

线圈绝缘烘焙固化检测方法浅析

王小婷 裴晓梅 张琰帅

(电机事业部线圈车间,山西 永济 044502)

摘要 多胶模压结构线圈是我公司直流电机主附极线圈的典型结构,所使用的绝缘材料主要为多胶型材料,这种类型的材料需要经过高温烘焙固化,目前没有明确的检测线圈绝缘是否已完全固化的方法,只是通过经验值给定线圈烘焙时间,然后通过耐压检测合格即认为线圈合格。本文论述了一种通过绝缘电阻测试来检测线圈绝缘烘焙是否完全固化的方法,并说明了开展绝缘电阻测试法在实践中应用的必要性。

关键词 线圈绝缘 烘焙固化 绝缘电阻

0 引言

绝缘材料从其他形态转变为固态,或多种绝缘材料通过热、光、辐射、化学添加剂等的作用,产生化学反应,材料分子形成不溶不熔的三维网状结构,以使绝缘形成一个牢固、表面连续光滑的整体,此类过程统称为绝缘材料固化过程。

电机制造过程中涉及到材料固化的过程一般分为加热固化和常温固化。加热固化包括热压固化和烘焙固化。

直流电机主附极线圈所使用的绝缘材料主要分为三大类:多胶粉云母带,亚胺薄膜粘带和热收缩带,采用多胶模压绝缘结构,工艺特点是在线圈上连续包绕多胶绝缘材料,达到规定的层数和尺寸后,再经模具压制,高温烘焙后固化成型。但是,在线圈绝缘烘焙固化时经常出现一些问题,影响线圈的绝缘质量,以下进行详细说明。

1 线圈绝缘发泡

模压线圈由于成型过程中不能进行抽真空处理,只能在加压前通过缓慢升温,尽可能脱除挥发物质,并在适当的时机加压,才能保证线圈主绝缘材料的性能,故线圈绝缘中或多或少会残留一些可挥发物质。这些残留的可挥发物会影响主绝缘的绝缘性能。多胶模压线圈主绝缘的挥发物主要来自云母带中残留的酒精、丙酮、甲苯等挥发性溶剂,这些溶剂沸点低、饱和蒸气压高,高温下将产生很大蒸气压。尽管在主绝缘中只是残留微量的溶剂,但由于溶剂蒸气受到主绝缘的隔阻不能立即迁移到主绝缘的外面,必定会产生一定的压力,并在主绝缘的层间形成内应力,造成主绝缘的层间粘接性下降并产生

气隙,导致主绝缘介质损耗增量急剧增大、力学性能急剧下降、导热系数下降、密度下降、线圈外形尺寸增大、绝缘发泡。

尽可能减少或完全消除主绝缘中的挥发物,对确保线圈主绝缘的性能是非常重要的。主绝缘中即使存在少量挥发物,也会导致线圈主绝缘的耐热性和耐冷热循环能力大幅度降低。

鉴于目前的多胶模压工艺中没有真空脱除挥发物的工艺过程,为保证主绝缘的耐热性和耐冷热循环能力,线圈烘焙固化时的升温速度应尽可能慢一些,最好能增加真空脱除挥发物的工艺过程。

2 线圈绝缘局部发白

一般多胶绝缘材料在制造过程中胶粘剂的预聚程度较浅,胶化时间较长,这是满足储存及包扎工艺性所必需的。树脂的流动有填充气隙和排除挥发物的作用,使得结构的几何整体性良好。在起始状态下,树脂熔融粘度低,流动性好。由于模压时温度及压力不均匀等因素,压制线圈时树脂流失量难以控制,而且伴有较严重的流动不均及组份分级效应。而线圈在R角位置,由于绝缘材料绕包时堆积,绝缘层较厚,烘焙固化时所受压力较大,因此线圈绝缘会出现局部发白现象。在线圈对地热压模具设计时应考虑压力的均匀性,适当减小线圈R角的压力,保证线圈绝缘烘焙固化质量的一致性。

