

粉末树脂熔敷工艺及其应用

广州电器科学研究所編

(内部资料)



第一机械工业部技术情报所

· 1972 · 3

毛主席语录

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

人民，只有人民，才是创造世界历史的动力。

任何新生事物的成长都是要经过艰难曲折的。在社会主义事业中，要想不经过艰难曲折，不付出极大努力，总是一帆风顺，容易得到成功，这种想法，只是幻想。

目 录

第一部分 粉末树脂熔敷工艺在中小型电机中的应用

1. 环氧粉末及流化床涂敷工艺在微电机槽绝缘中的应用
.....常州绝缘材料厂、上海微型电机厂 (1)
博山电机厂、广州电器科学研究所
2. 微电机熔槽绝缘自动涂敷机.....博山电机厂 (15)
3. 环氧粉末熔敷绝缘在小型电机上的应用.....广东省东莞机电厂 (28)
4. 环氧粉末作拖拉机用微电机绝缘.....衡阳电机厂 (35)
5. JR₁ 转子铜条环氧粉末熔敷工艺.....长沙电机厂 (36)
6. 环氧粉末流化床涂敷作同步电机磁极线圈匝间绝缘.....北京重型电机厂 (38)
7. 环氧粉末涂敷作船用电机电抗器线圈绝缘.....南京汽轮电机厂 (42)
8. 环氧粉末熔敷工艺在中小型电机上的应用.....上海电机厂 (43)

第二部分 粉末树脂熔敷工艺在电子工业中的应用

1. 电子设备用静电流化床半自动线.....南京无线电厂 (44)
2. 磁石式电话机电枢铁心环氧树脂粉末熔敷工艺.....广州通讯设备厂、广州有线电厂 (47)
3. 流化床涂敷工艺在云母电容器生产中的应用.....宏明无线电器材厂 (52)
4. 无线电用中小型变压器环氧粉末熔敷工艺.....上海无线电三厂一车间 (58)
5. 环氧粉末作继电器铜套骨架绝缘.....交通部沈阳信号厂 (64)
6. 用环氧粉末熔敷封装的大功率可控硅元件.....广州电器科学研究所 (65)

第三部分 粉末树脂熔敷工艺在其它方面的应用

1. 环氧粉末作电动工具保护绝缘试验.....上海电动工具研究所 (66)
2. 聚乙烯塑料粉末静电喷涂工艺.....上海无线电二十四厂 (69)
3. 环氧粉末作振动变流器线圈骨架绝缘.....苏州仪表元件厂 (78)
4. 用环氧粉末胶粘交流接触器铁芯的短路环.....上海机床电器厂 (78)
5. 环氧粉末作高压电容器套管均压球表面绝缘层.....南京电瓷厂 (78)

第四部分 粉末树脂及试验方法

1. 环氧粉末及其质量标准.....常州绝缘材料厂 (79)
广州电器科学研究所
2. 粉末树脂简介.....西安绝缘材料厂 (89)
3. 环氧粉末熔敷涂层的耐化学腐蚀性试验.....广州电器科学研究所 (92)

环氧粉末及流化床涂敷工艺在微电机槽绝缘中的应用

常州绝缘材料厂、上海微型电机厂
博山电机厂、广州电器科学研究所

环氧粉末及流化床涂敷工艺作微电机槽绝缘（以下简称熔槽绝缘），这一新材料、新技术在毛泽东思想光辉照耀下，由于广大工人，革命干部和革命技术人员高举毛泽东思想伟大红旗，发扬了自力更生、艰苦奋斗的革命精神，使之获得较快的发展，目前已确立了粉末生产的工艺和装置，正式投入生产。粉末树脂的质量也不断提高，并已试制成功适用于微型电机涂敷的自动或半自动涂敷装置，开始逐步扩大投入生产，这对微电机的设计和工艺改革能起积极的促进作用。

一、环氧粉末

1. 配方选择

适用作微电机槽绝缘的 H18-3（原编号为12-3）环氧粉末的配方确定如下：

表 1

材 料 名 称	配比（重量）	主 要 质 量 指 标
#607环氧树脂	60份	软化点110~130°C，环氧值0.04~0.07
#601环氧树脂	40份	软化点64~76°C，环氧值0.18~0.22
石英粉	100份	全部过 270 孔目的筛，不含铁粉
二氯二胺	3份	试剂四级
气相二氧化硅	1.25份	平均颗粒15微米平均表面积175米 ² /克

上述配方中环氧树脂选择以#607为主，主要考虑使涂层具有较高的机械性能和边角复盖性能，加入#601是使涂层平滑光亮。

二氯二胺为环氧树脂的硬化剂，它具有潜在的特性，室温很稳定，在超过 145°C 以上产生游离胺，使环氧树脂硬化，温度超过 180°C 硬化速度就很快。生产和使用实践证明，它是较为理想的高温硬化剂。

加入石英粉作填料是为控制粉末的流动性和提高涂层机械性能，并可降低成本。

气相二氧化硅是增稠剂，加入后能控制流动性，提高涂层的边角复盖率。

由于目前环氧树脂，尤其是#607的软化点的范围较大，为保证粉末的流动性较稳定，在生产中应按树脂实测的软化点，对#607和#601的配比作适当的调整。即软化点偏低时稍增加#607，反之稍增加#601。一般两种树脂的平均计算软化点控制在 130°C 是较为适宜。

