

Application of coating and plating conductive layer in electrical equipment

Xin Bin Zhengqi Peng

China Machinery General Institute Wuhan Material Protection Research Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract

In the electrical field, electrical equipment is a core component essential for ensuring the normal operation of power grids. Therefore, it must be safe, stable, continuous, and reliable during operation. Electrical equipment consists of numerous electrical components. To enhance conductivity and efficiency at the contact points of these components, a conductive layer of silver, tin, or nickel is typically applied, especially in high-voltage and ultra-high-voltage environments. The conductive coating is a critical factor affecting the proper functioning of electrical equipment. This article focuses on this aspect, detailing the quality control standards for conductive coatings in electrical components, the preparation process, and methods to address issues encountered during the preparation process. It aims to provide theoretical support for the optimal performance of electrical components in electrical equipment.

Keywords

electrical components; coating quality control; coating preparation process

刷镀导电层在电气设备中的应用

宾昕 彭正祺

中国机械总院集团武汉材料保护研究所有限公司, 中国·湖北 武汉 430030

摘 要

在涉电领域, 电气设备是保障电网正常运行的核心硬件之一, 因而要求其运行时安全、稳定、持续、可靠。电气设备由众多电器元件集合而成, 在这些电器元件的接触部位, 为了提高导电性及通电效率, 通常需要制备一层银、锡或镍导电层, 尤其是在高压超高压环境更是如此, 导电镀层是影响电气设备正常运行的关键因素。本篇文章也将目光集中于此, 着重介绍了电气设备电器元件中导电镀层的质量控制评价标准、镀层制备工艺及镀层制备过程中的问题解决方法, 希望本文可以为电气设备中电器元件的良好运行提供写作理论支撑。

关键词

电器元件; 镀层质量控制; 镀层制备工艺

1 引言

电器元件暴露的铜接触部位表面在大气环境下极易产生氧化, 形成氧化膜, 使得接触电阻迅速增大, 影响导电; 另外, 最关键的一点是当过载电流较大时, 元件工作的铜接触部位发热升温暴增, 甚至产生“烧结”现象, 严重影响电气设备的安全运行。正因如此, 通过刷镀质量控制在电器元件搭接部位制备导电镀层是安全保障不可或缺的重要一环。

2 镀层质量控制

电器元件接触部位制备导电镀层通过下面参照标准控制镀层质量:

(1) 《金属覆盖层 工程用银和铝合金电镀层》GB/T 12306。(2) 《金属覆盖层 锡电镀层》GB/T 12599。(3) 《金

属覆盖层 工程用镍电镀层》GB/T 12332。(4) 《金属基体上的金属覆盖层(电沉积层和化学沉积层)附着强度试验方法》GB/T 5270。(5) 《刷镀通用技术规范》JB/T7507-1994。(6) 《再制造 电刷镀技术规范》GB/T37674-2019。

3 镀层制备工艺

镀层制备应根据镀层质量控制通过人工操作实现刷镀电源→刷镀溶液→刷镀辅件形成闭环系统, 具体如下:

3.1 刷镀电源

电源应具有直流平衡特性, 电源的输出电压能实现无级调节, 调节精度高, 通常调压范围为 0~12V; 电源的输出电流应根据被镀零件表面的大小, 镀层的种类及沉积速度等因素选取, 即根据需求选择不同功率的电流; 电源应带有安培计时器或镀层厚度计, 以显示刷镀零件所消耗的电量或显示零件镀层厚度, 保证镀层质量; 电源通常应设有正、负极转换装置, 以满足刷镀工艺要求; 电源应设有过载保护装置, 当出现紧急情况时, 能保护电源和被镀零件不受损坏; 为了适应现场在线修复或室外作业要求, 电源操作应简单、保养方便 [1]。

【作者简介】宾昕(1989-), 男, 中国湖北武汉人, 硕士, 工程师, 从事电刷镀研究。

3.2 刷镀溶液

对刷镀溶液的基本要求：溶液所含金属离子浓度尽可能高；溶液性能对工艺温度变化不敏感；溶液性能对电流密度计变化不敏感；溶液对吸湿材料应有较好的稳定性。

刷镀溶液主要包括刷镀银溶液、刷镀锡溶液、刷镀镍溶液，其适用范围既可刷镀，又可用槽镀。对刷镀溶液的具体要求包括：对环境污染小，具有化学成分稳定，沉积率高，操作简单，工艺重现性好，溶液耗量少，尤其应解决好溶液长期存放变质（如新制备的光亮刷镀锡溶液使用时，镀层美观光亮，一旦密封放置约半年后，溶液产生沉淀、浑浊，说明镀液失效，再刷镀使用时，镀层质量难以保障，从而造成

