

标准编号等。每批货物还应有装箱单和产品质量合格证书等要求。

第二章 漆包线制造用原辅材料

第一节 漆包线漆

漆包线漆是漆包线的主要原材料之一,属于涂覆漆包线的专用涂料。它是一种有机高分子聚合物溶液,被涂覆在裸线表面上,烘焙后形成粘附牢固、具有一定强度、连续的固态漆膜,主要起着隔绝电流的绝缘作用。

一、漆包线漆的功能

漆包线的许多特性取决于漆包线漆的性能,如热级、是否具有直焊、自粘或耐氟特性等。因此漆包线漆是影响漆包线性能的关键材料。

漆包线漆除了使被涂导体具有介电性外,还能起到保护、标记、粘结导体等作用。

漆包线漆只有涂在导体表面形成漆膜后才能表现其作用。它的漆膜一般应具有以下功能:

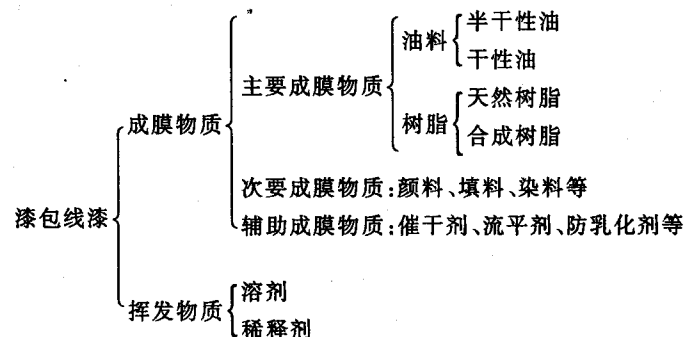
1. 具有良好的绝缘能力,特别是应具有较高的耐击穿电压值。
2. 具有良好的耐热能力,能在规定的温度下长期工作。
3. 具有良好的机械性能,即附着力、柔韧性好,硬度高。当漆包线在绕线过程中受到弯曲、摩擦、拉伸或挤压时不致损坏。

4. 由于漆包线的工作环境存在着许多其它化学物

质,因此漆膜还应具有良好的耐化学药品能力。例如,在潮湿的环境中不吸收水份,不使绝缘能力下降;当接触到油或溶剂时,漆膜性能不受影响。

二、漆包线漆的组成

漆包线漆的品种不断发展,日益增多,但综合起来,按其成膜作用划分,一般漆包线漆有如下几个组成部分:



1. 成膜物质

成膜物质由主要成膜物质、次要成膜物质及辅助成膜物质组成,是漆包线漆的主体部分。它经过烘焙后形成漆膜,粘附在导体表面,它对漆膜的性能起着决定性的作用。

主要成膜物质是构成漆包线漆的基础,所以又称漆基,没有它就不成为漆包线漆。主要成膜物质都是具有能起化学反应的官能团的线形高聚物,经过高温加热,聚合成不溶不熔的网状高聚物,即热固性漆膜。

主要成膜物质分为油料和树脂两大类。以油料为

主要成膜物质的,称为油性漆;以树脂为主要成膜物质的,称为树脂漆。树脂漆又分为天然树脂漆和合成树脂漆。

由于合成树脂形成的漆膜强度高,且易于改性,品种繁多,各具特色,因而随着科学技术的不断发展,合成树脂漆在漆包线漆中占的比重越来越大,而油性漆和天然树脂漆已不常见。

现代漆包线漆常采用多个品种树脂混合使用,互相补充,互相改性,以适应多方面的性能要求。

次要成膜物质和主要成膜物质不同,它不能离开主要成膜物质而单独构成漆膜。它的作用是使漆膜的性能有所改进,以满足更多的要求。如能使漆包线漆着色的染料、颜料;使漆包线漆具有润滑性的润滑剂等,都是次要成膜物质。

辅助成膜物质可以成为漆膜的一部分,但不能构成漆膜主体,只是对成膜过程或漆膜的性能起一些辅助作用。如能加快漆膜固化的催干剂;使漆包线漆易于流平,涂出的漆包线表面更加光滑的流平等,都属于辅助成膜物质。虽然辅助成膜物质的使用量很少,但它的作用却是很显著的。

目前,漆包线漆中的次要成膜物质和辅助成膜物质正起着越来越重要的作用。它们可合称为添加剂。它们的适当运用可以明显提高漆包线漆膜的许多性能。添加剂的研究是漆包线漆研究的一个重要方面,是各种漆包线漆改性的主要途径之一。纵观众多的漆包线漆

专利,大多数是将几种常用的合成树脂和其它材料进行组合或加入某些添加剂,以提高漆包线的产品质量和使用效果。

2. 挥发物质

目前使用的漆包线漆,绝大多数是有溶剂漆,即漆包线漆中含有挥发物质——溶剂和稀释剂。挥发物质均为有机溶剂,它只是在制漆和涂漆过程中起作用。一般来说,它在漆包线漆中所占的比例为 60~90%。当漆液涂覆于导体表面后,挥发物质经烘焙而逸出,原则上不应存在于漆膜中。

溶剂是能够溶解成膜物质的挥发性液体,是漆包线漆中的一个重要组成部分。可以说离开了它,漆包线漆就无法涂覆。溶剂的作用是使成膜物质溶解在其中,降低漆包线漆的粘度,使其具有良好的流平性,易于涂覆。良好的溶剂能增加被涂物体表面的湿润性,使漆包线漆易于渗透至被涂导体的空隙中,从而使漆膜具有较好的附着力。因此,溶剂虽然不参加成膜,但对漆膜的质量还是有较大影响的。同时,良好的溶剂还能增加漆包线漆贮存的稳定性,防止漆包线漆产生凝胶。

稀释剂是能稀释溶液的挥发性液体,它不能够单独溶解成膜物质,但它能和溶剂混合,降低漆的粘度,以适应涂线工艺要求。由于它和一定数量的溶剂配合使用,能使整个挥发物质有一个较宽的挥发温度范围,因而能使漆包线漆中的挥发物质在烘炉中平稳地逐步挥发。这有利于漆膜的形成和改善漆膜的光洁度。但稀释剂