3 线圈绝缘整体性差

线圈烘焙固化时要选择合适的烘焙温度。绝缘材料在等速升温至固化开始时,会产生放热效应,放热开始温度即为绝缘材料固化开始时最低温度,放热峰值温度为固化最高温度。如果烘焙温度低于最

低温度,则能量不足,活化分子太少,凝胶固化时间较长(可能达数周甚至数月),绝缘材料在低温下固化速度较快会引起树脂胶流动性差,导致压制的线圈整体性差,还会引起挥发物来不及挥发而被固定在绝缘层内的现象,这会导致线圈电气性能的进一步恶化。若高于放热峰值温度,则反应速度太快,胶粘剂流动不充分,导致绝缘结构不致密。

线圈绝缘要想得到优异的电气、机械性能,除了保证多胶绝缘材料的产品质量,对线圈的工艺研究,工装设备的改进也是非常重要的。

由于线圈绝缘烘焙固化时易出现以上问题,影响其绝缘性能,且不易控制,因此对线圈绝缘烘焙固化的检测显得尤为重要。针对烘焙固化这一产品实现过程,我公司采用线圈绝缘固化后,对线圈分别进行电阻、匝间及对地试验这三种方法进行检测,但是线圈绝缘烘焙是否完全固化,一直没有可靠的检测方法。若线圈绝缘固化不彻底,虽然满足电机试验耐压要求,但电机无法达到最高耐压状态,影响电机的使用寿命。另外,线圈绝缘固化不彻底,会使绝缘材料层间粘结力下降,局部会逐渐形成空气隙,导致电场集中,绝缘受损,继而温升提高,导致线圈绝缘性能进一步恶化,绝缘受损愈加严重,直至击穿。因此,我们迫切需要研究出一种对线圈绝缘烘焙是否完全固化进行检测的可靠方法。

对烘焙固化进行检测有很多方法,热电阻法是检测方法中的一种。它是用试样在加热过程中(恒温或匀速升温)电阻的变化来研究某些过程的方法。高分子化合物在固化时由于分子量增大和形成体型网状结构,导电载体的运动受到阻碍,其绝缘电阻随时间的延长而增大,最后趋于稳定。因而,可以利用线圈绝缘电阻的变化来研究烘焙固化过程。在线圈绝缘烘焙固化后,可通过测试线圈的击穿电压、绝缘层的一体性及胶含量、固化率的方法来检测线圈绝缘是否完全固化。

直流电机主附极线圈绝缘目前采用在高温 180~190℃烘焙 8~9 小时进行固化,经过多次现场试验,研究出四种绝缘材料烘焙固化的检测方法。

方法一:绝缘电阻测试法

(1) 试验准备

绕制主极线圈 1 支,按照工艺要求对线圈进行绝缘包扎。包扎完成后用锡箔纸将线圈整体进行包裹,对线圈进行对地装模及烘培处理,烘焙按照温度 190℃,保温时间 9 小时进行,如图 1 所示。

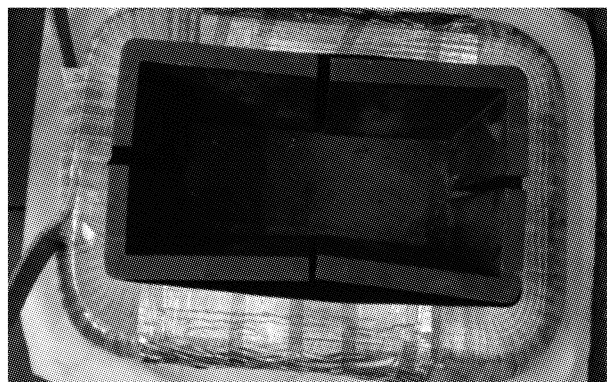


图 1 试验线圈

(2) 试验过程

在烘箱内放置试验线圈与两根连接线,用其中一根连接线一端接线圈引线头,另一端接绝缘电阻测试仪高压线,另一根连接线一端接模具模芯,另一端接绝缘电阻测试仪低压线,如图 2、图 3 所示。



