的规格性能要求已经提出。未来功率电感将是尺寸更小型化和具有更高的耐电流的能力。提高铁合金材料的磁导率可以缩减功率电感产品的体积, 更能提高功率电感产品的耐电流特性, 所以研究和提高铁合金材料的磁导率也是势在必行。

提高合金材料的磁导率一般可以从配方上做调整, 但是通过配方调整提高磁导率的能力越来越有限, 而从材料制作工艺上调整合金产品的密度来提升材料磁导率效果比较明显。将纳米 Al_2O_3 添加到合金材料中, 降低了合金产品的成型压力, 提高了合金产品的成型密度, 从而提升合金材料的磁导率和合金产品的电感量。

2 实验方法

2.1 样品制作

本实验采用传统机械造粒方法制备 FeSiCr 合金材料, 以 FeSiCr 合金粉和纳米 Al_2O_3 作为主原料。按 FeSiCr 99.5%~95%、纳米 Al_2O_3 0.5%~5% 进行配料, 用 $\Phi 3\text{mm}$ 锆球于行星式球磨机中加入 5% 的酒精进行研磨混合, 将研磨混合好后的浆料进行烘干, 烘干的粉体加 10% 的粘结剂

进行造粒, 制得造粒粉。再在固定的压力下压制标准磁环, 最后分别在 800°C 、 850°C 、 900°C 下进行烧结。

2.2 样品测试

样品通过采用排水法测量成型磁环密度, 磁环密度 $\rho = M1/(M1-M2)$, $M1$ 表示在常温空气下测试的磁环重量, $M2$ 表示在常温水测试磁环重量; 样品通过 HP4991 测试绕线磁环的磁性能, 按公式计算材料磁导率公式 $\mu_i = (10000 * L) / (4.6 * N^2 * h * \log(D/d))$, L 表示 $f=100\text{kHz}$ 时的电感量, N 表示绕线圈数, h 表示标准磁环高度, D 及 d 分别表示标准磁环的外径及内径; 耐压测试使用绝缘耐压测试仪, 使探头稳定接触磁环直径两端表面后测试。

3 实验结果与讨论

3.1 添加纳米 Al_2O_3 对 FeSiCr 合金材料特性的影响

将不同粉料各自成型成磁环, 得到的成型密度见表 1。

表 1 不同添加量下的合金产品成型密度

Al_2O_3 添加量	成型密度 $d_g(\text{g}/\text{cm}^3)$
0.1%	6.24
0.5%	6.23
1.0%	6.35
2.0%	6.34
3.0%	6.26
4.0%	6.25
5.0%	6.22

从表 1 中, 可见材料适宜成型压力在 Al_2O_3 添加量为

1%~2% 之间, 在 1%~2% 之间成型密度最高, 且成型密度波动小, 成型密度较为稳定, 纳米 Al_2O_3 此时在材料中是充当固体润滑剂的作用^[1]。

合金产品的成型密度越高材料的磁导率越高, 但是耐压特性会下降。 Al_2O_3 在陶瓷氧化铝行业应用较为广泛, 以刚玉为主晶相的陶瓷材料。因其具有机械强度高, 硬度大, 高频介电损耗小, 高温绝缘电阻高, 耐化学腐蚀性和导热性良好等优良综合技术性能等优势^[2]。添加纳米 Al_2O_3 在合金产品中耐压等其他特性也会得到提升。

3.2 纳米 Al_2O_3 对 FeSiCr 合金材料烧结后的磁性影响

图 1 表示当纳米 Al_2O_3 添加量为 0.1%~5%、烧结 800℃ 时, 材料磁导率 μ_i 特性曲线; 图 2 表示当纳米 Al_2O_3 添加量为 0.1%~5% 时、烧结 850℃ 时, 材料磁导率 μ_i 特性曲线; 图 3 表示当纳米 Al_2O_3 添加量为 0.1%~5% 时、烧结 900℃ 时, 材料磁导率 μ_i 特性曲线; 图 4 表示当纳米 Al_2O_3 添加量为 0.1%~5%、烧结 800℃ 时, 材料耐压特

性曲线; 图 5 表示当纳米 Al_2O_3 添加量为 0.1%~5%、烧结 850℃ 时, 材料耐压特性曲线; 图 6 表示当纳米 Al_2O_3 添加量为 0.1%~5%、烧结 900℃ 时, 材料耐压特性曲线;

可见, 在三种烧结温度下材料磁导率都随着纳米 Al_2O_3 的添加量先增加后减小, 其中在纳米 Al_2O_3 添加 1%~2% 时材料磁导率最高。在三种烧结温度下材料耐压随着纳米 Al_2O_3 的添加量增加而增加。

