

# 高频高饱和和宽温低损耗锰锌铁氧体TP5E材料

## High Frequency and high flux density TP5E MnZn ferrite core loss lower material in a wide range of temperatures

顾张新, 邢冰冰, 李小龙, 李银传

天通控股股份有限公司 磁性材料研究所, 浙江海宁 314412

**摘要:** 随着电力电子技术的不断进步, 高频高饱和、宽温低损耗特性成为磁性材料发展趋势之一。TP5E材料具有高频高饱和、宽温低损耗的特点, 有利于电子整机系统向多功能化、集成智能化、小型轻量化及平面贴装化方向发展。本文介绍了该材料的电磁特性及相关应用。

**关键词:** 高频高饱和, 宽温低损耗, TP5E材料

### 1 引言

现阶段, 高频开关电源作为一种比较新型的直流稳压电源, 具有效率高、体积小、重量轻等特点。因此在国际上受到广泛重视, 发展迅速, 市场前景广阔。目前, 开关电源的研究主要集中在两个方面: 一个是对小功率开关电源, 如何更大程度地提高频率、提高效率、减小体积和成本、实现集成化; 另一个是对大功率开关电源, 如何提高频率、效率及可靠性。这两个研究方向, 都牵涉到开关电源中的基本电磁器件的研究和开发, 而作为决定电磁器件性能、体积、效率等特性的磁心材料已被广大研究者重视。电子设备的高密度装配要求提高开关电源(各类AC-DC、DC-DC变换器)的工作频率, 从而减小其体积和重量, 这就对作为高频化电源的核心—MnZn功率铁氧体的性能提出了更高的要求。随着材料的组成及生产工艺的改进, 性能优良的适于在高频下应用的新型材料不断涌现。我司开发的高频高饱和和宽温低损耗MnZn铁氧体TP5E材料, 具有使用频率高、高饱和和宽温低损耗的特点, 应用于器件能很好地满足使用要求。

### 2 制备过程

TP5E材料采用传统的氧化物方法制备样品, 采用工业生产用的氧化铁、氧化锰、氧化锌为原材料, 按照配方进行称量。将配好的原材料在砂磨机中湿法混合15分钟。混合后的原材料放入预烧炉预烧, 预烧温度980℃, 保温120分钟。预烧料冷却后在砂磨机中粉碎, 砂磨机转速450转/分, 粉碎时间120分钟。粉碎过程中加入添加剂。黑

砂烘干后, 加入10%聚乙烯醇造粒, 并压制成T25标准样环。样环采用平衡氧分压法在钟罩炉中烧结, 终烧温度1260℃, 保温4~6小时。

用SY8258 B-H分析仪测试样品的饱和磁通密度、功率损耗特性, 用HP-4284A精密LCR表测量样品的电感性能。显微结构和形貌选用日立S-4800扫描电子显微镜拍摄。

### 3 材料性能

TP5E材料有着优良的高 $B_s$ 特性, 25℃时为520mT, 100℃时为420mT。其 $B_s$ 性能比FERROXCUBE的3F45材料性能要高<sup>[1]</sup>。TP5E材料与3F45材料饱和磁通密度 $B_s$ 与温度 $T$ 对比见图1所示。