不必要的损失浪费。现在这个问题已得到圆满解决，采用 A、B 双组分刷镀锡溶液，就可将其使用周期提高至少 1 年）和运输问题。而刷镀银，刷镀镍溶液均可长期存放。应根据环境温度变化（尤其在冬季）镀前对溶液加热至 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 方可使用。

3.3 刷镀辅件

刷镀辅件主要包括阳极（如不锈钢，石墨等）、包套布、循环泵、加热器、烘箱、容器、劳保等 [2]。

3.4 刷镀工艺流程

电器元件接触部分绝大多数为紫铜母材，常以 T1、T2 为主，现对刷镀银、刷镀锡、刷镀镍的实施工艺简述如表 1 所示。

表 1 不同刷镀工艺流程简介

镀层种类 工艺细节	刷镀银	光亮刷镀锡（酸性）	中性刷镀锡	刷镀镍
基材	铜基材，表面粗糙度 $\text{Ra}0.8\mu\text{m}$			
除油	用有机溶剂（如丙酮）或其他清洁剂去除待镀表面的油污，也可采用电解除油；			
活化	用铜基专用活化液，无电擦拭待镀表面，时间 10~15 秒。 在有些特定情况下，由于电器元件（如高压瓷瓶）自身结构原因，在活化环节，导致活化残留液难以清除，当镀银完毕后，往往导致镀层发黑，因而在实际刷镀工艺中通常不必活化而直接镀银即可（前提是铜基材需经过抛光，清理原有氧化膜，为防止再次氧化尽快镀银），其厚度控制在 $3\sim 5\mu\text{m}$ [3]。			用铜基专用活化液，无电擦拭待镀表面，时间 10~15 秒
刷镀	正向 3~3.5V，用镀笔阳极通过蘸取银液或循环泵，来回擦拭待镀表面，直至所需厚度为止，通常技术要求 $\geq 8\sim 10\mu\text{m}$ ，颜色均匀光亮或哑光。	正向 4~8V，用镀笔阳极蘸取锡液或循环泵，来回擦拭待镀表面，直至所需厚度为止，一般 $8\sim 10\mu\text{m}$ ，颜色均匀光亮；	正向 4~8V，用镀笔阳极蘸取锡液或循环泵，来回擦拭待镀表面，直至所需厚度为止，一般 $5\sim 6\mu\text{m}$ ，颜色均匀哑光；	正向 6~8V，用镀笔阳极通过蘸取镍液或循环泵，来回擦拭待镀表面，直至所需厚度为止，一般 $8\sim 10\mu\text{m}$ ，颜色均匀光亮。
干燥	一旦刷镀完毕后，立刻用纯净水冲洗并用一次性卫生纸擦干或烘干，去掉水分，避免残留液留在镀层表面形成污渍，影响外观。	刷镀完毕，立刻用纯净水冲洗干净并用一次性卫生纸擦干或烘干，不允许残留液存在，防止污染，影响外观。若发现镀层表面局部有发黑发青现象，可用干净超细百洁布抛光擦拭即可，保持外观一致；或补镀一次，用净水冲洗并擦干即可。	刷镀完毕，立刻用纯净水冲洗干净并用一次性卫生纸擦干或晾干（吹干）；	
防变色处理	镀银层表面暴露于空气（氧化物）和硫化物环境下，经过一段时间放置后，容易产生变色和腐蚀，因而有必要涂覆一层有机防护层（如银层防变色保护剂），价格便宜，方便储存。	为了便于储存，有必要对镀锡部位进行防变色处理（涂覆专用防变色剂）。		
备注			中性刷镀锡往往用于较大规模尺寸的铜排整体导电防腐。由于其效率仅为光亮刷镀锡的 1/10，沉积速度较慢，但其优势在于不会像光亮刷镀锡，容易产生“二次污染”导致颜色不均 [4]。	

4 镀层制备过程中的问题和解决方法

一项工艺的掌握需要有个过程，不可能一蹴而就，特别像刷镀这样实践性极强的应用技术，更需要经验的积累，

不断试错总结，才能逐步掌握其核心真谛 [5]。

下面就镀层制备过程中常见的问题及解决方法总结（见表 2）。

表 2 刷镀常见问题及解决方法

序号	问题	解决方法
(1)	电器原件接触部位（搭接部位）镀层无法制备（镀不上）？	检查电源通电→调整电压→检查电缆正负极→更换部件
(2)	电器元件接触部位（搭接部位）制备的镀层外观如何防变色？	根据合同或订单技术要求，严格执行制备镀层工艺，包括实施步骤、参数、阳极、镀层性能（外观、厚度、结合力等）、纠错措施、工装、镀层防变色保护等。
(3)	刷镀溶液补充或更换条件？	对量化电气元件而言，为了提高生产效率，保证镀层质量，应适时对镀液进行必要的补充和更换。
(4)	不合格镀层如何处理？	镀层质量如果不合格（如有气泡、脱落等），则需要将镀层去掉，重新按照工艺规范制备镀层。