的含量不宜过高,否则将降低溶剂的溶解能力,使成膜物质不能完全溶解,造成漆包线漆产生浑浊或沉淀现象,无法使用。合理和适当地使用稀释剂还可节约溶剂,降低漆的成本。

大多数漆包线漆,如聚酯、聚氨酯等的溶剂为甲酚。聚酰胺酰亚胺及部分芳香族尼龙漆的溶剂为 N-甲基吡咯烷酮。稀释剂多为二甲苯。

三、漆包线漆的基本特点

漆包线漆应能在高温下快速烘干成膜。所涂成的漆包线不但要表面光滑、色泽均匀,而且应能达到所需要的机械、电气、耐热及化学性能等方面的要求。因此,漆包线对漆包线漆的要求是非常严格的。

根据漆包线生产的工艺特点及产品性能要求,对漆包线漆的要求大致可归纳为以下几点:

1. 具有适当的表面张力,使漆液既有良好的流平性,又有拉圆和防垂作用。这样涂成的漆包线才能表面光滑,涂层均匀。
2. 具有较高的固体含量和较低的粘度,使漆膜容易涂厚。另外,固体含量高意味着挥发物质含量低,这样既能节约成本,又能减少污染。
3. 固化成膜要快,且内外一致,能满足漆包线高温快速的生产要求。
4. 应具有一定的涂线工艺裕度。
5. 在适当的涂线工艺条件下,涂出的漆包线应能达到相应的技术要求,并有一定的裕度。

6. 常温常态下,能在较长的贮存过程中保持粘度稳定,不变质。

当然,漆包工艺的合理性也是非常重要的。因为漆包工艺直接影响到漆包线漆能否充分发挥其特性以及漆膜的各种性能能否充分表现出来。只有将漆包线漆的应用特性与合理的漆包工艺正确配合起来,才能生产出满意的漆包线。

漆包线漆是按其成膜物质命名的,基本上与漆包线的命名一致。例如,成膜物质为聚酯亚胺的漆称为聚酯亚胺漆包线漆,它所涂成的漆包线即为聚酯亚胺漆包线。

第二节 常用漆包线漆

最早出现的漆包线漆是油性漆。它是一种以桐油、亚麻仁油等不饱和干性植物油作为漆基的漆包线漆。其中还加有一定量的松香改性酚醛树脂来提高漆膜的附着力、硬度、介电性能和耐热性能。它的溶剂为煤油。油性漆涂制的漆包线虽然具有成本低、耐潮性好、耐高频性好和易于涂线等优点,但其机械性能和耐热性能差,而且所用的原材料多为农副产品,因此已逐渐被淘汰。

三十年代首次出现了以合成树脂为主要成膜物质的漆包线漆——缩醛漆。缩醛漆由聚乙酸乙烯酯与甲醛、乙醛或丁醛缩合而成,以糠醛、甲酚等为溶剂。它可以加入少量其它树脂如酚醛树脂、三聚氰胺甲醛树脂、封闭二异氰酸酯等进行改性。

缩醛漆有许多性能不同的品种。例如有自粘缩醛漆、耐冷媒缩醛漆等。缩醛漆制成的漆包线具有良好的机械强度、热冲性能、耐水解性和耐变压器油性能,曾在五十年代鼎盛一时,在全世界漆包线的产量中占了很大的比例。但其耐极性溶剂性能和耐热性能差。随着七十年代对漆包线耐热等级要求的日益提高,缩醛漆包线已不适应发展要求,产量日趋下降,目前产量已极少。

五十至六十年代发明了聚氨酯、聚酯、聚酯亚胺、聚酰亚胺及聚酰胺酰亚胺等漆包线漆,直到现在它们仍被广泛使用,是常用的漆包线漆。下面就逐一介绍这些漆

包线漆。

一、聚酯漆

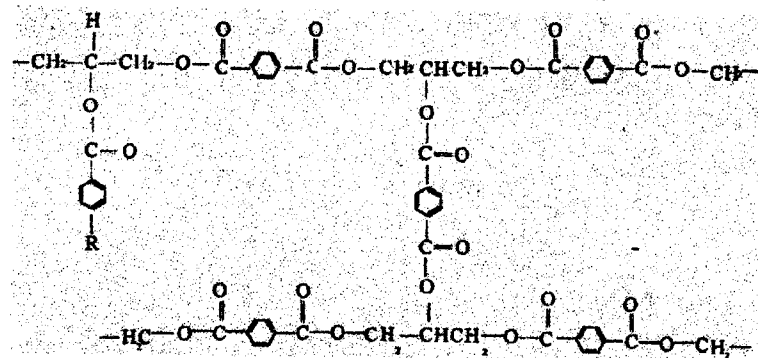
聚酯漆包线漆是将对苯二甲酸二甲酯与甘油、乙二醇等多元醇进行酯交换、缩聚反应生成的聚酯树脂,溶于甲酚、二甲苯等有机溶剂而制成的。普通聚酯漆的耐热等级为 130。

1. 聚酯漆的制造

首先,是溶化的对苯二甲酸二甲酯在高温下与甘油及乙二醇等多元醇进行酯交换反应。所生成的三种聚酯预聚单体在高温及负压条件下缩聚,生成带支链的线型聚酯树脂。当达到缩聚终点后,加入甲酚溶剂,使树脂溶解。在溶液状态下进行降解反应,以降低树脂分子量的分散性,提高聚酯漆的涂线工艺适应性及漆膜形成后的综合性能。最后加入剩余溶剂,搅拌均匀后,过滤放出。

2. 聚酯漆膜形成机理

聚酯漆中的聚酯分子链端或支链上都带有可进一步反应的活性羟基。漆膜的形成是在漆包烘炉里进行的。聚酯漆在涂线过程中,经高温烘焙,稀释剂和溶剂被逐步蒸发,聚酯树脂进一步发生一系列聚合及裂解等复杂的化学反应,最后形成了不溶不熔的坚韧的热固性聚酯漆膜。漆膜结构大致如下:



3. 漆配方的影响

聚酯漆中的甘油用量十分重要。甘油比乙二醇多了一个羟基。因此若其含量偏高,将使聚酯树脂中残余羟基较多,从而使树脂分子交联程度增高,形成的漆膜刚性增加,柔软性下降。这样虽然提高了漆膜的机械性能和耐溶剂性能,但相应地也影响了漆膜的弹性和热冲性能。若甘油量偏少,则树脂中的羟基含量少,使交联程度降低,形成漆膜的分子刚性下降,柔软性增加,因此漆膜光滑度差,耐刮性能低,软化击穿温度低,易吸潮,但漆膜的弹性和热冲性能好。