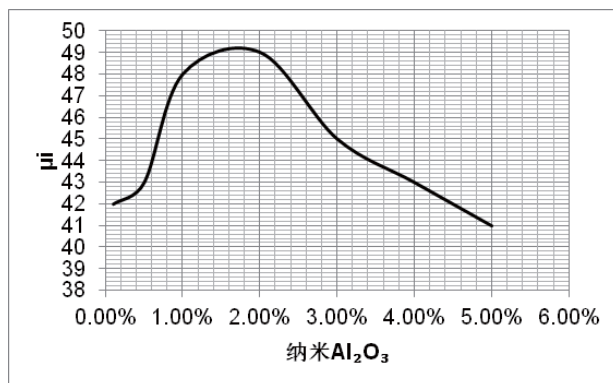


图 1 当纳米 Al_2O_3 添加量为 0.1%~5%、烧结 800℃ 时, 材料磁导率 μ_i 特性曲线。

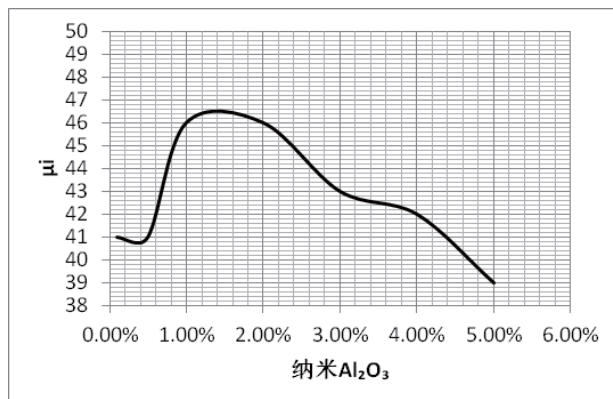


图 2 当纳米 Al_2O_3 添加量为 0.1%~5% 时、烧结 850℃ 时, 材料磁导率 μ_i 特性曲线。

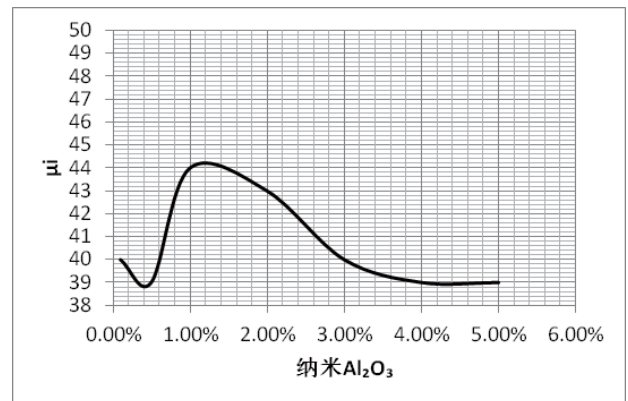


图 3 当纳米 Al_2O_3 添加量为 0.1%~5% 时、烧结 900℃ 时, 材料磁导率 μ_i 特性曲线。

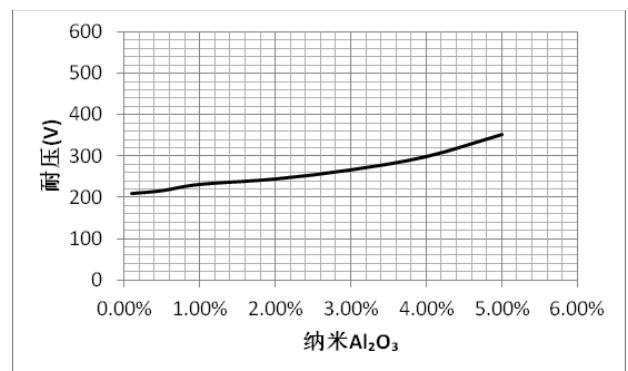


图 4 表示当纳米 Al_2O_3 添加量为 0.1%~5%、烧结 800℃ 时, 材料耐压特性曲线。

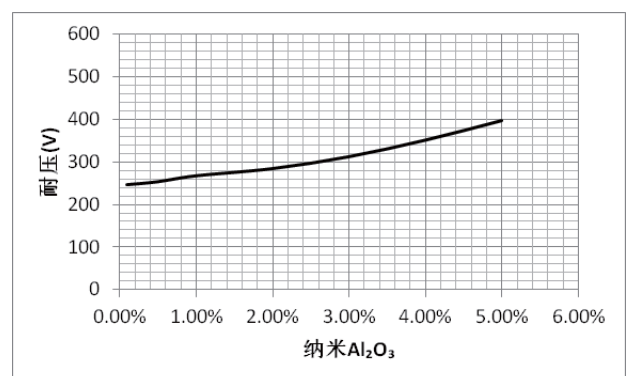


图 5 表示当纳米 Al_2O_3 添加量为 0.1%~5%、烧结 850℃ 时, 材料耐压特性曲线。

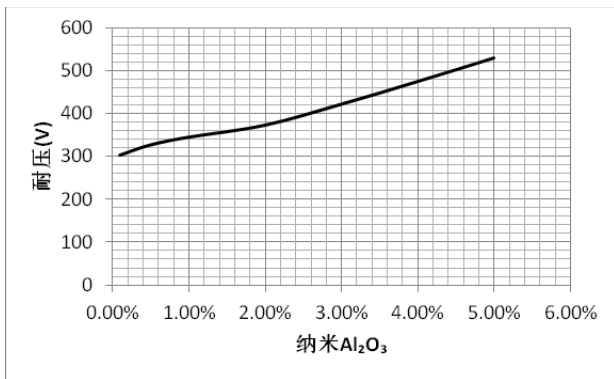


图6表示当纳米Al₂O₃添加量为0.1%~5%、烧结900℃时，材料耐压特性曲线。

3.3 纳米 Al₂O₃ 对 FeSiCr 合金材料显微结构的影响

图 7 表示在纳米 Al₂O₃ 添加量为 0.5% 时、烧结 850℃ 时合金材料的 SEM 图片；图 8 表示在纳米 Al₂O₃ 添加量为 2.0% 时、烧结 850℃ 时合金材料的 SEM 图片；图 9 表示在纳米 Al₂O₃ 添加量为 3.0% 时、烧结 850℃ 时合金材料的 SEM 图片；