树脂平均计算软化点 U (°C) 按下式计算：

$$U = U_1 G_1 + U_2 G_2 \approx 103^\circ\text{C}$$

U_1 、 U_2 ——分别为#607和#601树脂实测软化点。

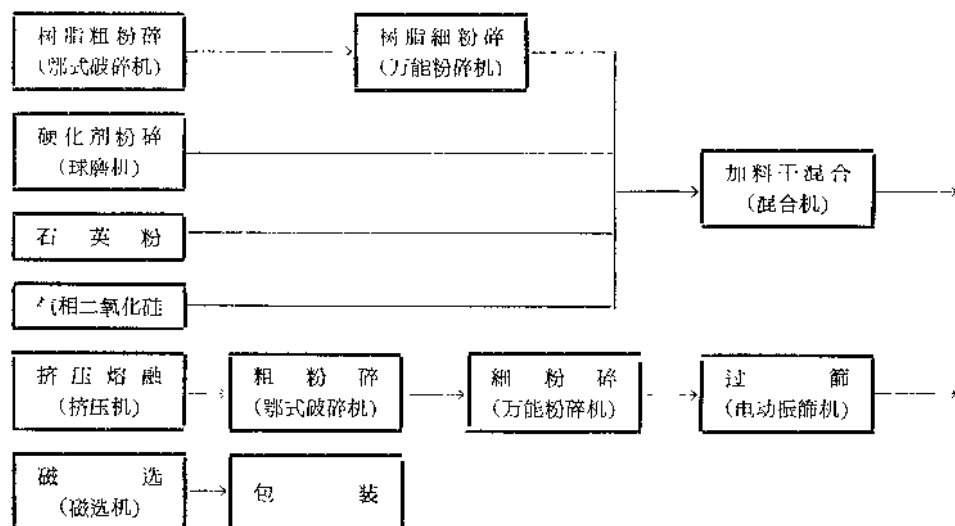
G_1 、 G_2 ——分别为#607和#601树脂加入的重量比份。

#607环氧树脂技术条件规定它的软化点范围为110~135°C。但实践表明当它的软化点的值超过130°C，配制时就需加入较多的#601，这样，会导致涂层较脆，因此#607树脂的软化点不宜超过130°C。

H18-3的粉末在室温下贮存稳定性极为良好。只要密封不受潮，贮存几年均不变质。使用时电机铁芯预热温度为170~190°C，后热固化条件为180~190°C，45分钟。经试验和生产实践证明，它具有较好的电气、耐热、耐潮、导热、耐温变性能和一定的机械强度，能满足微电机槽绝缘的使用要求。

2. 生产工艺

目前粉末生产采用的工艺流程和设备：



一般挤压机均是挤压热塑性树脂的，而环氧粉末中已加入了固化剂属热固性树脂，在挤压过程中容易发生固化无法进料以及螺杆拼死不能运转等现象。我们遵照伟大领袖毛主席“人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进”的教导，决心对挤压机的主要部件螺杆和料筒进行改革，经过多次试验，终于解决了挤压混炼环氧粉末的挤压机。关于螺杆和料筒的结构，我们认为应注意下面几点：

(1) 长径比不宜过大，一般以1:10~12为宜，而热塑性树脂用螺杆则要求1:20左右或更长一些。

(2) 压缩比不能过小，否则粉料经压缩磨擦产生大量热能，容易造成树脂固化，我们采取压缩比为1:0.7以后，即避免了固化现象发生。

(3) 螺杆只分送料和压缩两段，借螺杆剪切作用达到混炼塑化目的，温度分布也只作两段区分。加料和送料部分用冷却夹套并在螺杆上打中心孔通冷却水冷却(两者端部要齐)，避免送料段粉末熔融无法进料以及螺杆拼死不能运转等现象发生。压缩段用电感应加热，山

于粉末在半熔融情况下粘度很大，不仅成为螺杆旋转阻力，而且对螺杆磨损严重，因此升温曲线要陡，尽量减少半熔融区域。

采用上述设备和工艺过程的优点是：具有较高的生产效率，粉末利用风送，并经旋风分离器及袋式除尘器等抽尘装置使粉、气分离，可实现连续比较密闭的生产，使粉尘的飞扬较少，操作条件也较好。它的缺点是：挤压机和万能粉碎机磨损较严重，且磨损物均是导电体，虽经磁选可除去，但有较多的粉末损失。

二、流 化 床

流化床是涂敷设备中较主要的部分，粉末悬浮的好坏，直接影响涂层质量和粉尘的飞扬。它的结构如图1所示。流化床可制造成长方形或圆形，前者利用率高，后者制造方便。

压缩空气由第一气室A进入第二气室B，使气流缓慢、均匀。带偏心轮的电动机主要使流化床产生振动。图1a 流化床结构的粉末悬浮均匀性较好，刚通入压缩空气时易于起动，粉末飞扬少，但它的结构较复杂，有噪音，高度也较高。图1b 流化床结构的粉末悬浮状态也能满足要求，结构较简单，无噪音，高度也低些。流化床可采用硬质聚氯乙烯板或薄钢板焊接。

流化床中的透气隔板采用环氧粉末石英砂隔板或陶瓷砂轮，两种类型均具有良好的均匀的透气性。

采用陶瓷砂轮透气隔板可向砂轮厂订制，砂轮规格为刚玉 GB180。

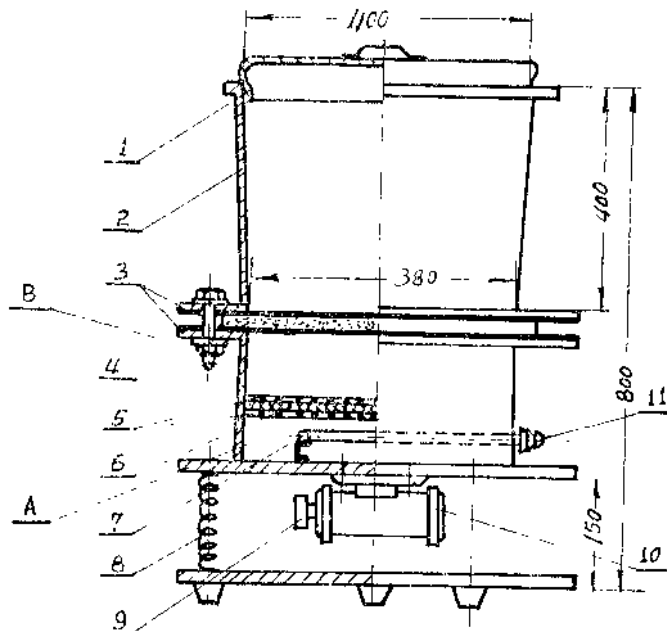


图1a 上海微型电机厂400×600流化床结构示意图。

1—盖子，2—流化槽，3—橡皮垫圈，4—透气隔板，5—滤风板（ $\phi 5$ 孔均布），6—透气泡沫塑料，7—进风卸管（圆环形孔眼向下），8—弹簧，9—偏心轮，10—电动机（2900转/分），11—进气嘴。