乙二醇用量太多会延长制漆反应时间,使漆包线表面光滑度差,耐溶剂和机械性能低,但热冲性能和弹性好。

一般在聚酯漆中还加有适量的添加剂,如固化剂正钛酸丁酯。正钛酸丁酯具有四个官能团 $-OC_4H_9$,它能在高温下与聚酯树脂中的官能团($-OH$ 、 $-COOH$)发

生反应,使树脂更好地交联成网状高聚物,从而使漆膜具有更好的机械性能和耐化学药品性能。同时也改善了漆膜表面的光滑程度。但过量将使漆膜的热冲及附着力等性能恶化。

4. 新型聚酯漆

为了提高 聚酯漆包线的耐热等级和其它性能,国内外都对其进行了大量的研究,极大地丰富了聚酯漆的品种。

提高聚酯漆耐热等级的常用途径有两种。一是用 THEIC——三(2-羟乙基)异氰脲酸酯代替或部分代替制漆配方中的甘油。二是在聚酯树脂中引入亚胺环。前者称为 THEIC 改性聚酯漆,后者称为亚胺改性聚酯漆。THEIC 中的含氮杂环和亚胺结构中的五元环限制了漆膜分子链节的自由旋转,从而提高了漆膜的耐热性。另外还有用加入聚海因来改进聚酯漆的耐热性。这些聚酯漆都称为耐热聚酯漆。

在欧美等国,耐热聚酯漆的产量很大。它们专门做复合漆包线,特别是耐氟漆包线的底漆,这是由于聚酯具有比聚酯亚胺更好的柔韧性和对铜导体的附着力。这种耐氟漆包线的热级同样可达到 200。

二、聚氨酯漆

聚氨酯漆是将多元异氰酸酯和多羟基化合物反应的产物溶于甲酚、二甲苯配制而成的漆包线漆。目前常用聚氨酯漆的热级为 130。

与其它漆包线漆不同,聚氨酯漆包线漆膜具有直焊

性,即漆包线不用刮去漆膜就可焊锡接头;聚氨酯漆包线的漆膜是无色透明的,因此可以在聚氨酯漆中加入染料或颜料,使漆包线具有各种各样的颜色;聚氨酯漆膜还具有耐高频的特性,即在高频环境下漆膜的介质损耗比其它类型的漆膜低。

1. 聚氨酯漆的制造

一般来说,聚氨酯漆中包含有多羟基聚酯树脂、封闭异氰酸酯等组份。

多羟基聚酯树脂的制造方法与前面所提到的聚酯漆的制造方法相同,只是三元醇所占比例更高些,这样才能使聚酯树脂中的羟基含量高,以提供足够的基团参加成膜反应。聚酯组份为聚氨酯漆提供了耐热性和机械性能。

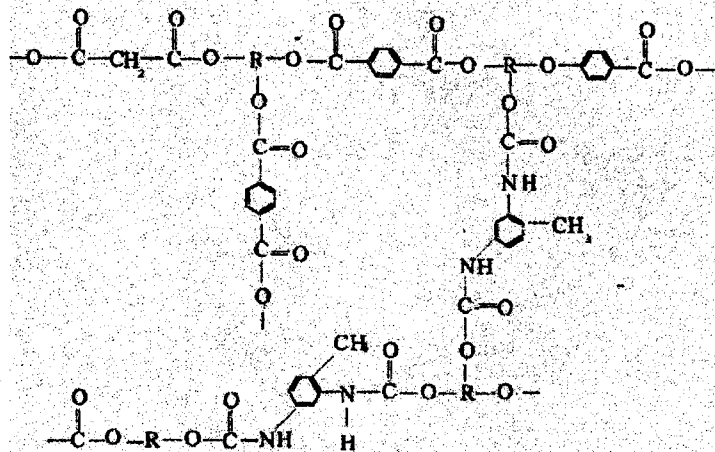
由于异氰酸酯中的 $-NCO$ 基团极为活泼,即使在常温下它也能与水、醇、酸等起反应。而对聚氨酯漆的要求是漆中的 $-NCO$ 基团要在漆包烘炉内参加成膜反应。为了使异氰酸酯中的 $-NCO$ 能稳定、长期地存在于聚氨酯漆中,必须将它“封闭”起来。即将异氰酸酯逐渐滴加到酚类物质中,使它与酚类物质反应,暂时失去活性。当进入烘炉后再恢复活性,参加成膜反应。

将这两种组份混合后即制成聚氨酯漆。

有的聚氨酯漆中还另外加有聚氨酯树脂。将异氰酸酯逐渐滴加入预热的多元醇(如乙二醇、甘油、二丙二醇等)中,反应完成后加入甲酚等溶剂,即可制成聚氨酯树脂。

2. 聚氨酯漆膜形成机理

在涂漆过程中,封闭的异氰酸酯在高温下受热分解。酚类物质挥发,使被封闭的 $-NCO$ 基团重新恢复活性,与漆中的其它组份——聚酯树脂和聚氨酯树脂中的羟基起交联反应,形成漆膜。漆膜大致结构如下:



从上式可以看出,聚氨酯漆包线漆中含有大量的氨基甲酸酯基 $-NH-COO-$,它在 300°C 以上的温度下可分解成 CO_2 、 NH_3 、 N_2 和 H_2 等气体,与之相邻的脂肪族链也分解为气态的低级烷烃、氢氧化合物等,使漆膜消失,铜线裸露。因此聚氨酯漆包线具有直焊性。

3. 配方的影响

由于聚氨酯漆的成膜主要是靠 $-OH$ 和 $-NCO$ 之间的反应来完成的,所以它们的比例对聚氨酯漆包线性能有很大的影响。若 $-OH$ 与 $-NCO$ 的比例小于 1,则在漆中产生一定量的游离 $-NCO$,使形成的漆膜附着

力差;若比例大于 1,则在漆中存在一定量的游离 $-OH$,使漆包线焊锡性能下降。

4. 新型聚氨酯漆

由于聚氨酯漆具有直焊及涂速快等特性,它的发展十分迅速,品种繁多。发展方向有如下几个方面:

(1)耐热聚氨酯漆。聚氨酯漆可通过在漆基树脂中引入亚胺组份来提高其耐热性能。目前,155 级聚氨酯漆的产量逐年提高,以欧美地区为最多。180 级聚氨酯漆也已出现。