从图上可见，图 7 当纳米 Al₂O₃ 添加量为 0.5% 时，产品的密度小于图 8 的产品密度。图 9 当纳米 Al₂O₃ 添加量为 3% 的时，产品密度小于图 8 的产品密度。图 8 产品的密度最大，其纳米 Al₂O₃ 添加量为 2.0%。结合成型密度数据分析，纳米 Al₂O₃ 最优的添加量为 1.0%~2.0%。

结论

通过对不同纳米 Al₂O₃ 添加对 FeSiCr 合金材料的性能研究，可以得出以下结论：

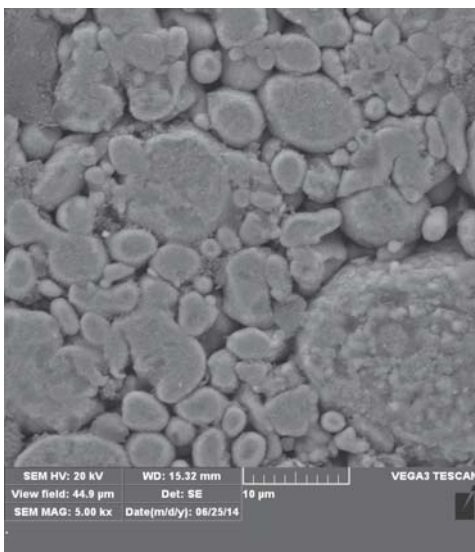


图 7 纳米 Al₂O₃ 添加量为 0.5% 时、烧结 850℃ 时合金材料的 SEM 图片

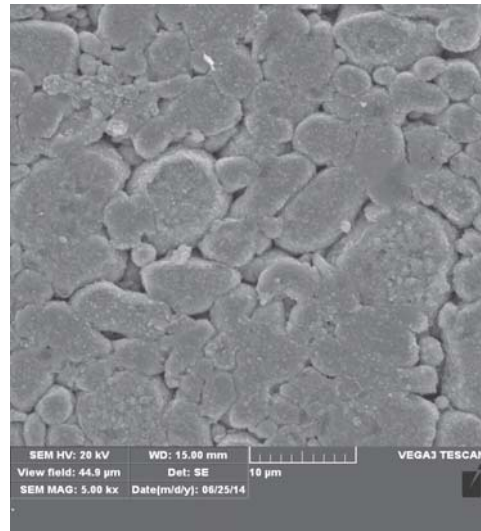


图 8 纳米 Al₂O₃ 添加量为 2.0% 时、烧结 850℃ 时合金材料的 SEM 图片

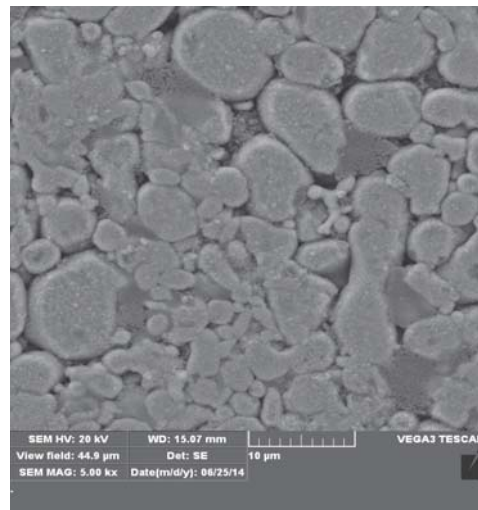


图 9 纳米 Al₂O₃ 添加量为 3.0% 时、烧结 850℃ 时合金材料的 SEM 图片

添加纳米 Al₂O₃ 对成型密度影响较大，对提高材料密度较为显著，随着添加量的增加，其成型密度呈现先增大后变小的趋势，同样地，也影响了材料的磁导率先增加后变小。

添加纳米 Al₂O₃ 对材料耐压特性影响较大，随着纳米 Al₂O₃ 的添加量增大，材料耐压特性也增大。

从本实验来看，最佳的纳米 Al₂O₃ 添加量为 1.0%~2.0% 的范围，产品的磁导率可达最高。

参考文献

- [1] 刘居煌 高温螺栓润滑剂的研究《润滑油》1993 年 04 期
- [2] 马慧侠 简本成 孟德安 用 XRF 测定氧化铝陶瓷成分《现代技术陶瓷》2012 年 02 期