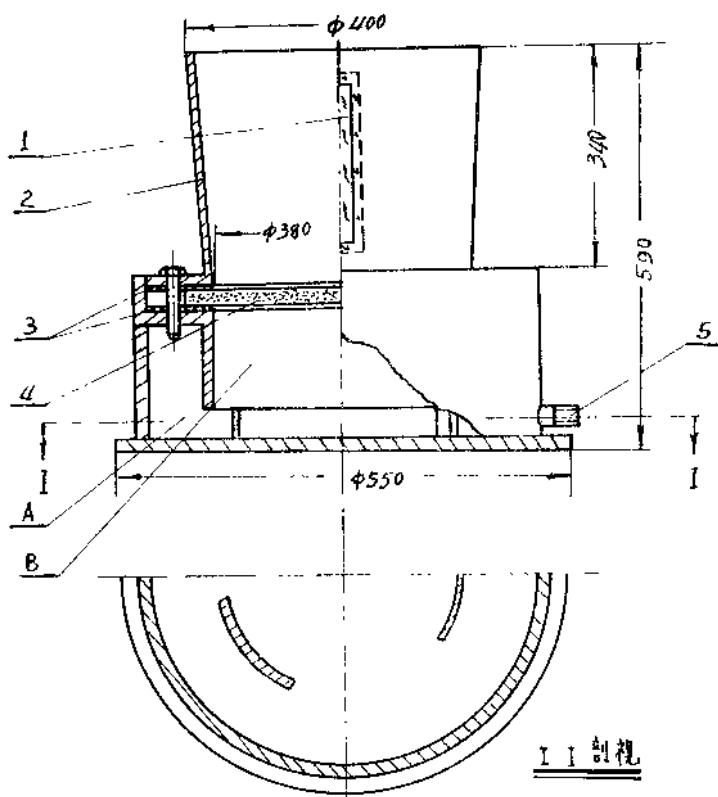


图1b 博山电机厂 $\phi 400$ 流化床结构示意图

1—视察窗，2—流化槽，3—橡皮垫圈，4—透气隔板，6—进气管。

环氧石英砂透气隔板可向常州绝缘材料厂订制或自行按照表二两种配方自行制造。

表2 环氧粉末粘合石英砂透气隔板配方 (重量百分比)

配 方 序 号	石 英 砂 (60~80目)	石 英 砂 (80~120目)	石 英 粉 (>120目)	环 氧 粉 末 (H18-3)
1	—	68	—	32
2	48	—	20	32

制造工艺：将上述材料混均匀后，倒入模具（用铁皮弯成所需的隔板直径和厚度，放在用硅橡胶布或聚脂薄膜做衬底的平板上）中，隔板的厚度一般为8~12毫米，模具制造时应考虑厚度方向10~20%，径向3~5%的收缩率。将粉料倒均刮平连同底板一起放入180℃的烘箱加热2小时，即可脱模。

为保证通入流化床中的压缩空气干燥，流化床必须附有干燥效果良好的干燥器，通入的压缩空气应具有1~2大气压的压力。

为减少粉末的飞扬，在流化床上还加有有机玻璃或塑料薄膜制的防尘罩。

三、微电机槽绝缘的涂敷工艺

环氧粉末熔槽绝缘的主要工艺过程是：

铁芯清理→预热→蔽复→涂敷→后热。

兹分述如下：

1. 铁芯清理及质量要求

铁芯的质量是影响涂敷后产品电气性能极重要的因素。对铁芯主要质量要求是：

- 1) 不应有明显的弹片，叉片，毛刺和各种杂质如棉纱头、铁屑等；
- 2) 无油污；
- 3) 冲片应尽可能采用氧化或磷化代替涂漆工艺；
- 4) 铁芯的设计应考虑到熔槽绝缘的特点。

铁芯中有明显的弹片、毛刺和各种杂质均会使涂层中引起缺陷，导致耐压击穿。采用熔槽绝缘后，对铁芯的要求比原来的结构要高得多。要达到上述要求，必须从铁芯设计、冲片、铁芯叠压和储存保管等多方面采取措施。否则，铁芯清理很困难，既增加很多辅助工时，质量也不能保证。经验证明，只要依靠和发动广大工人，思想上重视和积极采取相应措施，对铁芯的上述要求是可以达到的。铁芯上若存在油污则高温时会挥发，导致涂层中产生气泡。故油污必须除净。

采用三氯乙烯蒸汽清洗去油，是一种较好的方法，其原理如图二所示。

将三氯乙烯加热至 87°C ，即挥发形成大量蒸汽。将铁芯放入蒸汽中，由于铁芯温度低，蒸汽便凝聚成液体，并不断地自铁芯流下，而将油污除净。

它的优点是：(1)使用方便，清洗液不需更换，工作取出后立即干燥。(2)去油效果好。(3)生产效率高，铁芯只要在清洗槽中放置约3分钟即成。

为防止三氯乙烯分解，在使用中尚要加入稳定剂。可用的有两种：

(1) 赤芍 1~3% (占三氯乙烯的重量百分比)

槐子 2% (占三氯乙烯的重量百分比)

两种均为中药材料，价廉，使用也较方便。

(2) 三乙胺 0.1% (占三氯乙烯的体积比)

吡啶 0.5% (占三氯乙烯的体积比)

此外，也可采用将铁芯在汽油或三氯乙烯中浸3小时以上的方法进行清洗。

铁芯在设计和制造时尽可能做到下列几点：

(1) 冲片槽形尽量避免尖角，而以小的圆角代替。

(2) 冲片槽口不宜太小，一般应 ≥ 2 毫米，并考虑打槽楔方便。因熔槽绝缘在槽口和整个槽内均有涂层，如槽口太小，会造成下线和打槽楔困难，甚至涂敷后槽口被涂层封闭。