(2)低温快速焊锡的聚氨酯漆。为了减少焊锡时对邻近漆膜的伤害,需要降低聚氨酯漆包线的焊锡温度或减少焊锡时间。在聚氨酯漆中加入各类添加剂进行改性可达到这一目的。普通聚氨酯漆包线的焊锡条件为 $375^{\circ}\text{C}/1\sim 2\text{s}$,而经过改性的聚氨酯漆包线可达到 $285\sim 315^{\circ}\text{C}/1\text{s}$ 。这方面的专利非常多。

(3)针孔性能好的聚氨酯漆。普通的聚氨酯漆包线在伸长 $2\sim 15\%$ 后会产生大量的针孔,即所谓的龟裂。这是漆包线绕制线圈时产生短路的原因之一。而经过改性,例如用 4,4'-二异氰基二苯甲烷全部或部分代替 2,4-甲苯二异氰酸酯或加入高分子量环氧树脂,聚氨酯漆包线在伸长 $0\sim 15\%$ 后,针孔数极少,甚至为零针孔。

另外,还有一些具有特殊性能的聚氨酯漆。例如,自粘性聚氨酯漆,无磁性聚氨酯漆,阻燃性聚氨酯漆和耐冷媒聚氨酯漆,等等。

后再绕成线圈,低温加热后使线圈粘结成型。

而从自粘漆漆基树脂的热性能方面,自粘漆可分为和热塑性和热固性两类。所谓热塑性,指的是树脂可以反复熔融-硬化而不失去其粘结特性。而热固性树脂在固化后便不可熔融。大多数自粘性漆包线漆属于热塑性,如缩醛自粘漆、脂肪族尼龙漆;少数属于热固性,如环氧自粘漆。实际上,热固性自粘漆并不是真正意义上的热固性树脂,因为它在非常高的温度下仍然会熔融。只不过是它的再熔融温度高,而且在固化线圈时自粘层发生交联反应,所以仍称它为热固性自粘漆。

从漆基树脂方面,自粘性漆可分为以下几大类:

1. 缩醛类自粘性漆

缩醛类自粘性漆是最早出现的自粘漆。早期的缩醛自粘漆采用的是聚乙烯醇缩丁醛树脂和聚乙烯醇缩甲醛树脂,溶剂为乙醇、异丙醇或丙酮。除了自粘性,它还具有直焊性。它既可热粘结又可用溶剂粘结。粘结温度范围为 150 ~ 170℃。它的耐热等级较低,一般为 105 ~ 120。但通过改性,如用异氰酸酯、酚醛树脂或聚酯树脂等改性,可提高耐热性,能在 150℃ 下仍保持良好的粘结强度;也有采用胺类化合物进行改性以提高粘结强度。但一般来说,缩醛类自粘漆的再软化温度低,耐热性差,粘结强度低,吸湿性大,因此目前应用较少。

2. 环氧类自粘性漆

环氧类自粘漆只能采用加热方式进行粘结成型。由于稀释性好,它可以制成很高的固体含量。它的耐热

性好,吸湿性小,涂层硬度大,再软化温度高,粘结成型的线圈尺寸稳定、不易变形。它的缺点是粘结强度较低,粘结温度偏高(170 ~ 200℃),在通电加热时要使用较高的电压,有造成线圈层间短路的危险。

环氧自粘漆有许多改性产品。例如,用胺类化合物改性以提高粘结强度,降低粘结温度;用三聚氰胺树脂改性来增强漆包线的粘结性能、耐化学药品性能和击穿电压;用双酚 A 型环氧树脂和三聚氰胺树脂等制成的自粘漆具有良好的耐氟性,可与聚酯亚胺、聚酰胺酰亚胺漆配合涂成三涂层自粘漆包线,用于密封压缩电机的绕组;等等。

3. 尼龙类自粘性漆

尼龙类自粘性漆是近十几年来发展最快的自粘漆品种。通过尼龙新材料的应用和对漆配方的改进,这类自粘漆显示出越来越多的优点。

尼龙类自粘漆具有直焊性。它的粘度高而固体含量低,因此适用于模具涂漆。尼龙自粘漆可分为两类。一类是脂肪族尼龙,另一类是芳香族尼龙。

脂肪族尼龙自粘漆涂线时的烘焙温度一般以 400℃ 左右为宜。它的粘结强度高于缩醛类和环氧类自粘漆,再软化温度在 110 ~ 170℃ 之间。它具有低温粘结的特点,能在 170℃ 下采用烘焙或通电方式粘结,亦可用溶剂粘结。这类尼龙自粘漆多采用以尼龙 12 为主的共聚酰胺,而以其它尼龙成份来控制树脂的融点,以酚类或其它树脂作为交联剂及粘度调节剂。

芳香族尼龙自粘漆涂线时的烘焙温度一般为 400 ~ 450℃。它的耐热性好,粘结强度大,漆膜表面摩擦系数小,耐溶剂及耐化学药品性能较脂肪族尼龙漆好,适用于以 155 或 180 级聚氨酯、普通或直焊聚酯亚胺或以聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺为内涂层的复合漆包线。它采用加热方式粘结成型,需要较高的粘结温度才能得到良好的粘结效果,再软化温度能达到 180℃。

通过改性可以得到各具特色的尼龙自粘漆。例如,添加苯酚树脂,可提高耐热性能、耐变形性能及粘结性能;用异氰酸酯、对苯二甲酸和 6C 以上的二元酸制成的尼龙自粘漆,具有优越的热性能,并有耐氟性及耐潮性,它的再软化温度为 200℃;用某种尼龙共聚物制成的自粘漆,可在 160℃下粘结成型,并在 130℃下仍可保持良好的粘结强度,等等。

4. 其它类型的自粘性漆

除了上述较为常见的自粘漆外,还有一些专门用于有特殊用途的漆包线的自粘漆。例如,耐高温的聚酰亚胺和聚酯自粘漆,它们的粘结温度很高,一般都在 200℃以上;自粘性聚酯漆,它可用溶剂或通过加热粘结成型,它的粘结温度为 175℃,在 125℃下仍能保持粘结,等等。

第四节 其它原辅材料及线盘

除了漆包线漆以外,导体材料也是漆包线的主要组成部分。漆包线的一些机械性能如伸长率、回弹等主要取决于导体的质量。漆包线导体有铜导体和铝导体,其中以铜导体占绝大多数。

