

# 抛光时间对高磁导率MnZn铁氧体性能影响

王鑫, 李银传, 邢冰冰, 李小龙

天通控股股份有限公司 软磁研究所, 浙江海宁 314412

**摘要:** 取生产线同一烧板TSR10材质T25×15×10产品, 进行抛光时间实验, 讨论不同抛光时间对样品电感量、电感温度特性及抗外加应力特性影响; 结果表明: 在抛光过程中, 造成样品内部存在残余应力, 并且随抛光时间的延长, 残余应力累积, 导致多晶体内部结构发生形变, 磁晶各向异性常数 $K_1$ 发生变化, 引起样品磁性能的变化。

**关键词:** MnZn铁氧体, 高磁导率, 抛光时间, 残余应力, 磁晶各向异性常数

## Influences of Polishing Time on Properties of High permeability MnZn Ferrites

Wang Xin, Li Yinchuan, Xing Bingbing, Li Xiaolong

Soft Magnetic Material Institute, TDG HOLDING CO., LTD., Haining 314412, Zhejiang Province, China

### 0 引言

高磁导率 MnZn 铁氧体作为一种功能材料, 广泛应用于通讯、电视、航天技术、计算机技术、电子设备及其他电子信息产业中, 主要用于制作通讯电感与抗电磁干扰共模电感。近年来, 高磁导率软磁铁氧体的产量占软磁铁氧体总产量的 30% 以上。

对高磁导率 MnZn 铁氧体而言, 磁导率为最基本特性, 由材料组成及晶体结构决定<sup>[1]</sup>:

$$\mu_r \propto \mu_0 M_s / \left[ (K_1 + \frac{3}{2} \lambda_s \delta_s) \phi^{\frac{2}{3}} \frac{x}{d} \right] \quad \text{公式(1)}$$

其中  $K_1$  为磁晶各向异性常数,  $\lambda_s$  为磁致伸缩系数,  $\delta_s$  为内应力,  $\phi$  为杂质体积系数,  $x$  为畴壁厚度,  $d$  为杂质直径,  $M_s$  为饱和磁化强度。

MnZn 铁氧体具有尖晶型的多晶结构, 在受外力时, 晶体结构会发生形变, 导致磁晶各向异性常数  $K_1$  变化, 引起产品磁导率等电磁特性变化。高导产品主要以 T 型为主, 为防止后期客户绕线过程造成伤线现象, 一般会对产品进行抛光及涂层处理; 本文主要讨论抛光时间对高磁导率 MnZn 铁氧体磁晶各项异性常数  $K_1$  及其他特性的影响。

### 1 样品准备与测试

#### 1.1 实验过程

在我司生产线推板窑同一烧板上随机抽取

T25×15×10 产品 (TSR10 材质) 180 付, 恒温室全检单圈电感后, 放入行星式抛光机 (用  $\phi 4$  抛光珠) 进行抛光时间实验, 到设定时间后, 抽取样品 30 付, 余样继续抛光; 时间设定: 0min, 10min, 20min, 40min, 60min, 80min; 抽样进行温度特性、外加应力特性等测试, 剩余样品全检电感后涂层 (厚度 0.25mm); 最后测试电感量。

#### 1.2 所用设备仪表

LCR 测试仪 (HP4284A)、行星式抛光机、磨床、万能试验机、金相显微镜、低温烘箱等。

### 2 分析与讨论

#### 2.1 样品基本特性

为观察样品内部晶粒形貌, 将样品放在磨床上用高目数砂轮磨削到目标厚度后磨镜面, 酸洗后用高倍金相显微镜观察晶粒形貌。图 1 为 TSR10 样品内部金相照片, 可以看出: 晶粒形貌好, 尺寸比较均匀, 平均粒径在 16~18  $\mu\text{m}$ ; 另外, 图中还可以看到在晶界处与晶体内部均有气孔存在, 气孔的存在会对产品特性造成不良影响, 但由于窑炉等客观原因, 气孔的存在不可避免, 只能尽可能减少。