(3) 当用齿压板时，最好与冲片尺寸一致，叠压时端板毛刺方向最好朝着硅钢片冲片，

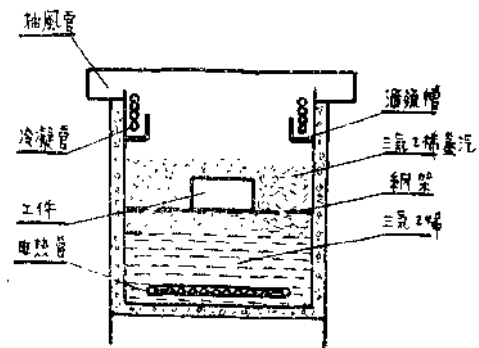


图2 三氯乙烯蒸汽除油原理示意图。

这样可保证端面较圆滑。

2. 预热

预热是使铁芯达到粉末熔点以上。温度过高会使树脂很快胶化,甚至分解,致使涂层不能很好流平或产生大量气泡;过低则不能达到要求的涂层厚度,涂层也不会平滑,甚至产生针孔。预热温度的选择应考虑:

(1) 铁芯的结构和热容量大小。采用 H18-3 环氧粉末一般微电机铁芯预热温度在 $180 \sim 190^{\circ}\text{C}$ 的范围。对热容量很小的铁芯如 $\phi 15$ 毫米的转子,预热可采用 $210 \sim 220^{\circ}\text{C}$ 的较高温度。

(2) 粉末的流动性和气候的变化。

因各批粉末的流动有一定的差异,它能影响涂敷温度相差 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 。流动性好的粉末,涂敷温度应稍低些。冬天和夏天气候相差明显,也有些影响。这些在生产中必须加以注意。

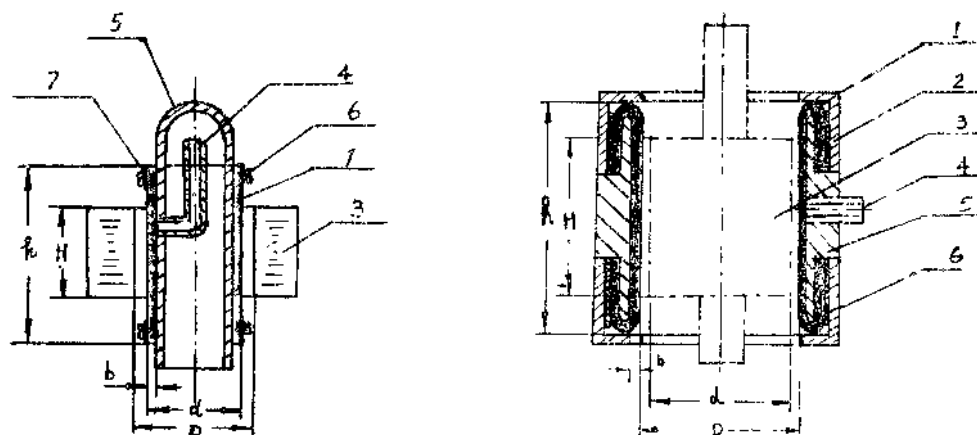
一般铁芯的预热温度以控制在涂敷后铁芯上的涂层能刚好熔化和流平为宜。

预热的方法目前均采用电热或红外线板罩道式烘箱加热的方式。采用罩道式的结构时,为提高加热速度,可用分段加热控制的方法。如用三段控制法。第一段为 $220 \sim 240^{\circ}\text{C}$,第二段 $200 \sim 220^{\circ}\text{C}$,第三段即为要求的预热温度。

经试验确定,尚可采用高频感应加热的方法。 $\phi 40$ 毫米,长 37 毫米的转子铁芯采用 8 瓦,频率为 500~800 千赫的高频感应加热炉加热 7 秒钟,然后在空气中稍停留几秒钟,使热量分布均匀,便可进行涂敷。质量能符合要求。这种方式可显著地缩短预热时间及缩小设备占地面积,它的缺点是设备较复杂,造价高,故生产中还未能应用。

3. 蔽复夹具

蔽复就是把铁芯不需涂敷的部分加以复盖,使它与粉末接触。一般铁芯浸入流化床时需将它夹紧,故尽可能使夹具和蔽复结合起来。目前较普遍采用的是硅橡胶弹性蔽复夹具。它的典型结构如图三所示。当通入压缩空气后硅橡胶将铁芯的内圆或外圆胀紧。放气后依靠橡皮弹性缩回,铁芯能方便地取出。



a. 定子铁芯内圆硅橡胶蔽复夹具

b. 转子铁芯外圆硅橡胶蔽复夹具

图3 电机铁芯内外圆硅橡胶蔽复夹具示意图

1—硅橡胶套; 2—保护套; 3—铁芯; 4—进气管; 5—钢制芯套; 6—绑扎绳; 7—聚脂薄膜。

参考尺寸(毫米): $h \geq H + 40$; $d = D - (4 \sim 5)$; $b = 2 \sim 3$ 。

此种蔽复夹具的优点是蔽复效果好,使用方便,缺点是易发热,夹具每次涂敷后也会粘着粉末,但粘着的粉末很容易除掉。此种蔽复夹具的清理可用吹气旋转的橡皮擦头进行机械或自动清理。

除上述结构外,也可将硅橡胶用 GPS-2(上海橡胶制品研究所生产)粘在金属上或将聚四氟乙烯薄板(1毫米厚)热压后用螺钉固定在金属上的结构型式。

硅橡胶套可自行开模压制或委托橡胶制品厂(上海橡胶制品四厂等)压制。上海橡胶制品研究所也有预混料(未经硫化的)供应。

自行制造可按下列配方和工艺:

配方(按重量比份):

甲基硅橡胶(101#也可以用102#代)(上海树脂厂)	100份
气相二氧化硅	30份
过氧化苯甲酰	3份
硅油	3份
二苯基硅二醇	1份

工艺:

先将硅橡胶与气相二氧化硅,二苯基硅二醇在二辊机中辊压均匀,在160~180°C的烘箱中烘30~60分钟。将过氧化苯甲酰加入至硅油中研细搅拌均匀,再加入硅橡胶中辊压均匀。

将混好的硅橡胶料,按重量计算均匀加入压模中,放在130~140°C的热压床中加热,保压、保温30分钟(也可用冷压后,保持压力在烘箱中加热)定形后,将硅橡胶套脱出,以后在200~250°C下后处理1小时,这样硅橡胶就具有很好的弹性。

实践表明,蔽复夹具的结构和设计很重要。如果不当,则会在生产中造成辅助工时长,甚至影响产品质量。当采用机械手或实现自动涂敷时更应重视这个问题。它是机械手中较关键的部分。必须根据铁芯的特点和机械手的结构,很好选择和设计。

4. 涂敷

涂敷的方式和时间对涂层厚度及质量影响也是较大的。一般铁芯浸入粉中时间越长,涂层越厚。

当手工涂敷时一般按下列动作进行:

第一次浸涂(时间约1~2秒,浸涂时,同时旋转摆动(以下简称转动),其速度约1转/秒)→取出后立即反转180°C,并间隔一定时间(约3~10秒,使粉末熔化流平)→第二次浸涂(同第一次)→取出后再立即反转180°C。

在上述动作中分二次浸涂,是为避免涂层中形成气泡。转动是使粉末不要附着太快,并使铁芯和粉末能均匀接触,避免引起薄弱点。翻身是使上端面堆积的多余粉末倒掉,并使铁芯槽内涂层上下较均匀。

因涂敷时浸入粉中的时间很短(约1~1.5秒),手工涂敷往往不易控制稳定,而且劳动强度较高,人与粉末直接接触,对劳动保护也不利。因此,最好为电机铁芯的涂敷设计制造半自动和自动涂敷设备,用机械手进行涂敷。

用机械手涂敷时,要求动作简单,以便简化机械手的结构,提高设备的稳定可靠性。实践表明,用垂直方向的振动代替手工涂敷时的旋转摆动能达到更良好的效果。上海微电机厂

用的机械手的涂敷动作,除用振动代替转动外,其余均与手工涂敷相同;博山电机厂用的机械手采用适当增大振动强度的方法(对不同的铁芯需进行适当调节),同时取消了翻身动作,并只浸涂一次,工件的上下端面也能得到较均匀的涂复。这样就使机械手的结构更简化。

一般铁芯长度较长端面的堆积面又较大时,采用翻身动作能改善铁芯槽内涂复的均匀性。当然,在不翻身能满足质量要求时,应尽量避免翻身动作。尤其是在采用半自动、自动涂敷时,动作减少结构简化,能显著提高设备的稳定性和可靠性。

5. 后 热

后热的目的是为使环氧树脂硬化聚合。涂层抗冲击及抗剪性等试验表明,较小热容量的铁芯经 $180\sim 190^{\circ}\text{C}$ 烘焙45分钟~1小时,可保证涂层达到良好的机械和电气性能要求。若后热温度过低或时间过短,硬化不足,则涂层很脆,会引起绝缘的损坏,耐潮性能也差。对较大热容量的铁芯,因达到稳定温度需较长时间,因此也需考虑后热时间适当延长。涂层是否充分硬化,按实践经验可依高温下不发粘,较坚硬,颜色呈微黄来判断。

适当提高后热温度还可使后热时间缩短,达到同样的性能要求,但温度和时间应严格控制,否则会导致涂层变质。

应该注意到,涂敷后的铁芯在后热开始时涂层尚可能进一步流动。试验表明,若刚涂敷后的铁芯水平放置(指铁芯的槽在水平方向)直接放入 $180\sim 190^{\circ}\text{C}$ 的后热炉中则会引起涂层较严重的流动,导致边角处很易击穿。刚进入后热炉的第一段炉温采用 170°C 以下,可避免此弊病。铁芯垂直放置(指铁芯槽在垂直方向),影响就很少。

采用坠道式炉后热时,温度分三段控制:

刚进入炉子的第一段为 170°C ,第二段为 $190\sim 200^{\circ}\text{C}$,第三段为 $200\sim 210^{\circ}\text{C}$,这样可保证铁芯有较高的边角复盖率,且后热时间也能缩短。

涂硅钢片漆的铁芯,在采用H18-3环氧粉末时,因后热温度高,硅钢片漆中的挥发物会导致涂层产生泡泡。故涂敷后的铁芯后热时,先要在 160°C 以下烘焙一阶段,待涂层初步硬化后,再升高温度,或涂敷后的铁芯冷却至室温,以后再成批放入烘箱中升温。这样均可避免产生泡泡。

6. 其 他

在涂敷过程中,下列两点对涂敷后铁芯质量有显著的影响,必须注意:

1) 粉末必须避免受潮。通入流化床中的压缩空气必须干燥。否则工件的涂层会产生凹坑,如图四所示。当粉末受潮后,要干燥也较麻烦。因此,必须在整个使用和贮存过程中严加注意。

2) 使用中必须保持周围环境的清洁。机械手和夹具等在涂敷前均须仔细清理,避免将流化床中的粉末搞脏,否则会导致涂敷后铁芯的耐压合格率显著下降。如发现粉已脏时,可用80孔目(孔径 0.197 毫米)的筛子过筛后再使用。当个别铁芯

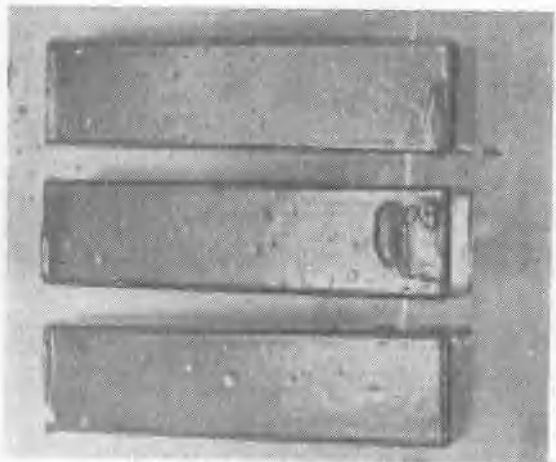


图4 水分对涂层的影响(产生凹坑)