另外,在漆包线的生产过程中,还用到其它一些辅助材料,如漆包线表面润滑剂、线盘等。

一、铜导体

铜具有良好的导电性及导热性。它的导电性仅次于银,导热性仅次于金和银。它还具有一定的机械强度,有足够的抗拉强度和伸长率。且耐腐蚀性较好,易于焊接。因此,是漆包线理想的导体材料。

漆包线所用铜线分圆铜线和扁铜线两种,它们的各项性能及规格尺寸应分别符合 GB3953《电工圆铜线》和 GB5584《电工用铜、铝及其合金扁线》中的要求。

铜材质量对漆包线性能有直接影响。例如表面有毛刺或铜粉,使漆包线电压和针孔性能下降;表面有氧化层,使漆包线漆膜附着力下降;不圆度太大,使漆膜厚度不均匀;退火不充分,会影响漆包线的伸长率、柔软性和回弹角,等等。

在 GB3953 和 GB5584 中分别规定了圆铜线和扁铜线的尺寸偏差、机械性能、电性能和外观等要求。但一般来说,漆包线生产厂都会制定比国标要求更高的技术条件,以期生产出高质量的漆包线。技术条件主要包括

表面质量、尺寸偏差等内容。

1. 表面质量

铜线表面应光洁平滑,不得有三角口、毛刺、裂纹、机械擦伤、波浪、黑斑、夹杂物、氧化层和油污。不允许有因拉丝润滑剂或油渍引起的变色。扁铜线的圆角要光滑,边与圆弧处不允许产生锐角,同时还要求成轴的铜线排线应平整,线匝不得紊乱、松弛。

2. 尺寸偏差

由于各厂的漆包设备不一样,导线在加工过程中的拉细程度也不同,因此规定的尺寸偏差也不同。现将某厂内控尺寸介绍如下:

表 2-1 圆铜、铝半成品尺寸偏差 mm

标称直径	允许偏差	截面不圆度 ≤	标称直径	允许偏差	截面不圆度 ≤
0.010~0.025	+0.001, -0.001	0.001	1.500~1.590	+0.015, -0.008	0.015
0.026~0.070	+0.002, -0.001	0.002	1.600~1.690	+0.016, -0.008	0.016
0.071~0.240	+0.003, -0.002	0.003	1.700~1.790	+0.017, -0.009	0.017
0.250~0.390	+0.004, -0.002	0.004	1.800~1.890	+0.018, -0.009	0.018
0.400~0.550	+0.005, -0.003	0.005	1.900~1.990	+0.019, -0.010	0.019
0.560~0.700	+0.006, -0.003	0.006	2.000~2.110	+0.020, -0.010	0.020
0.710~0.740	+0.007, -0.004	0.007	2.120~2.230	+0.021, -0.011	0.021
0.750~0.840	+0.008, -0.004	0.008	2.240~2.350	+0.022, -0.011	0.022
0.850~0.940	+0.009, -0.005	0.009	2.360~2.490	+0.024, -0.012	0.024
0.950~1.050	+0.010, -0.005	0.010	2.500~2.640	+0.025, -0.013	0.025
1.060~1.170	+0.011, -0.006	0.011	2.650~2.790	+0.027, -0.014	0.027
1.180~1.240	+0.012, -0.006	0.012	2.800~2.940	+0.028, -0.014	0.028
1.250~1.390	+0.013, -0.007	0.013	2.950~3.140	+0.030, -0.015	0.030
1.400~1.490	+0.014, -0.007	0.014	3.150~3.240	+0.032, -0.016	0.032

表 2-2 扁铜、铝半成品尺寸偏差 mm

标称尺寸 a 或 b	允许偏差
$a(b) \leq 3.15$	+0.030, -0.015
$3.15 < a(b) \leq 6.30$	+0.050, -0.025
$6.30 < b \leq 12.50$	+0.070, -0.035
$12.50 < b \leq 16.00$	+0.100, -0.050

二、铝导体

铝的导电性能仅次于银、铜、金而居第四位。它具有良好的导热性和耐腐蚀性。铝可与空气中的氧气起反应,生成一层薄薄的致密的氧化铝膜。氧化铝膜能保护内层铝,防止进一步氧化。铝的可塑性强,易于用压力加工成各种形状的产品。但是铝的抗拉强度低,在漆包机的高温烘炉中容易被拉细,而且它的硬度也较铜低,线材表面更容易受到损伤。因此,铝作为漆包线的导体材料受到了一定的限制。但由于铝的来源广泛、可靠,价格便宜,所以漆包线的“以铝代铜”,还是有一定的经济意义。

铝导线的各项性能及要求应符合 GB3955《电工圆铝线》和 GB5584《电工用铜、铝及其合金扁线》中的要求。

三、漆包线表面润滑剂

尽管合格的漆包线均有光滑的表面,但当漆包线被绕制成线圈时,对其表面光滑程度的要求是远远高于漆包线本身固有的光滑程度的。因此,在漆包线表面必须涂覆一层薄薄的表面润滑剂。它的作用是使漆包线排

α ——导线电阻温度系数(铜为 0.004)

V ——退火导线的速度(m/s)

三、其它退火方式

除电热式、大电流接触式退火外,还有工频感应式、气体燃烧式和利用废气加热退火。

工频感应式退火其原理相当于一台变压器。被退火的导线为变压器的副边绕组,当原边绕组通过 50Hz 交流电时,因电磁感应,在副边导线上产生短路电流,电流的大小可通过原边的电压来调节,使其达到工艺条件所需的退火温度。

气体燃烧式退火是用可燃烧气体,如煤气、天然气等燃烧放出大量的热量,用循环风机在炉内循环,使导线退火。通过调节气量的大小,可控制退火炉内的温度。

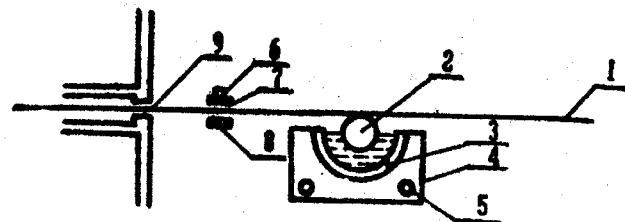
利用废气加热退火是指将烘炉催化燃烧后,将部分排出的高温气体送入退火炉加热隔腔,达到导线退火的目的。利用废气加热退火,可节省能耗,降低生产成本,但退火工艺温度受到漆包线生产头数、漆的类型以及催化剂性能的影响。国外的漆包机退火炉也有采用混合式的,即部分用废气加热,其余用电加热。

