

软磁铁氧体的生产工艺

长沙变压器厂 刘明建

一、概述

铁氧体是三十年来迅速发展起来的一种新型非金属磁性材料。从电气特性来看,属于半导体范畴,所以有的铁氧体也称为磁性半导体。最近我厂在GR-1000/1~8中频感应加热变压器的生产中采用了Mn-Zn-400高饱和铁氧体。用它代替硅钢制造该变压器铁心,空载电流提高了,但铁耗几乎降低了1/10,而重量减轻了约50公斤。

这种铁氧体是属于软磁铁氧体。所谓软磁铁氧体是在较弱的磁场下,易磁化也易退磁的一种铁氧体材料,它的典型代表如表1所列。

表1 软磁铁氧体的分类

铁氧体系列	晶系	结构	频率范围 (兆赫)
锰锌MnO-ZnO-Fe ₂ O ₃	立方	尖晶石型	0.001~5
镍锌NiO-ZnO-Fe ₂ O ₃	立方	尖晶石型	0.001~300
甚高频MnO-BaO-Fe ₂ O ₃	六角	磁钻石型	300~1000

常用的锰锌铁氧体的配方为:

	Fe ₂ O ₃	MnO	ZnO
第一种配方	52~54%	28~32%	16~18%
第二种配方	50%	27%	23%
第三种配方	50%	25%	25%
第四种配方	80%	14%	6%
第五种配方	50%	30%	20%

二、铁氧体的生产工艺

1. 混磨

混磨是将原料均匀混合并粉磨达一定细度的过程。混磨时间根据球磨的类型、容量、原料的软硬程度和性能要求而定,一般为几小时到十几小时。

2. 预烧

预烧是将混合料在低于烧结温度下预先进行的焙烧。其目的在于提高产品的密度,便于

控制收缩,减少变形和易于成型,以保证产品的一致性和生产的稳定性。预烧的温度、时间和气氛取决于铁氧体的性能、收缩的大小和其它生产条件。

预烧温度: 500~1100℃;

预烧时间: 2~5小时;

预烧的气氛可为空气、氧气、氢气、氮气或真空。

3. 粉碎

粉碎是将预烧后的焙块制成一定细度的粉料,分粗碎、中碎、细碎和细磨等四种。其中主要采用细碎和细磨,使平均粒径能在1毫米以下。用水、酒精或汽油作助磨剂,防止粉料再聚成团。磨细平均粒径在100微米以下的粉料,可用传统的球磨;在10微米以下的粉料,可用二次球磨、振动磨、砂子磨等。

4. 造粒

造粒是铁氧体生产中性质比较复杂的工序,同一种方法,可能出现不同的结果。造粒又称“作料”,是将粉料作成大小适度且有一定颗粒形状的粒料。粒料流动性好,装料方便,分布均匀,有利于提高成型密度,改善均匀性,且可缩小模具的尺寸。目前所用的机械造粒方法是先在粉料中掺入适量的胶合剂,在混合均匀后经预压、破碎和过筛而成。

常用的胶合剂主要是聚乙稀醇,还有甲基纤维素、聚醋酸乙稀酯等。当聚乙稀醇的浓度为10%时,一般参量为粉料干重的4~15%,它与粉料的品种、细度、吸附特性,以及坯件的外形尺寸和成型压力有关。如外加少量硬脂酸铵、硬脂酸锌、松香和石蜡作润滑剂,可以收到更好的效果。

粒料的颗粒取决于料浆的浓度、供量、喷雾和干燥的速度。一般都在100微米以内,球

磨可小于1微米。

5. 成型

成型是将铁氧体粉料压成产品所要求形状的生坯。成型密度和机械强度应该有一定的要求，以免在烧结前破损、烧结后严重变形或开裂。成型方法有干压、挤压、热压铸等。干压是广泛采用的方法，特别对横向尺寸较大、纵向尺寸较小，而侧面形状简单的中小型产品最为适宜。

干压成型有单向加压和双向加压两种。前者的生坯上下密度不均匀，适用于压制较薄的产品；后者的生坯上下密度均匀，可压制较厚的产品，如图1所示。其压缩比

$$C = H_1/H$$

装料比 $L = 1/C = H/H_1$

式中H为装料高度， H_1 为生坯高度。

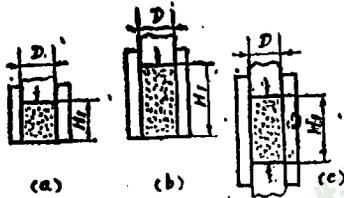


图1 干压成型图

a—单向加压，高宽比 $H_1/D=0.9$ ；b—单向加压， $H_1/D=1.8$ ，c—双向加压， $H_1/D=1.8$ ；D为坯料宽度。

生坯的成型密度 d_p ，用下式表示：

$$d_p \propto d_0 P^t / \eta$$

式中， d_0 为加压前粒料的松装密度，P为成型压力，t为加压时间， η 为粒料内摩擦参数（结构粘度）。

由上式可知：

a. 成型压力为0.5~10吨/厘米²时，成型密度为2.8~3.2克/厘米³，一般机械成型压力控制在1~3吨/厘米²。成型压力过大对提高成型密度不显著，反而易使坯料产生脆性断裂。

b. 加压时间短，坯料承受冲击载荷而开裂；加压时间长，生产效率低。所以压制速度应控制在20~30毫米/秒为宜。

c. 减小生坯的结构粘度，有利于提高成型密度，所以粒料应接近球形，且应选用适当的粘合剂。

d. 提高松装密度有利于提高成型密度。因此采用单一粒径的粒料容易发生“拱桥”现象，如果采几种大小不同的颗粒，按一定比例分级配合就可以消除“拱桥”现象，提高松装密度。一般采用二级配合法，粗、细粒料的平均粒径比控制在5:1~10:1之间。