产生缺陷时可采用下列几种方法进行修补：

1) 仍用H18-3, H18-1环氧粉末, 把铁芯加热到预热温度, 在缺陷处补上环氧粉末, 再后热。

2) 自行配制糊状的环氧树脂, 可用下列配方和工艺:

(1) 桐油酸酐	50%	} 无溶剂环氧胶。
6101环氧树脂	50%	
气相二氧化硅	适量	

配制时前两者加热至100°C均匀混合, 再逐渐加入气相二氧化硅使之成糊状, 将其涂至缺陷处, 再在150°C烘1小时即可。

若在上述配方中加入10%左右的三乙醇胺, 则树脂可在室温下硬化(约一天), 但配好的树脂需现配现用。

(2) 6101或 634 环氧树脂	100份
石英粉 (全部通过240孔目)	约60份
650 聚酰胺	50份
三次乙基四胺	6份

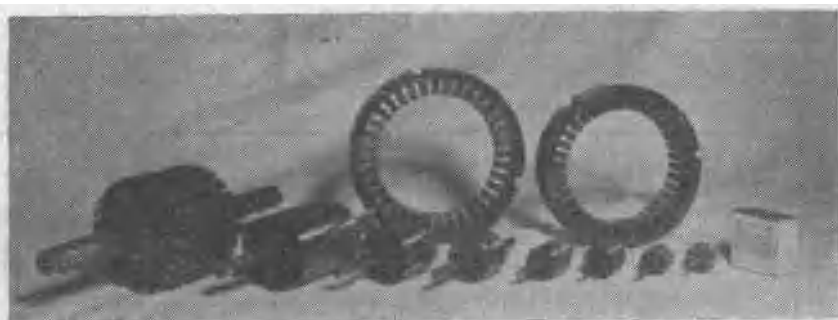
配制时以环氧树脂和石英粉先搅匀, 再加入三次乙基四胺和聚酰胺, 搅拌均匀后就可使用。将它均匀地涂在需修补的部位, 在室温下经12小时即可硬化, 如要加热硬化可在室温下放置4小时后在60~80°C硬化4小时亦可, 加热硬化性能较好些。上述配料也需在一个小时内用完。

(3) 在涂层中缺陷多, 无法修补的可用高温处理回收铁芯, 其方法是把铁芯放入450~500°C有通风的高温炉内, 待树脂烧尽后在铁芯表面留下白色石英粉末, 冷至室温后用压缩空气或毛刷去掉石英粉即可。

经高温处理后对矽钢片的导磁性能只会提高, 不会降低。但为避免转子轴的回火(如45#钢回火温度为600°C, 40Cr为500°C), 矽钢片不产生剧烈氧化和带铝壳机座烧熔, 因此温度不宜过高。



a) 上海微电机厂熔槽绝缘微电机铁芯;



b) 博山电机厂熔槽绝缘的各类定子、转子铁芯。

图5 熔槽绝缘的各类定、转子铁芯

四、使用性能及效果分析

1. 使用性能

1) 涂层厚度、槽满率和绝缘强度

熔槽绝缘的涂层厚度直接影响槽满率和绝缘强度。在保证足够绝缘强度和产品耐压合格率的前提下, 应尽可能涂薄些, 这能促使铁芯槽满率的提高。

现生产的环氧粉末和铁芯质量水平, 经过实践验证, 对耐压水平为500伏等级的微型电机, 应达到的厚度范围为0.20~0.25毫米; 对1000~1500伏耐压等级的微型电机应达到的厚度范围为0.25~0.3毫米; 对1500~2000伏的电机应达到的厚度范围为0.3~0.35毫米。在上述厚度范围内, 可保证产品具有较高的产品合格率。当低于此厚度时, 会导致铁芯耐压合格率显著降低。

上述涂层厚度比薄膜青壳纸要厚些, 但它是紧贴在铁芯上, 消除了铁芯与绝缘的间隙, 所以不致影响槽满率。按下线的情况看, 可保证下线能较顺利地进行。

2) 温升试验

由于熔槽绝缘比薄膜青壳纸绝缘材料导热性好, 且消除了绝缘层和铁芯间的间隙, 因此有利于电机的散热。按较多工厂对各种类型的产品的试验表明, 采用熔槽绝缘的电机比薄膜青壳纸绝缘的电机温升均有所降低。随产品的类型、结构、原有的温升水平以及涂层的厚度等因素的不同, 上述温升降低的程度也不一。一般微电机和小电机约能降低5~15°C。

表三列出了几种电机产品温升对比的试验结果。

表3 各厂电机产品温升试验结果

工 厂	试 验 产 品 类 型 及 规 格	试验台数	温 升 值°C		温升降低 (°C)
			薄膜青壳纸	熔槽绝缘	
佛山电机厂	JF-21, 500瓦硅整汽车发电机电枢	4	65~67.5	47.5~54	15.5
	S569直流伺服电机电枢	8	62.2~67.5	50.4~53.4	14.5
	JO42, 2.8瓩异步电动机	10	43~56.5	40.3~48.6	6.5
上海微电机厂	JX06单相分相起动电动机		35.5	30	5.5
广州第二电器厂	单相分相起动电动机40瓦	6	26.1	20.6	5.5
北京微电机厂	单相分相起动 250 瓦 4 极电动机	5	64.5	52.5	12
上海跃进电机厂	JO ₂ 12-6, 0.6瓩异步电动机	4	51~57	43~47.1	8~10
广东东莞机电厂	JO ₂ 112-4, 4 瓩电机	6	63.6~68	55.5~59	8~11.5

3) 防潮性能

表四列出了各类电机产品采用熔槽绝缘和薄膜青壳纸绝缘的防潮性能对比。数据表明熔槽绝缘的防潮性能是很优良的, 要优于薄膜青壳纸的绝缘结构, 而且熔槽绝缘的电机采用较少的浸漆次数也能达到很高的绝缘水平。