第四节 涂漆装置

涂漆装置是把各类绝缘漆均匀涂敷在导线表面上所用的装置,不同的涂漆方法,涂漆装置的结构也就不同,这里介绍几种常用的涂漆装置。

一、卧式涂漆装置

1. 辊筒加毛毡涂漆装置如图 3-10a



1. 涂漆导线;2. 输漆滚筒;3. 漆槽槽蕊;4. 漆槽外套
5. 电热装置;6. 压板;7. 毛毡;8. 回流板;9. 炉口

图 3-10a 辊筒毛毡法示意图

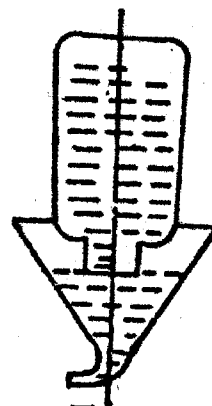


图 3-10b 扣瓶法
供漆示意图

这种装置是根据漆的粘度大小,靠调整辊筒转速快慢,毛毡夹的松紧,来控制涂漆量,从而控制涂在导线表面的漆膜厚度。漆位的控制方法有两种,一种是扣瓶法如图 3-10b,根据压差原理保持漆槽液位不变;另

第六节 收线装置

漆包线的收线装置包括收线牵引(定速)、排线、成轴收线等。收线装置有两种形式,一种是单头漆包线独立收线,另一种是一组多头漆包线同时收线。

一、牵引装置

漆包机的生产工艺速度是靠收线牵引装置来调节的。其传动变速机构有机械式和电气式两种。

1. 机械无级调速

主传动采用交流异步电动机,以带有摩擦块的平皮带为中心体,在主传动和从动轴上安装一对圆锥摩擦轮,随着带块的平皮带沿着圆锥摩擦轮轴向作移动,使得与其接触的两个圆锥摩擦轮的半径之比被改变,而引起了传动比的改变。这种变速器适用于低速传动,采用这种方式调速,结构简单,维修方便,造价低,但调速精度差。国产老式漆包机常用这种结构。另一种调速方式,如平盘钢球式无级调速变速器,它是在主传动和从动轴之间安装一对平面摩擦转盘,通过径向移动两个转盘中间的平盘钢球移动架来改变传动比实现无级调速的。这种变速器结构复杂,体积小,调速精度较高,但造价高,维修困难。

2. 电气无级调速

这是目前应用最多的调速方式。主要有直流调速或交流变频调速,经减速器或齿形皮带轮带动牵引轮(定速轮)。通过调节电子电位器,改变牵引轮的线速

度。这种机构调速精度高,速度稳定,带电子速度显示(LED显示),直观、操作方便,容易实现漆包机运行状态跟踪和整机的自动化控制。但这种调速方式控制系统复杂,维修难度大,造价高。为了提高产品质量,现在的漆包机牵引机构大都采用电气无级调速。

二、排线装置

漆包机排线装置的优劣,直接影响着漆包线的排线是否整齐均匀,而排线的好坏又影响着漆包线用户的绕线速度和生产效率。漆包机的排线机构一般有以下几种形式。

1. 螺杆排线

这种排线机构传动系统是由一个交流电动机带动,采用适当的变速装置,并由行程(限位)开关控制电动机正、反转使排线丝杆顺、逆转,带动排线架往返移动,达到排线的目的。调整行程开关的位置,可改变排线的行程。国产多头组合漆包机多采用这种形式来实现多头漆包线整体排线。

2. 箱体移动排线

这种排线方式多用于多头卧式收线的整体排线,排线架不动,收线盘箱体往返运动,从而达到排线的目的。

3. 光杆排线

光杆排线的原理是排线器内装有三个内环为圆弧表面的球轴承作为滚动环,三个滚动环按一定斜度排列成虚拟螺纹状如图3-16,与光杆的表面靠摩擦力接触,当光杆朝一固定方向旋转时,排线器会沿着光杆的

轴向作直线往返运动,调节斜度可改变排线器的运行速度。

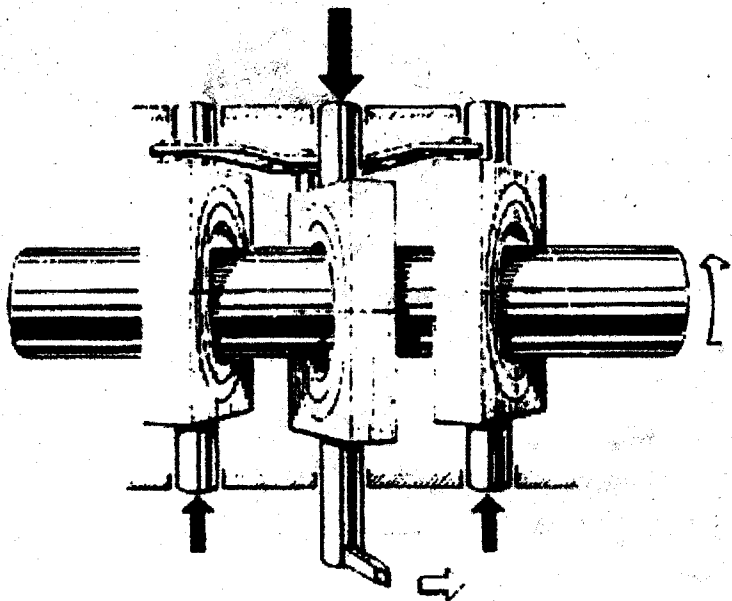


图 3-16 排线器原理图

三、收线装置

漆包机的每一头漆包线都有一个独立的收线驱动装置。低速漆包机通常采用交流力矩电动机,高速的漆包机则采用直流电动机或交流变频电动机来带动收线盘,实现漆包线成盘绕线。收线有单盘收线手工操作换盘和双盘(一盘备用)自动换盘收线。单盘收线适用于低速生产中、大规格的漆包机。细小规格的漆包机若采

