

# 陈氏绝缘包覆法

陈一平

武汉陈氏磁业科技有限公司

**摘要:** 绝缘包覆是金属软磁粉芯生产的核心工序, 文章简述了陈氏绝缘包覆法的主要优点, 并以对比测试的结果加以论证。因涉及技术保密, 具体方法恕暂不公开, 敬请原谅。

**关键词:** 绝缘包覆

## 1 前言

我们曾经说过: 软磁材料的发展, 所围绕的核心问题是什么呢? 那就是如何来降低其损耗。不管是最初使用到如今还是在大量使用的金属软磁材料, 还是为人们越来越广泛使用的最新一代的第四代软磁材料——金属软磁粉芯, 其发展所围绕的一个核心问题, 都是想方设法的去降低其损耗。软磁材料是一种功能材料, 具有磁电转换之特殊功能。既是功能转换这就必须涉及能量转换的效率问题。损耗大则转换效率低, 这不是我们所希望的。所以降低损耗, 以期达到尽可能高的转换效率成为人们在使用过程中始终追求的目标。我们最初使用的金属软磁如坡莫合金, 开始使用的是铸件或是简单的加工件, 发展为冲压件磁芯, 如发电机、电动机、变压器绕组磁芯等。这些冲片经涂覆绝缘后再叠起来使用, 就可增加磁芯的阻值, 从而达到降低损耗的目的。自上世纪初到五十年代发展到以薄带冲片或涂层卷芯, 到五十年代后则发展到以薄带乃至几个 $\mu$ 厚之超薄带以电泳涂层后卷芯使用, 这些都是为适应高频化发展而采取的减小损耗之措施。至此, 金属软磁在工艺上的发展, 到上世纪八十年代之后, 基本上无新的进展了。

铁氧体软磁是由各种铁磁性氧化物为主体, 并掺杂少量非铁磁性氧化物在一定条件下经过烧结而形成之固溶体的复合氧化物。这种复合氧化物其内阻较高, 对降低涡流损耗起了极大的作用, 特别是在高频或超高频情况下是损耗极低的良好材料。但其最主要的缺陷是其饱和磁感应强度较低, 人们目前主要的工作都集中在如何提高Bs值上。但受材质所限, 这种努力到目前为止也是很有局限的。目前在日本实用化的90、91等其Bs值也仅为4500Gs左右, 这远比金属软磁为低。

非晶软磁材料的Bs值虽然很高, 且由于是固溶态其内阻也比金属软磁要高, 但比起铁氧体软磁, 其频率稳定性就差很多, 且很难完全非晶化, 实际总有很微量的微晶晶粒存在。所以实际使用的, 我们把它叫做非晶微晶软磁材料, 也有把它叫做第三代软磁材料。其降低损耗之功能虽然远不如铁氧体软磁, 但比起金属软磁还是大大的进了一步。在工频或较低的频率范围内, 一般在低于20KHz的情况下, 还是具有一定使用价值的。

金属软磁粉芯, 由于是以各种金属软磁制成的粉末, 并将其磁性粉末颗粒包覆上一层绝缘膜层再压制而成, 这种生产工艺对降低涡流损耗具有非常明显的效果。而各种电子元器件的高频化今天已成为发展趋势, 这是为什么呢? 其中最主要一点就是提高了抗干扰能力。这对实现高精度、高灵敏度是具有重要实用意义的。特别是在高科技领域和国防军工领域, 更是具有重要实用意义。但其负面结果是频率的提高会使涡流损耗迅速增加。我们的实验表明: 按照传统的绝缘包覆工艺, 当频率达100KHz时, 磁芯的涡流损耗已占总损耗之比例达90%以上。所以, 高频情况下如何降低涡流损耗问题已成为软磁材料生产所围绕的如何降低损耗这一核心问题的核心。而金属软磁粉芯之生产工艺, 也正是由于抓住了这个核心之核心, 其效果之显著, 产品性能之优良, 也自然是不言而喻的了。所以我们说: 金属软磁粉芯是最具有良好综合性能之最新一代的软磁材料, 我们把它称之为第四代软磁材料——金属软磁粉芯。

## 2 陈氏绝缘包覆法

在金属软磁粉芯的生产过程中, 其主要生产工艺过程包括: 制粉→绝缘包覆→压制成型→产品性能处理→涂装

等五大工序，其中原料粉可向制粉企业订购，也可由磁芯生产企业自己生产所需。由此，磁芯生产企业的必备工序是：①绝缘包覆、②压制成型、③产品处理和④涂装入库等四大工序。其中绝缘包覆工序又是对产品性能质量起决定作用的关键工序。简单的说绝缘包覆工序是将细小的磁性颗粒表面上包覆一层绝缘膜，然后再进行压制成型，性能处理和涂装等后续工序而成为产品。具体来说，传统的绝缘包覆法首先是加入钝化剂进行表面钝化。钝化剂有三氧化铬、高锰酸钾等强氧化剂。现为使表面钝化均匀，大多使用较弱的磷酸作为钝化剂较好，其作用就是通过钝化处理使磁性颗粒表面生成一层均匀、完整的氧化膜层。第二步是将粘结剂如硅酸钠、硅溶胶和硅酸乙酯、W胶或FK胶等各种无机或有机类粘结剂溶解稀释并加入各种主绝缘剂如高岭土、云母粉、玻璃粉、石英粉等混匀后加入预热的磁性颗粒中搅匀并加热至干透，使磁性合金粉颗粒再包上一层绝缘膜层。为使磁性颗粒流动改善填充良好和减小产品与模具之间的摩擦力以延长模具寿命，还要加入适量之润滑剂，绝缘膜层必须尽可能薄而绝缘性能好，均匀牢固，以达良好绝缘包覆之效果。