4) 耐温变、低气压和机械性能

(1) 低温、低气压试验:

将微电机产品环境温度在-55°C~-60°C, 大气压为41毫米汞柱的低温, 低气压下额定负载(转速9000转/分, 电压127伏, 电流0.35安)运行2小时良好。

(2) 热冲击和高温试验:

对φ15毫米长120毫米的圆钢棒上, 涂敷环氧粉未经200°C加热后, 立即浸入30°C的水中, 反

表4 各厂各类电机产品湿热 (40°C, 95±3%周期交变) 试验后绝缘电阻

厂 名	试验产品型号及规格	绝缘结构和处理工艺	经21周期湿热试验后的绝缘电阻 (兆欧)	备 注
广州第二电器厂	单相电风扇40瓦 单相电风扇40瓦	薄膜青壳纸浸1032漆二次 熔槽绝缘处理工艺同上	0.5~0.7 500	产品只受潮 2昼夜
革新电机厂	三相感应电动机(单个定子) 0.6瓩 0.6瓩(整台产品)	薄膜青壳纸按热带型处理浸1032漆四次 熔槽绝缘浸1032漆二次 熔槽绝缘浸1032漆二次	2.0~40 7.5~20 50~120	
上海微型电机厂	JX06, 40瓦单相电动机	熔槽绝缘按热带型处理	300	该类产品原用 薄膜青壳纸相同处理一般为 40兆欧
博山电机厂	S121 直流伺服电机单个转子 JF11, 350瓦硅整流汽车发电机定子 S569直流伺服电机转子	薄膜青壳纸浸无溶剂环氧胶 熔槽绝缘处理同上 薄膜青壳纸处理同上 熔槽绝缘处理同上 薄膜青壳纸处理同上 熔槽绝缘处理同上	30~100 500 300 500 34 59	湿热试验为 50°C、95±3% 48小时, 测量在 27°C、相对湿度 79%的条件下进行。

复交变15周期涂层完好。

环氧粉末熔槽绝缘的电机铁芯(铁芯长35毫米, 梯形槽有尖角)经过-40°C~125°C(每周期各3小时, 并在室温下贮1小时)18周期的交变试验, 无开裂现象。

对硅整流汽车发电机JF-11的产品在70~75°C环境温度下额定负载(转速3500转/分, 电压14伏, 电流25安)运行3小时良好。

(3) 振动试验:

对JF-11产品按汽车电机的条件, 在振幅0.5毫米, 频率为2500次/分下振动4小时良好。

(4) 振击试验:

对JX06产品在1.3毫米振击2小时; JF-11的产品在3.5毫米振击1小时, 频率均为900次/分, 均良好。

H18-3环氧粉末熔槽绝缘涂层在室温下很坚硬, 经生产实践验证, 它在下线和铁芯压入机座以及搬运等工艺过程中均不致引起损坏, 但涂层在室温下尚具有脆性, 因此, 在搬运、压装及使用过程中也仍需注意。

上述试验充分表明它能满足微型电机的耐温变, 低气压和机械性能要求的。

另外, 由于粉末中以石英粉作填料, 加工时刀具易引起磨损, 故应尽量采用覆盖措施, 避免机械加工。

(5) 绝缘寿命和可靠性:

为了保证熔槽绝缘电机能可靠运行并评定它的耐热等级和使用寿命, 进行了加速寿命试验, 并对一部分电机进行了实际运用调查。人工老化试验分模型样品和整台电机两个部分, 以薄膜青壳纸绝缘作对比, 试验方法参考了国内有关单位的经验及AIEE, 510文件, 吸取有益部分并考虑了熔槽绝缘的特点。

模型样品是以整台铁芯锯开两半(如图六所示), 分150、170、190、210°C四挡温度进行

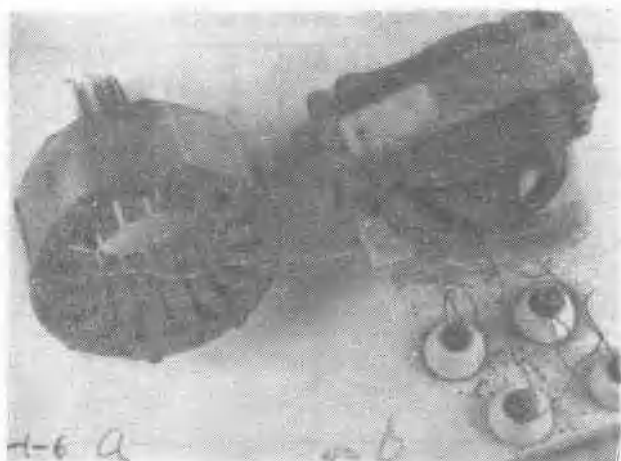


图6 人工热老化试验用铁芯

- a. 微电机定子铁芯，外径90毫米，长30毫米，已涂敷环氧涂层(左图)。
b. 将定子铁芯锯成两半(已嵌线，装配好进行试验的样品)。

的。

在表五、表六列出了两种绝缘结构的寿命比较数据。

表5 在同一温度下两种绝缘结构的寿命

绝 缘 结 构	105 °C			112.5 °C			120 °C			130 °C		
温 度 力 命 (天)	最 大	平 均	最 小	最 大	平 均	最 小	最 大	平 均	最 小	最 大	平 均	最 小
薄 膜 青 壳 纸	3156	2238	1582	1805	1326	975	1053	802.5	611.7	529.3	492.6	337.4
熔 槽 絕 緣	41170	17100	4691	5930	4104	2714	3127	2216	1571	1402	1053	791.6

表6 在同一平均寿命下两种绝缘结构使用温度比较

寿 命 (天)	2238	1326	802.5
绝 缘 结 构			
薄 膜 青 壳 纸	105 °C	112.5 °C	120 °C
熔 槽 絕 緣	129.1 °C	136 °C	142.5 °C