用单盘收线时,也可借助气动吸枪实现换盘。大容量、高速的漆包机则采用自动换盘收线装置,以降低劳动强度和生产成本。

四、张力控制装置

漆包机收线牵引轮的线速度是一定的,即漆包线的线速度一定。如果收线的转速是固定不变的,则随着收线盘卷绕线径的增大,收线盘的线速度会大于牵引轮的线速度,漆包线就会因张力增大而被拉细或被拉断。为保持收线张力的恒定,收线盘线径增大时,收线盘的转速就要适当地降低。方法是采用具有恒功率特性(近似卷绕特性)的力矩电动机加调压器控制张力,也可采用通过收取张力变化信号(如摆杆)控制直流电动机或交流变频电动机的转速控制张力的恒定。

五、断线停车装置

断线停车装置用于漆包机生产过程出现断线时,控制收线停车。其检测元件通常装在放线装置的导向轮上,一般可采用非接触式感应开关,通过功能组件检测导向轮是否停转,判定断线。

2. 导线接头机

接头机是漆包线生产过程不可缺少的辅助设备。当导线用到端头或产生断线时,就需要接头。接头的方法有几种:如采用酒精灯接头(适用于小规格),对焊机完成焊接头,冷焊机冷挤压接头等。其中用冷焊机完成的接头,导线的机械性能最好,但冷焊机的造价高,一套冷压模最多只能加工两个相近规格的模孔,只有在带连拉机、大规模生产时,才能体现出其价格性能比优的特点。

3. 复绕机

复绕机的作用在于当漆包线生产过程中出现质量问题时,或对质量有所怀疑需要检查盘内层的情况时,或对排线不够整齐以及外层表面碰伤线轴损坏,都需要对漆包线进行复绕。复绕机的原理类似漆包机的收线、放线装置,但其结构和控制方式要简单得多。

第九节 国外漆包线生产设备发展状况

代表漆包线生产设备世界先进水平的应属奥地利的 MAG 公司和意大利的 SICME 公司。

漆包机的发展方向主要体现有:不断提高单头漆包线的产量,降低生产成本,注重环保和保证产品质量的稳定和均一。

这两家的设备在 80 年代漆包机的单头 DV 值还普遍停留在 30~60 之间,如 MAG 公司的 H 型、HN 型、VL 型、VN 型等, SICME 公司的 SEM、SEL 等机型。到了 90 年代末单头 DV 值发展到了 100~150 之间,代表机型有 MAG 公司的卧式机 HES4 的单头 DV 值为 120, HESF4 的单头 DV 值可达 150。立式机 VE6 的单头 DV 值为 100。SICME 公司的卧式机 SEL575 的单头 DV 值为 120, 立式机 SV1000 的单头 DV 值为 100。

这两家公司在追求高速的同时,以降低生产能力为前提,将漆包机的头数减少,以降低设备制造费用和占地空间,而且整机的标准化和通用化程度进一步提高,可以很方便的组成不同头数的漆包机,以满足用户的不同要求。高速带来了漆包机各装置的不断改进。

一、连拉装置

连拉机一般选择独立的拉丝单元,同时带两套放线装置,达到半自动更换半成品,并有放线张力调节装置。连拉模子的道数增多,最多可到 15 道。适合于大规格、大容量进线,这样半成品的规格可以单一和统一,便于

库存管理。连拉机自带摆杆控制张力,实现高速下的同步跟踪,使连拉机的生产规格范围可以更宽。

二、退火装置

为保证高速下导线退火能满足漆包线生产的工艺要求。奥地利的 MAG 公司和意大利的 SICME 公司都采用加长退火炉,一根导线配一个独立的退火装置。控温点由过去的单点加热控温改为双点分段加热控温,立式机甚至三点分段加热控温。炉子结构做得轻巧,安装维修方便。其中以奥地利 MAG 公司的退火加热方式有独到之处,它不再采用传统的用电热管辐射加热方式,而是通过一套低电压大电流发生器,直接在退火管外套的导电材料上通过大电流,把电能转化为热能,以达到对导线退火的目的。可设定两种温度,即穿线温度和正常生产工艺温度,当导线的线速度超过设定的穿线速度后,退火炉的加热温度会在短时间内升到工艺设定温度,断线时退火炉的加热温度会降到设定的保温温度。这种装置能做到全方位、无死区地均匀加热,效能高。目前漆包机制造商已研制出等离子退火炉,相信它将给人们带来一种全新的概念。

三、烘炉装置

奥地利的 MAG 公司和意大利的 SICME 公司对漆包机烘炉的结构设计都投入了大量的资源。MAG 公司在 90 年代初的设计思路是催化前温度控制在 550°C 左右,采用二次催化燃烧热风循环系统,使蒸发的溶剂达到充分燃烧,降低排废污染。但这种结构主循环的催化剂有

效寿命不长,且需要经常停车清洗。而 SICME 公司的设计思路则是把催化前温度控制在 700°C 左右,其目的是使蒸发的溶剂在进入催化室前已充分燃烧。大大延长了催化剂的使用寿命,可以在 3~5 年内做到免维护。进入 90 年代末,两家的漆包机烘炉设计思路逐渐走向雷同,主要是催化前的温度都采用了高温加热,实际温度可达 $750^{\circ}\text{C} \sim 850^{\circ}\text{C}$,在高温下蒸发的溶剂被充分燃烧,而且生产过程产生的杂质也都被烧得精光。炉膛内不易出现烟油,延长了设备不停车生产周期。采用高温加热使设备的装机容量大幅度提高,但漆包线吨产量的电耗却下降了。由于环保的要求,目前国外已有采用紫外线固化树脂的方法来制造漆包线,这种新技术虽然目前还没有大规模被应用,但随着人类对环保的意识越来越强,它是一个发展方向。

四、收线装置

随着漆包机的生产速度不断提高,原先多头组合式收线系统已向独立式收线装置发展。由于高速,人工换盘已不可能,全自动换盘系统被普遍使用。排线系统则采用步进电机带动滚珠丝杆排线器,通过光栅自适应测控,对收线盘进行 X、Y 轴坐标扫描。采用大容量收线,规格在 $0.10\text{mm} \sim 2.5\text{mm}$ 的漆包线,每盘重量可达 100~300 公斤。国外甚至使用更大容量的铁盘或成圈收线,重量可达 600 公斤以上。

五、在线检测装置

近年来国外漆包机制造商为确保漆包线生产过程

品质受控,在其设备上大量增设了在线检测装置。主要有:

1. 针孔在线检测

针孔在线检测有高、低压之分,高压针孔主要针对模具涂漆的漆包线,低压针孔主要针对小规格毛毡涂漆的设备。

2. 粒子在线检测

主要用于在线检测漆包线表面的缺陷,避免有缺陷的产品混到用户手中,给用户造成经济损失。

3. 外径在线检测

主要利用激光测径的方法,确保漆包线生产过程产品尺寸稳定和均一。

国外厂家甚至还可以在生产过程中,对有缺陷的漆包线进行喷墨作记号,根据工艺检验标准,定长对缺陷数进行报警。

六、电气自动控制系统

国外漆包机制造厂家为确保漆包机的可靠运转,提高自动控制水平,大量采用了 PLC(可编程序控制器),对设备的各个部件进行监测和控制。近几年又发展到 PC + PLC,实现人机对话,从生产现场操作控制发展到通过网络实现远程监控,可将生产计划、产品标准通过 PC 直接下达,对任务的完成情况、设备运行状态、产品质量的动态检测以及包装进库等都可以通过 PC 将各种数据反馈到有关部门。

调速系统全面采用变频调速替代直流调速,有的变

频调速的频率用到 200Hz,配备了特殊的变频电动机。所用的变频器均为数字式变频器,功能完善,可满足漆包机拖动系统的控制要求,功能组件一体化。使整个控制系统所需的电器件大为减少,故障率下降。

PLC 负责对漆包机各执行装置的工作控制和检测,是漆包机的生产运行指挥中心。PC 方面则通过液晶显示触摸屏,以图文菜单的方式供操作人员选择设置,进行人机对话。PC 的程序设置通常分为三级:

1. 操作员级:可看到退火炉、烘炉的工作状态。

2. 工艺级:除以上功能外,增加了记录,保存所有工艺设置的变化。

3. 管理者级:除以上功能外,可设置保护模式,备份资料,通过授权可进行程序更改等。

收线控制终端采用虚拟仪器测试技术,对收线各部件的运行状态进行跟踪、测试和参数调整,可直接从显示面板得到其运行状态的参数,使测试和调整这些参数时,变得简单方便,不再需要借助电工仪表或电子测试设备。

第六节 在线检测

为确保漆包线生产过程品质受控,稳定产品质量,体现质量要控制在生产过程中的宗旨,近年来,大量增加了在线检测系统,在线检测根据其用途可以分为两大类。

一、在线检测产品性能

该类在线检测仪器的功能是检测与漆包线成品线性能有关的质量缺陷,如高压针孔、粒子、外径尺寸等,这些质量项目通过 100% 的光或电仪器进行检测,可以控制生产过程的不良品率,隔离不合格品,防止不良品流出厂,以致在顾客使用中发生质量事故。

这些检测项目可以通过计算机网络,可以当机或联网远程监控,同时计算机不间断的控制和记录,满足了生产过程的需要,为生产出优质的产品提供了可靠的保证。

1. 粒子检测

漆包线的表面质量不仅仅是表面的问题,它还涉及到漆膜内在的多种性能指标,因而对漆包线表面质量的检测成为产品检测的首道工序,能够在生产过程中对漆包线表面粒子进行在线检测,就可以极大程度地避免有粒子缺陷的线段隐藏在线轴中,而过去这种隐患往往会逃过人工检测,待顾客使用时才发现。

粒子检测在日本管理的漆包线制造工厂得到广泛使用,不论立式机还是卧式机,粒子检测作为主要的检

测项目。

粒子检测被日本广泛使用有其道理,日本在质量管理方面有独特的见解和得力的措施,从质量控制和成本管理角度出发,可以说依靠粒子检测就可以实现质量控制。而若仅依靠针孔检测或外径检测,则不能完全保证品质,因为有粒子的漆包线,高压针孔仍有可能是合格的,对于实心粒子,高压针孔通常无法测出。

通过粒子在线检测,获得表面质量良好的成品线,只要依靠设备的正常运转,一般就可获得合格的产品,当然在线检测设备的仪器也要装备。

2. 漆膜连续性检测

漆膜连续性检测分为高压和低压系统,简称高压针孔检测和低压针孔检测。高压针孔一般适用于中大规格,低压针孔检测一般用于细小规格和检测是否露导体,也就是说是否涂上漆膜。高压针孔一般采用 350V、500V、750V、1000V、1500、2000、2500V、3000V 的交流电流,低压针孔一般用 25V、50V、100V 的交流电流。

漆膜连续性的在线检测是依照类似的实验室测试漆膜连续性仪器的原理,只不过因为线速度较快,检测的精度就要提高。

高压针孔的在线检测在欧美的漆包机上普遍装备,但日本的漆包机近来减少了该项目的应用。据报道可能是因为过分的高压针孔检测可能对漆膜有损伤,可能影响漆包线的长期工作。日本对低压针孔的应用较广,用它和粒子检测配套就能避免裸导线和大粒子的产生,

这两个缺陷是漆包线的最大或最致命的缺陷,因而有必要加以严防。

3. 外径在线检测

对于漆包线外径,通过在线检测,可以防止漆膜的波动,防止无漆膜或薄漆层的产品流出工厂,这一点对采用毛毡涂漆的设备很有必要。但由于外径检测采用激光测径,投资成本较高,同时对于模具涂漆效果不大,因而其推广的范围受到一定的限制。

以上三种针对产品本身性能的直接测试方法在实际应用中,通常组合使用,若单独使用,通常配合设备参数的在线检测,这样才能获得满意的效果。

二、设备的在线检测

该类在线检测主要是保证设备能正常运转,出现异常时能及时无误地记录下来,并报警,避免质量隐患存在。

该类在线检测一般有检测加热系统的电流,温控系统的温度,风机系统的转速,漆箱的液位,水箱的水位,蒸气发生器的温度或压力等,通过计算机系统,可以将这些设备运转参数实施监控,并记录在硬盘上,便于随时查阅,有些还实现图表曲线化显得更直观,便于操作工巡查。

从生产的实践出发,设备的在线检测更有意义,它能如实记录生产过程的稳定状态,为产品质量的可靠性和均一性,提供有力的保证。而产品性能的在线检测毕竟只是单一项目的性能监控,不够全面,因而,从某种意

义上说,或从设备投资成本角度出发,可以不必装备产品性能的在线检测,只要设备参数的在线检测充分和可靠,就可以了。当然,若再加一套粒子检测,则更为可靠。