图 2 与图 3 为 TSR10 样品  $\mu_r-f$  曲线与  $\mu_r-T$  曲线, 可以看出: 样品磁导率在 11000 左右, 200kHz 磁导率与 10kHz 持平, 500kHz 保磁率 50% 左右 (截止频率), 表

现出了优异的频率特性； $\mu_i-T$  曲线基本呈正温度特性，在 20–80℃ 温度范围内非常平坦，表现了很好的温度稳定性。

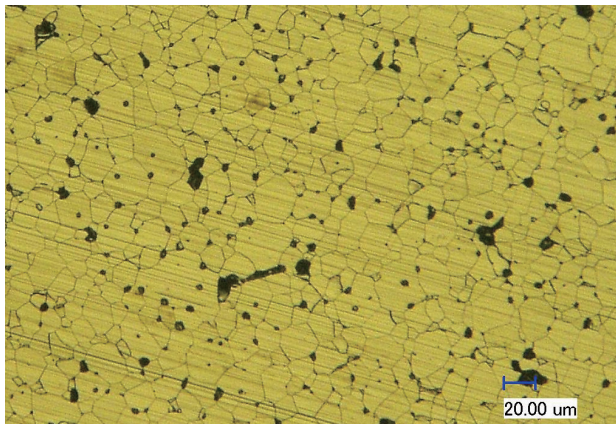


图 1 TSR10 样品内部金相照片 (×500)

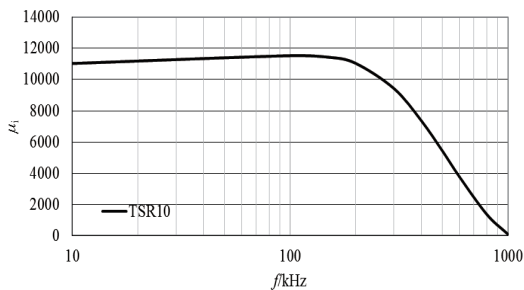


图 2 TSR10 样品  $\mu_i-f$  曲线

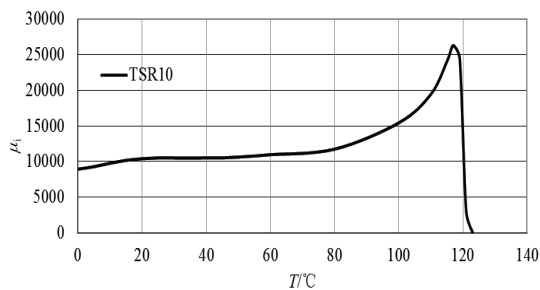


图 3 TSR10 样品  $\mu_i-T$  曲线

## 2.2 抛光和涂层对电感影响

表 1 为不同抛光时间样品抛光前后及涂层前后电感变化 (单圈, 0.3V, 10kHz, 数据为平均值), 图 4 为涂层前后样品  $L_s-t$  曲线: 随着抛光时间延长, 电感持续降低, 开始 10min 电感降低很快, 跌幅达到 7%; 随抛光时间延长, 电感下降速率变慢; 60min 抛光, 电感降为原电感 85%, 80min 抛光电感有原电感 84%; 抛光时间延长 20min, 电感变化量比较小; 如继续进行抛光, 电感可能会有下降,

但变化量不会很大。抛光后产品, 经过涂层, 电感基本保持不变。

表 1 不同抛光时间样品抛光前后及涂层前后电感变化

抛光时间/min	0	10	20	40	60	80
抛光后电感/ $\mu\text{H}$	10.66	9.88	9.71	9.39	9.09	8.97
抛光后保磁率%	/	93	91	88	85	84
涂层后电感/ $\mu\text{H}$	/	9.91	9.76	9.44	9.14	8.96
涂层后保磁率%	/	100	101	101	101	100