电机试验以1瓩和7.5瓩的三相异步电动机14台分160°C和180°C两种温度进行,它的结果与模型样品基本上是一致的。所有熔槽绝缘的电机,沒有一台因对地熔槽绝缘损坏而寿命终止,均是因匝间或相间(薄膜青壳纸)绝缘的损坏而告终的。由人工老化试验表明,熔槽绝缘的使用温度比薄熔青壳纸可提高22.5°C以上。薄膜青壳纸绝缘的耐热等级,按上海电器研究所等进行过的鉴定试验认为是在A—E级之间。一般国内均作E级绝缘使用,相应比较,熔槽绝缘是能达到并超过B级绝缘耐热的要求。

广东省东莞机电厂自66年开始曾先后试制和小批投产了环氧熔槽绝缘的5瓩以下的电动机上百台以上。迄今为止,尚未发现因熔槽绝缘损坏而导致电机损坏的,运行性能经调查一直良好。针对汽车发电机的使用要求,对JF-11的汽车硅整流发电机进行额定负载下运行3000小时的保用期试验,性能也良好。

因此,由人工老化和电机产品实际运用的考验,均充分证实了熔槽绝缘电机的使用是可靠的,不仅能在微电机、汽车电机上应用,也能保证在一定范围的小电机中可靠使用。目前,我们初步认为在相当于 JO₂、5# 以下的电机中使用是可靠的,更大的产品则需进一步试验才能确定。

2. 使用效果初步分析

按我们目前初步的生产实践分析采用熔槽绝缘后有下列优点:

1) 因能降低电机温升 5~15°C 左右,提高耐热等级至 B 级以上,能促进电机设计革新,使电机体积缩小和达到节约铜、铁的效果。

2) 对一些较小结构和形状较特殊的微电机,采用薄膜青壳纸绝缘,放置和下线均较困难,采用熔槽绝缘就能较好的适应,如拖拉机电机、手摇电话发电机和要求线圈端部很小的电机等,采用熔槽绝缘后能很好满足了产品绝缘要求,制造也较方便。

3) 有利于促进嵌线机械化的实施和定子磁极自粘性漆包线的推广,采用薄膜青壳纸结构的转子铁芯,机械嵌线时易将绝缘纸压到槽底,而用熔槽绝缘后,能避免此弊病,使嵌线速度提高,如有的产品采用熔槽绝缘后嵌线效率提高一倍以上。而定子铁心要实现机械嵌线用薄膜青壳纸绝缘很困难,用熔槽绝缘后则大为有利。串激电机或直流电机定子采用熔槽绝缘后,则可配合采用自粘性漆包线,把线圈直接绕在铁芯上,这样可省掉线包扎和浸漆烘干的繁复工序,促进了自粘性漆包线的推广使用。

4) 原有薄膜青壳纸放置均是采用手工操作,采用熔槽绝缘后可实现半自动甚至自动化操作,因此能提高生产效率,尤其转子铁芯,原来需放置薄膜青壳纸、轴头和端板绝缘几道工序,现可一次实现,提高工效更为明显。如硅整流汽车发电机 IF-11 定子铁芯和 S 569 直流伺服电机铁芯采用熔槽绝缘,工效比原来提高一倍以上。

5) 熔槽绝缘具有较好的耐热、耐潮和耐腐蚀性能,提高了电机绝缘使用可靠性。

H18-1, H18-3 环氧粉末目前的价格为 12 元/公斤,微电机常用的 0.15~0.2 毫米的国产薄膜青壳纸价格为 39 元/公斤,但环氧粉末的比重较大,消耗量一般比薄膜青壳纸多约 2.5~3 倍,加上熔槽绝缘需消耗电和清洗溶剂,故单原材料的消耗费用与聚酯薄膜青壳纸相比基本相近。但从全面分析,由于能促进产品质量、劳动生产率提高和电机设计、制造的革新,如 JF-11 汽车发电机定子,它使槽绝缘放置的工时由原来 16.2 分钟降低至 7.8 分钟,温升降低 15°C,下线工效也显著提高,受到工人的欢迎,促进了新系列硅整流交流发电机的生产推广。因此,在生产中应用是能收到一定经济效果,符合多、快、好、省的要求。但它的效果对不同产品及原有绝缘结构等不同也有差异。

五、讨 论 意 见

按目前的生产实践和试验结果,我们提出如下几点意见,供各兄弟单位共同讨论参考:

1) H18-3 环氧粉末的电气绝缘、机械、耐热、防潮等各项性能是能适应熔槽绝缘要求的。

2) 环氧粉末熔槽绝缘由于它能促进微电机设计和制造的革新,提高生产效率,甚至实现半自动或自动的生产,在微型电机尤其是形状结构较特殊的产品中推广应用,可以收到一定的经济效果,符合多、快、好、省的要求。

按照伟大领袖毛主席教导的“一分为二”的观点分析,我们认为环氧粉末熔槽绝缘尚存

在下列问题有待改进:

1) 它对操作和铁芯质量要求较高,较多的因素如粉末质量、涂敷工艺和铁芯等均会影响涂敷后的绝缘质量,操作中的控制需较严格,铁芯质量应采取措施保证一定的水平,否则,会严重影响产品质量,甚至增加很多辅助工时,不能达到预期良好的效果。

2) 现H18-3环氧粉末因含有石英粉,在生产过程会产生飞扬,对人体的呼吸系统会产生不良影响,必须充分的引起重视,采取吸尘装置等防护措施。

3) 采用H18-3环氧粉末和流化床涂敷工艺,铁芯需加热至180°C左右,温度较高。定子铁芯内外圆均需蔽复,操作还不够简便。

4) 铁芯涂敷以后需进行质量检查,否则在下线后发现缺陷会造成较大损失,目前尚无成熟的快速检验方法,需进一步研究解决。

5) 目前由于受粉末和铁芯质量的限制,涂层厚度还不能很薄,随着电机产品飞跃发展的需要,有待进一步提高粉末和铁芯质量。

对于上述存在的问题和缺点,我们认为必须认真对待,用不断革命和继续革命的精神,积极努力加以克服或改进完善。