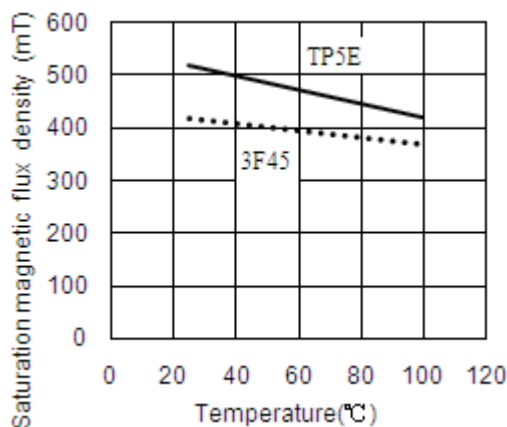


图1 TP5E与3F45材料 $B_s$ - $T$ 对比

大家知道, 铁氧体的损耗包括磁滞损耗 $P_h$ 、涡流损耗

$P_e$  和剩余损耗  $P_r$ 。高频情况下材料的涡流损耗占主要。降低涡流损耗的有效方法是提高材料的电阻率。对多晶铁氧体材料而言,电阻率包括晶粒内部和晶粒边界的电阻率两部分。当产品具有较细小的晶粒时,增加了晶界所占的比例,能够有效降低材料的涡流损耗<sup>[2]</sup>。在低频下,磁滞损耗  $P_h$  占优势,可通过形成无点阵缺陷和无气孔的均匀微结构以

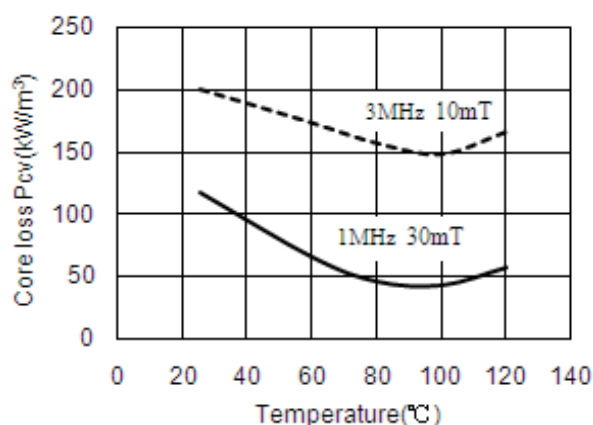


图2 TP5E 材料  $P_{cv}$ - $T$  图

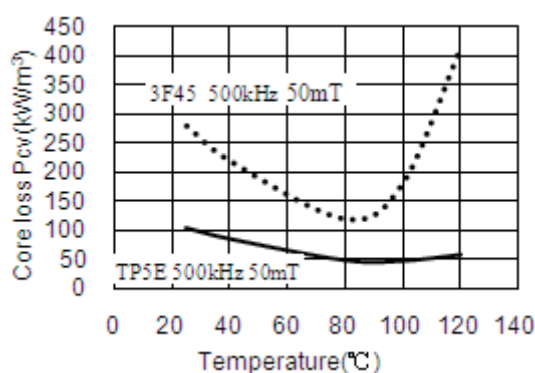


图3  $P_{cv}$ - $T$  对比 (500kHz 50mT)

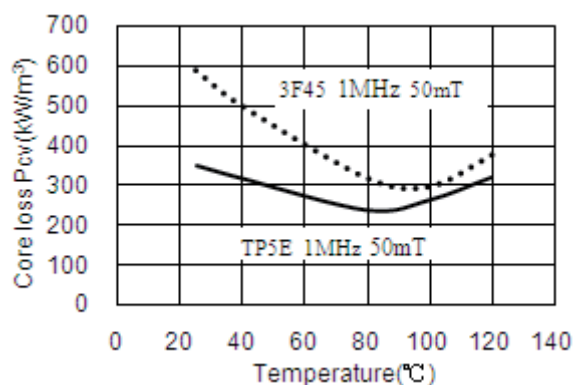


图4  $P_{cv}$ - $T$  对比 (1MHz 50mT)