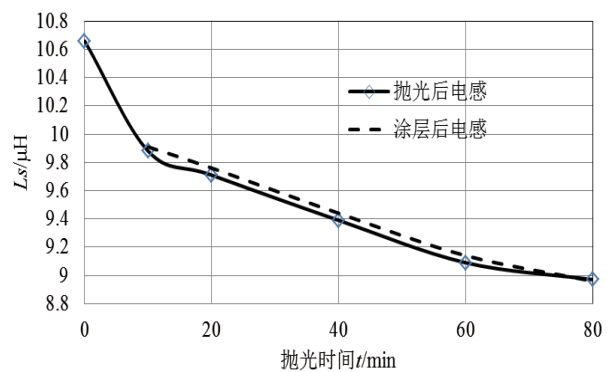


图 4 涂层前后样品  $L_s-t$  曲线

## 2.3 抛光时间对样品二峰位置及温度特性影响

为讨论不同抛光时间对电感温度稳定性影响, 取不同抛光时间样品各 3 付, 10Ts, 10kHz, 0.3V 测试温度曲线 (平均值)。

图 5 为不同抛光时间样品的  $L_s-T$  曲线, 表 2 为不同抛光时间样品磁导率-温度特性数据: 随着抛光时间延长, 二峰往低温方向移动。图 6<sup>[2]</sup> 为  $\text{Fe}^{2+}$  与基体磁晶各向异性常数  $K_1$  补偿图, 按照各项异性常数  $K_1$  补偿理论: 补偿点往低温方向移动, 在  $\text{Fe}^{2+}$  离子含量不变的情况下, 可以推论: 基体  $K_1$  升高 (绝对值减小), 导致补偿点迁移, 并且补偿点以前晶体  $K_1$  值绝对值降低, 磁导率升高, 补偿点以后, 晶体  $K_1$  值升高, 磁导率降低。即在抛光过程中, 抛光珠对样品施加外应力, 引发晶体形变, 从接触面开始并传导到磁芯内部, 对于尖晶石结构的 MnZn 铁氧体来说, 由于多晶体每个晶粒所取取向不同, 对应形变也不尽相同, 改变了晶体的磁晶各项异性常数  $K_1$  及磁致伸缩系数  $\lambda_s$ , 导致相应磁导率变化。残余应力及累计: 残余应力指去除外力后, 残留于材料内部且自身平衡于材料内部的应力<sup>[3]</sup>; 多次外加应力, 残余应力会有一定的累积效果。因此, 随着抛光时间的延长, 内部残余应力逐渐增大, 导致基体常温附近的  $K_1$  值降低越多, 相应补偿点往低温方向移动, 即

磁导率二峰随抛光时间延长往低温方向移动，表现出了随抛光时间延长，低温段磁导率增大、高温段磁导率降低的现象。抛光前，磁导率二峰在 25-30℃，正温度特性，温度曲线平坦；随着抛光时间延长，磁导率二峰往低温移动，磁导率谷底往高温移动并且谷底变深，温度曲线从正温度曲线变成负温度曲线，温度特性变差。

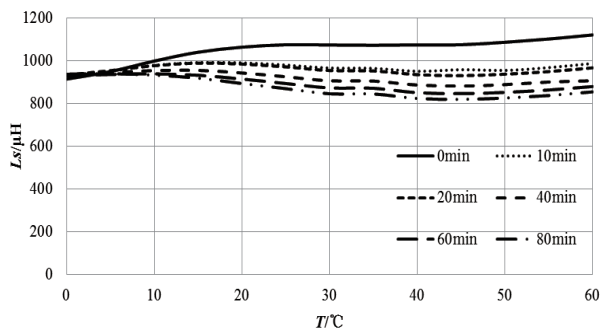


图 5 不同抛光时间样品  $L_s-T$  曲线

表 2 不同抛光时间样品磁导率 - 温度特性数据

抛光时间/min	0	10	20	40	60	80
二峰位置/°C	25	15	15	15	10	5
谷底位置/°C	35	40	45	45	45	45
差值/°C	10	25	30	30	35	40
二峰位置电感/ $\mu\text{H}$	1075	992	989	959	939	940
谷底位置电感/ $\mu\text{H}$	1073	951	931	882	847	820
差值/ $\mu\text{H}$	2	41	58	77	92	120