图 2 接线图

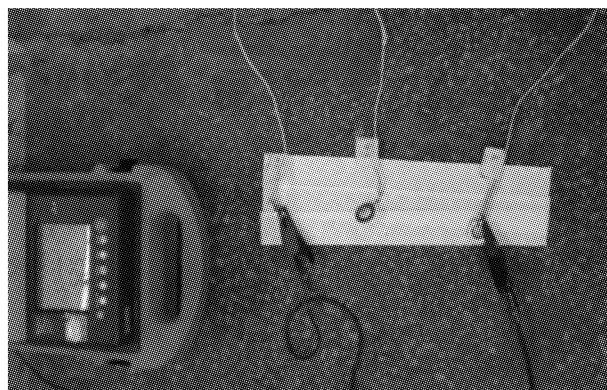


图 3 测试图

待烘箱温度升至 190℃后开始测量线圈 1kV 对地绝缘电阻,固化初期每隔一小时测试一次绝缘电阻,固化后期每隔半小时测试一次绝缘电阻,如表 1 所示。

表1 线圈绝缘电阻测试表

序号	测试时间	电压 1kV 时绝缘电阻(GΩ)
1	10: 30	2.15
2	11: 30	1.98
1	12: 30	1.82
2	13: 30	1.45
3	14: 30	2.55
4	15: 00	3.28
5	15: 30	4.16
6	16: 00	4.22
7	16: 30	4.38
8	17: 00	4.68
9	17: 30	4.91
10	18: 00	4.85
11	18: 30	4.94
12	19: 00	4.91
13	19: 30	4.98

数据统计完毕后,用折线图绘制出线圈绝缘电阻变化趋势图,如图4所示。

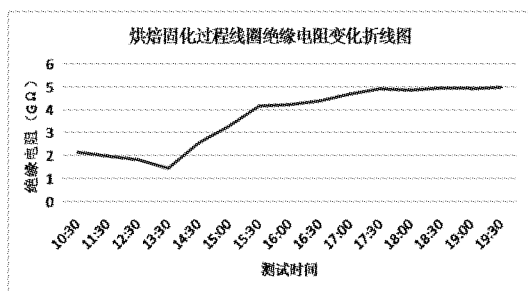


图4 线圈绝缘电阻变化曲线

方法二:击穿电压法

对线圈进行电气性能试验,做击穿电压,测试值换算成击穿强度应 $\geq 50\text{MV/mm}$,试验结果:击穿电压为21.77kV。

方法三:一体性判断法

烘焙固化后,用小锤轻敲绝缘层,敲击时有清脆的金属声。刨开试件绝缘层,绝缘层为一体,且不粘手,则说明绝缘材料固化性能良好。

方法四:绝缘层固化率检测法

拆掉线圈绝缘层,进行胶含量、固化率检测,若胶含量 $\geq 30\%$,固化率 $\geq 80\%$ 即为合格,试验结果如表2所示。

表2 绝缘层固化率检测表

序号	试验项目	单位	测试结果
1	胶含量	%	39.62
2	固化率	%	98.1

通过以上四种检测方法发现,由于方法一、二、

三、四之间有内在联系,可通过型式试验使用四种方法同时测试,待结果均正常时,确定方法一的曲线,用于日常检测。绝缘电阻测试法根据线圈的绝缘电阻随固化时间的延长而增大,最后趋于稳定的规律来检测线圈绝缘是否完全固化,是检测线圈绝缘烘焙固化的有效方法。

4 结语

以上实践告诉我们,线圈绝缘烘焙固化过程中对绝缘电阻进行测试,是一种简易有效的检测方法,但在实际运用中还应具体问题具体分析,不断地进行修改,以达到最优的检测效果。

参考文献

[1]GB/T 5019.8—2009,以云母为基的绝缘材料.