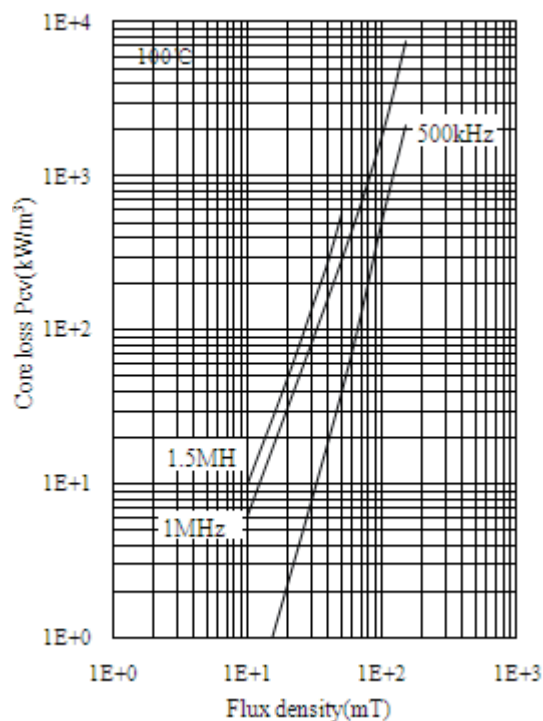
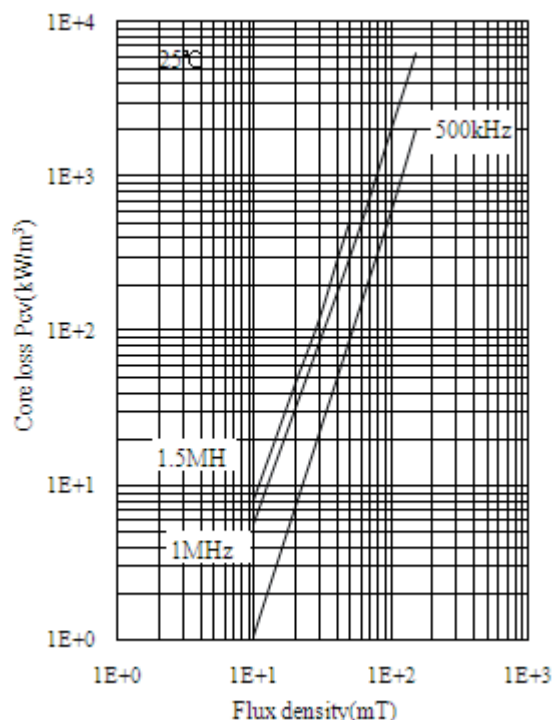


图5 TP5E 材料功率损耗随磁通密度、频率变化特性

减小畴壁运动的阻力来减小  $P_h$ 。而在高频下,涡流损耗  $P_e$  和剩余损耗  $P_r$  所占的比例大,可通过掺杂在晶界形成高电阻层增大磁芯电阻率的方法来抑制高频损耗的增大<sup>[3]</sup>。我

们通过优选主配方，结合组合掺杂和低温致密化烧结技术，严格控制材料的微观结构，提高材料的电阻率，通过不断试验，TP5E 材料在功率损耗方面，实现了高频宽温低损耗特性。TP5E 材料在典型测试条件 1MHz、30mT 和 3MHz、10mT 下功率损耗如图 2 所示。图 3 和图 4 为 TP5E 材料在 500kHz、50mT 和 1MHz、50mT 条件下与 3F45 材料的功率损耗温度曲线对比图。通过对比可知，在 500kHz、50mT 和 1MHz、50mT 条件下，TP5E 材料在较宽的温度范围 25℃ ~ 120℃内具有比 3F45 材料更低的损耗。

图 5 为 TP5E 材料在 25℃ 和 100℃，不同频率下功率损耗随磁通密度的变化情况。从图中可以看出，在 500kHz ~ 1.5MHz 的频率范围内、不同的磁通密度下，TP5E 材料的功率损耗都比较低，显示出这种材料的使用频率比较宽，在各个频率、不同的磁通密度下都具有良好的使用性能，能较好地满足客户的使用需求。