此外，在去压脱模后生坯容易发生弹性膨胀。膨胀量和生坯内空气含量成正比，所以在模具设计和干压过程中要采取措施排除生坯中

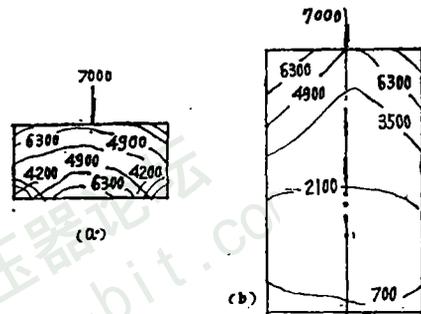
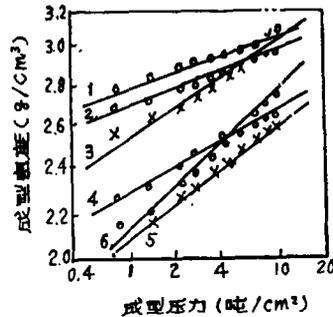


图2 不同高宽比时生坯中压力分布图
(单位为 kg/cm^2)

a—单向加压， $H_1/D=0.42$ ；b—单向加压， $H_1/D=1.66$ 。



曲线	预烧温度(°C)	球磨时间(小时)
1	1200	5
2	1200	15
3	1200	55
4	900	15
5	700	15
6		15(预烧前)

图3 成型压力和成型密度的关系

空气。

采用单向加压时成型密度一致性差,生坯高度 H ;大而宽度 D 小时更差,如图2、3所示。这是铁氧体产品各部份烧结收缩率不同的主要原因,见图4。

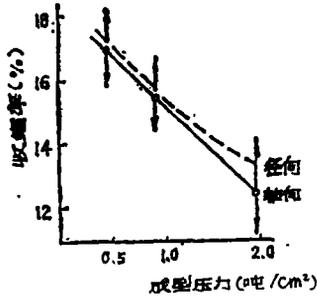


图4 成型压力对收缩率的影响

由图4可见,生坯成型方向(轴向)的收缩率要比其它方向(如径向)小。这是由于成型压力不均匀(图2)引起的,且成型压力越大,则其差别越显著,在生产时必须注意。

6. 烧结和热处理

烧结是将成型的铁氧体生坯在一定的温度下,锻烧结合成具有一定性能的铁氧体材料。

烧结是在箱式窑或隧道窑中进行,以硅碳(SiC)棒或硅钼(MoSi₂)棒作发热体。烧结的温度、时间和气氛取决于铁氧体的品种、性能、形状、尺寸和烧结的设备,可由试验确定。温度一般为1000~1400℃,保温时间从几十分钟至十几小时不等。近来为了进一步提高产品质量,采用了真空、气氛、热压、快速等烧结方法。

烧结后,还须根据产品形状和磁特性要求进行热处理。高磁导率的软磁铁氧体为了消除内应力必须高温退火、缓慢降温。

7. 加工

烧结后的半成品是一种脆性材料,只能磨加工成一定外形尺寸的产品。磨加工分粗磨、细磨和精磨(镜面加工)等三种。

在产品外部需用绝缘漆浸渍、烘干。这是因为铁氧体有较多的气孔,大气中水分借助于毛细作用使产品吸湿受潮,使产品无法正常使用的缘故。

四、烧结废品的分析

1. 分层

分层是压制品典型的废品。它是指压制品的某棱角部位产生由外向内的有明显分界面的裂痕。压制品出现分层,使电气性能、机械性能下降。消除分层的缺陷主要在于严格控制压制时的单位压力(我们选用500公斤/厘米²),选择合理的加压方法。当然烧结不当,如升温过急,也会使产品分层。

2. 裂纹

产生裂纹的主要原因是由于制品中某些部分应力集中所致。一般裂纹产生在制品密度不均匀的交界处,在烧结过程中会沿这些交界处裂开。裂纹废品通常出现于复杂形状的制品中。

改进压制方法,加强制品的干燥,提高压模质量,减慢烧结时升温速度,可避免裂纹的产生。

3. 弯曲

制品密度不一致时能引起不均匀的收缩,从而产生弯曲。这种现象常见于高度较大的制品中。要消除这种弯曲所采取的措施,与上相同。

制品烧结时,在软化状态下也会产生弯曲。这种现象常见于细而长的制品中。要消除这种弯曲,须将它们平放在磨光的石墨板上,再压上一块放有一定重量合金块的石墨板而进行烧结。

压制品本身的自重也会产生弯曲,这需改进装料的方法。

制品受热不均匀,也会因不均匀收缩而弯曲。