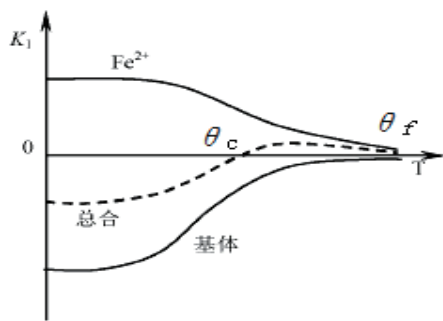


图 6  $\text{Fe}^{2+}$  离子与基体磁晶各项异性常数补偿图

#### 2.4 不同抛光时间样品外加应力影响

为研究不同抛光时间样品抗外力特性，取不同抛光时间样品各三付，测试外加应力条件下的电感量（平均值）：10kHz，0.3V，10Ts。

表 3 为不同抛光时间 - 不同外加应力下电感值，图 7 为不同抛光时间样品的  $L_s-F$  曲线。横向比较：在相同的外加应力下，抛光时间越长的样品，电感越低；在相同的外加应力下，随抛光时间的延长，电感跌落幅度有降低的

趋势，相应电感变化率逐渐降低。纵向比较：对不同抛光时间的样品，在没有外加应力时，电感差异比较大，随着外加应力的升高，电感差逐渐减小；因抛光造成的残余应力与外加应力共同作用于磁芯，在外加应力很小时，残余应力占主导，造成电感差异很大，外加应力增大时，残余应力作用相对逐渐减弱，使得电感趋于相同。前面提到，抛光过程中，抛光珠对磁芯施加外力，在抛光结束，有外加应力累积在磁芯内部；在用万能试验机加压时，电感随压力增加而降低，当外力消失后，电感立即回升到原值，反复加压实验情况不变，说明此外应力没有累积在磁芯内。

表 3 不同抛光时间 - 不同外加应力下电感值

min \ N	0	10	20	40	60	80
0	1096	1009	999	938	927	880
30	1099	1025	1015	960	945	898
50	1085	1019	1013	963	951	904
80	1054	1000	994	951	946	906
100	1026	977	968	939	936	892
150	961	918	915	888	897	856
200	890	858	850	829	845	809
250	822	801	750	772	787	761
300	765	745	730	726	738	709

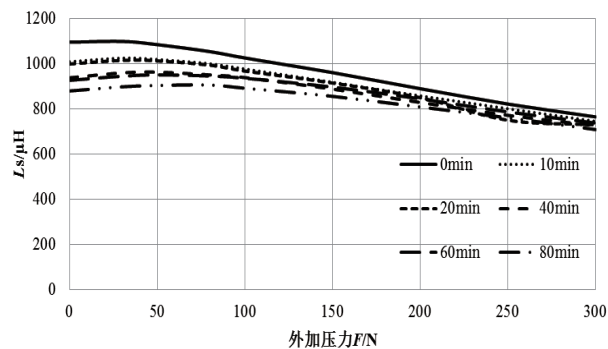


图 7 不同抛光时间样品  $L_s-F$  曲线

### 3 总结

(1) 产品经过抛光处理，会在内部有残余应力累积，并且随着抛光时间延长：残余应力增大，晶体结构发生变化，基体磁晶各向异性常数  $K_1$  值升高（绝对值减小），造成补偿点（二峰）往低温方向移动，补偿点以前晶体  $K_1$  值绝对值降低，磁导率升高，补偿点以后，晶体值  $K_1$  升高，磁导率降低。随着抛光时间延长，温度曲线出现电感低谷，20℃ - 60℃ 温度稳定性恶化。

下转 154 页