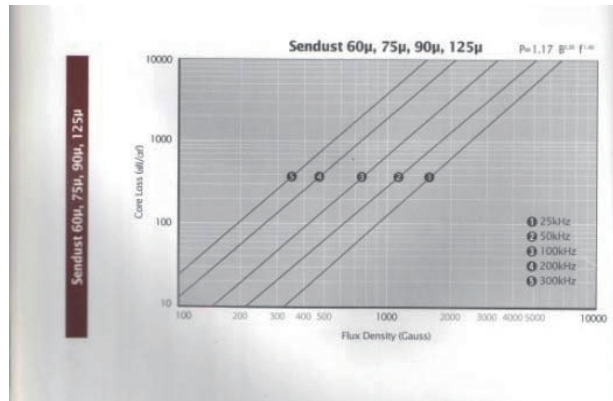
陈氏绝缘包覆法是积近五十年之经验而创造的全新方法。其中除了钝化过程只作了较小的改变外，其余在绝缘剂组成、加入量、加入方式和设备上等都作了较大的创新变化。我们还设计制造了适用的绝缘包覆机组件，以达到良好的绝缘包覆效果。其主要优点是：简单、经济、劳动条件好；均匀、牢固、绝缘效果好；综合体现在产品性能上好。

### 3 产品损耗的比较与结果分析

我们说：绝缘包覆是金属软磁粉芯生产的关键核心工序，绝缘包覆效果的好坏之具体体现也就是看其产品损耗的大小。损耗低说明绝缘包覆的质量效果好。我们比较的对象则是号称当今世界第一的世界名企之韩国昌星公司(CSC)的产品 CSC—CS270060 与我们的 CYP—CS270060 来比较。其产品大小中等，有效导磁率中等，绝缘量中等，是比较具有代表性的。各任选五只编号分别为 CSC—CS270060 - 1、CSC—CS270060 - 2、CSC—CS270060 - 3、CSC—CS270060 - 4、CSC—CS270060 - 5 和 CYP—CS270060 - 1、CYP—CS270060 - 2、CYP—CS270060 - 3、

CYP—CS270060 - 4、CYP—CS270060 - 5，各五只样品分别由华中科技大学研究生杨晶、武汉中磁浩源徐俊、中磁浩源(山西)杜飞雄分别测试结果如下：

(1) 首先我们来看看韩国昌星公司最新产品样本之CS系列  $\mu$ e60 之产品损耗曲线图：



由图曲线 2 我们可以看出：在 50KHz1000Gs 下硅铝系列  $\mu$ e60 产品的损耗约为  $280\text{mW}/\text{cm}^3$ 。按照其各种性能波动范围为  $\pm 8\%$ ，其损耗合格范围之最高值也不应超过  $302.4\text{mW}/\text{cm}^3$ 。

(2) 华科大研究生杨晶测陈氏磁业与昌星公司各取五只 CS270060 的对比测试损耗之结果如下：

试样及编号和测试条件	陈氏磁业					昌星公司				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
50KHz、1000Gs (mW/cm <sup>3</sup> )	367.35	385.27	369.6	389.8	389.76	427.84	452.48	427.84	434.57	436.8
各五样平均值	380.36 mW/cm <sup>3</sup>					435.91mW/cm <sup>3</sup>				
平均值之差	435.91-380.36=55.55 mW/cm <sup>3</sup>									
差值百分数	55.55 ÷ 380.36 × % = 14.6%									

(3) 上述各五样品中磁浩源(武汉)徐俊测试结果对比：

试样及编号和测试条件	陈氏磁业					昌星公司				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
50KHz、1000Gs (mW/cm <sup>3</sup> )	273.64	274.85	279.08	281.04	305.79	358.78	348.84	347.67	362.23	399.99
各五样平均值	283.48mW/cm <sup>3</sup>					361.9mW/cm <sup>3</sup>				
平均值之差	361.9-283.48=78.42 mW/cm <sup>3</sup>									
差值百分数	78.42 ÷ 283.48 × % = 27.66%									

(4) 上述各五只样品中磁浩源(山西)杜飞雄测试结果对比：

试样及编号和测试条件	陈氏磁业					昌星公司				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
50KHz、1000Gs (mW/cm <sup>3</sup> )	332.1	329.29	334.42	343.71	329.78	397.13	373.80	387.84	408.47	387.84
各五样平均值	333.96mW/cm <sup>3</sup>					391.04mW/cm <sup>3</sup>				
平均值之差	391.04-333.96=57.08 mW/cm <sup>3</sup>									
差值百分数	57.08 ÷ 333.96 × % = 17.9%									

下转151页