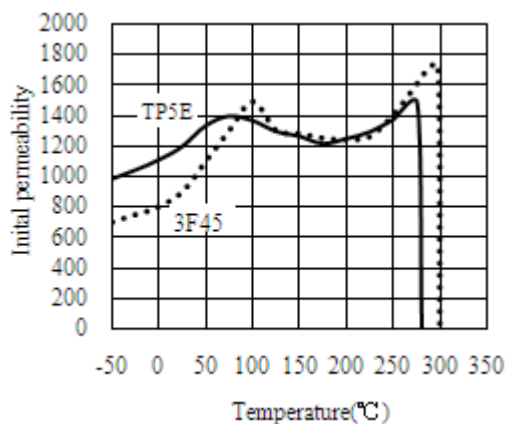


图 6 TP5E 与 3F45 材料  $\mu_i-T$  对比

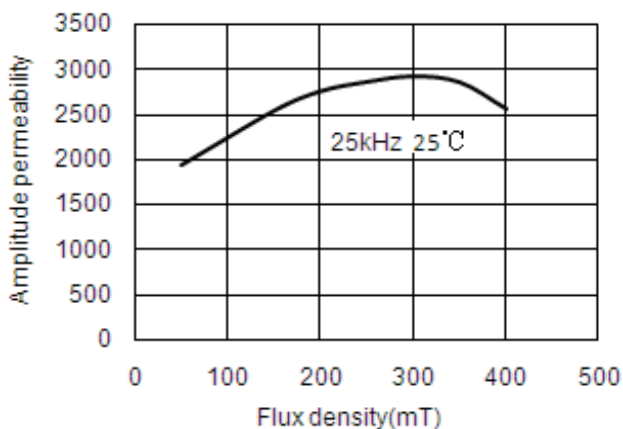


图 7 TP5E 材料  $\mu_a-T$  曲线

通过图 6 材料  $\mu_i-T$  曲线对比可知，TP5E 材料的实际居里温度大于 270℃，材料在低温 -50℃ 和常温 25℃ 时的磁导率分别为 1000 和 1200 左右，而 3F45 材料在低温 -50℃ 和常温 25℃ 时的磁导率分别为 700 和 900 左右，可见 TP5E 材料比 3F45 材料具有更高的低温和常温磁导率。TP5E 材料在 -50℃ ~ 140℃ 温度范围内比 3F45 材料具有更稳定的磁导率温度变化特性，有利于实现材料的宽温低损耗特性，良好的温度稳定性为拓展器件的应用打下了基础。图 7 为 TP5E 材料的振幅磁导率  $\mu_a$  随磁通密度的变化曲线，较高的振幅磁导率满足了功率铁氧体在高直流叠加下正常工作的要求。

#### 4 微观结构

TP5E 材料优异的性能与其良好的微观结构密切相关，如图 8 所示，材料的晶粒均匀细小，晶界清楚，平均晶粒尺寸大小在 3 ~ 5 μm 左右，气孔较少。可见，良好的微观结构的获得有利于制得性能优异的锰锌高频铁氧体材料。

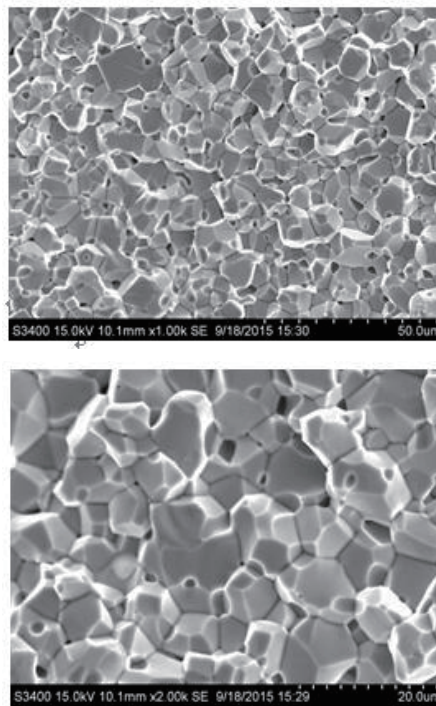


图 8 TP5E 材料 SEM 图

上图：1000 倍；下图：2000 倍

下转152页