5 应用实例

实例 1：电力设备真空灭弧室局部接触面镀银。接触面镀银后（镀层厚度约 10um），镀银层相对于非镀银层，接触电阻低了约 85%；经过 100H 的氧化处理后，镀银层相对于非镀银层，接触电阻低约 93.9%；经过 100 次电弧处理后，镀银层相对于非镀银层，接触电阻低约 95.5%。此外，在摩擦试验中，镀银层相对于非镀银层，耐磨性提高了约 80%。

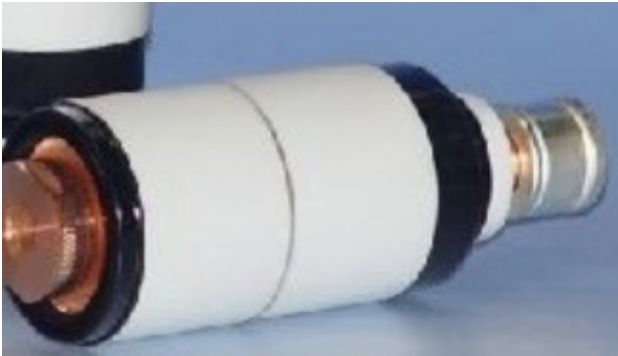


图 1 电力设备真空灭弧室镀银

实例 2：镀银合金成套技术在医疗领域的应用，如 CT 电气设备中的环槽镀银合金。采用的是银铈合金电刷镀工艺制备导电耐磨双功能镀层。接触面镀银铈合金后（镀层厚度约 8um），银铈合金镀层相对于非镀层，接触电阻低了约 78.6%；经过 100H 的氧化处理后，银铈合金镀层相对于非镀层，接触电阻低约 90%；在滑动摩擦试验中，银铈合金镀层相对于非镀层，耐磨性提高了约 82.7%。

实例 3：镀银成套技术在太阳能领域的应用，如还原炉电气设备电极镀高纯度银层。接触面镀银后（镀层厚度约 100um），镀银层相对于非镀银层，接触电阻低了约 98.2%；经过 100H 的高温氧化处理后，镀银层相对于非镀银层，接触电阻低约 99.3%；此外，电刷镀后的电极元件，使用寿命提高了约 900%[6]。



图 2 CT 电气设备中的环槽镀银铈合金前后对比



图 3 还原炉电气设备电极镀银

实例 4：镀锡成套技术在电力、电工、电气等领域的应用，如导电铜排上局部需要导电部位的镀锡。

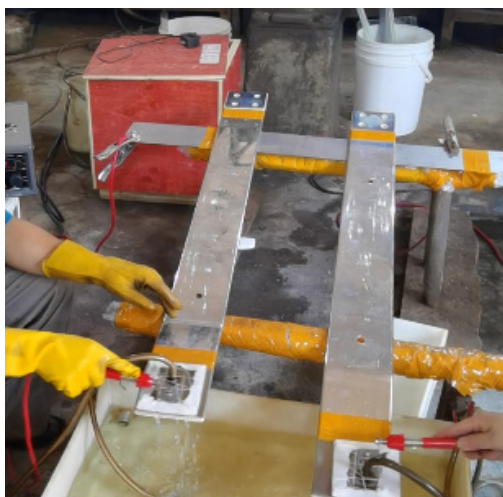


图 4 导电铜排局部镀锡

实例 5：镀镍成套技术在汽车领域的应用，如法国昂利公司生产自动线上的电气设备铝臂局部镀镍。



图 5 电气设备铝臂局部镀镍

6 结语

在电力、电工、电气行业，设备电器元件需要局部刷镀银、刷镀锡、刷镀镍的产品门类齐全，种类繁多，量大面广，相信随着时间的推移，技术的发展，将来会有越来越多的产品得到刷镀技术的服务，有理由相信刷镀技术应用前景广阔！

参考文献

- [1] 宾胜武《刷镀技术》化学出版社 2003.
- [2] 刘先曙《电接能材料的研究和应用》国防出版社 1979.
- [4] 张允诚，胡如南，向荣《电镀手册》国防工业出版社 2007.
- [5] 费敬银《定量测评电刷镀层的结合力》2024.
- [6] 刘天立《电镀镍溶液的维护与故障处理措施》化工管理出版社 2019.