

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2022.08.004

厚度与粗糙度对紫铜镀银层温升的影响

陈 婧*

(贵州交通职业技术学院汽车工程系, 贵州 贵阳 550008)

摘要: 本文对粗糙度为 $1.6\ \mu\text{m}$ 紫铜材质试样进行不同厚度的镀银处理, 并详细测试其银层粗糙度、厚度、结合力与导电性能。结果表明: 镀银厚度越小, 银层性能越优。设计银层厚度为 $12\sim 18\ \mu\text{m}$ 之间, 电导率为 $93.8\sim 94.7\ \text{IACS}$, 温升 $65\ \text{K}\pm 0.21\ \text{K}\sim 65\ \text{K}\pm 0.41\ \text{K}$, 满足设计要求; 设计银层厚度为 $30\sim 50\ \mu\text{m}$ 之间, 电导率为 $89.3\sim 91.7\ \text{IACS}$, 温升 $66\ \text{K}\pm 0.40\ \text{K}\sim 67\ \text{K}\pm 0.47\ \text{K}$, 超过设计要求。

关键词: 镀银; 粗糙度; 电导率; 温升

中图分类号: TQ638

文献标识码: A

Influence of Thickness and Roughness on Temperature Rise of Silver Plated Pure Copper Materials

CHEN Jing*

(Department of Automotive Engineering, Guizhou Jiaotong College, Guiyang 550008, China)

Abstract: The pure copper parts with $1.6\ \mu\text{m}$ roughness were treated with different silver thickness, and the roughness, thickness, and adhesion of the silver layer were tested. The results showed that the smaller the thickness of silver plating was, the better the performance of silver coating would be. When the designed thickness of silver layer ranges from $12\sim 18\ \mu\text{m}$, the average conductivity of silver layer is $93.8\sim 94.7\ \text{IACS}$, and the temperature rise is $65\ \text{K}\pm 0.21\ \text{K}\sim 65\ \text{K}\pm 0.41\ \text{K}$, meeting design requirement. When the designed thickness of silver layer ranges from $30\sim 50\ \mu\text{m}$, the average conductivity of silver layer reaches $89.3\sim 91.7\ \text{IACS}$, and the temperature rise is $66\ \text{K}\pm 0.40\ \text{K}\sim 67\ \text{K}\pm 0.47\ \text{K}$, exceeding design requirements.

Keywords: silver plating; roughness; conductivity; temperature rise

紫铜,具有良好的导电性、导热性与塑性,易于加工成型,大量用于制造电线与电缆等导电类产品。为提高其导电性能,开合电流位置一般对零部件均采用镀银处理,且保证镀银层为单质成分,镀银层与基体材料之间良好结合,利用银单质具有优良的导电性能,可以降低零部件之间接触电阻,提高其导电性能,降低导电过程中的发热与温升,满足设计与生产的需要^[1]。在生产上为保证镀银层的导电性能,技术人员从工艺流程、工装设备与技术参数等方

面做了大量的研究,获得了理想的研究成果^[2-4]。结果表明:厚度是影响银层导电性能的关键指标之一,影响着线路的接触电阻与导电性能,在比较重要的工作环境,银层较厚,一般工作环境,银层较薄。但实际上在工程应用过程中发现,需镀银的工作面银层厚度影响着其粗糙度大小,而粗糙度同样是影响镀银层导电性的重要因素。粗糙度数值过大在应用或者试验过程中与其它零部件有效接触面积过小,对导电性能会有不利影响,通电过程中温升会比较

收稿日期: 2020-05-13

修回日期: 2020-05-14

作者简介: 陈婧(1967—),女,大学,副教授, email: chenjingxls@163.com

高。粗糙度数值越小在应用或者试验过程中与其它零部件有效接触面积较大,对导电性能会有有利影响,通电过程中温升会比较低^[5-6]。但是针对紫铜材料在应用过程中定量镀银层厚度与粗糙度对导电性能的研究并不多见,生产上一直追求较大的镀银层厚度与较小的粗糙度,但是追求过大的银层厚度,生产成本较高,且镀层厚度比较大时并不容易获得较小的粗糙度,急需开展镀银厚度对粗糙度与导电率的影响研究,用于指导设计与生产。

为此本文选择紫铜作为基体材料系统分析镀银层厚度对粗糙度的影响、粗糙度对导电性能与温升的影响,在保证镀银层导电性能前提下优化最佳镀银层厚度与粗糙度,为生产与工程应用提供参考。

1 实验部分

1.1 基材

基材为紫铜长×宽×厚=50 mm×35 mm×1 mm,原始粗糙度约为1.6 μm。

镀银液组成为: KCN 145~155 g/L, AgCN 41~45 g/L, K₂CO₃ 16~20 g/L,光亮剂约20 mL/L。

1.2 工艺过程

NaOH除油碱洗→水洗→硝酸酸洗→水洗→浸锌→水洗→镀铜→水洗→预镀银→水洗→镀银→水洗。电镀工艺条件:室温,电流密度1.0 A/dm²,镀银层厚度要求分别为12 μm、18 μm、30 μm与5 μm,电镀时间依次约为25 min、40 min、60 min与100 min。每种厚度制备5件试样。

1.3 性能检测

镀银层厚度采用Oxford CMI900膜厚测试仪进行检测。粗糙度采用Mitutoyo SJ210便捷式表面粗糙度测试仪进行测量。

镀银层结合力采用热振法进行检测,试样放入普通加热炉内,温升速率为8 °C/min,至235±10 °C,保温2 h,随炉冷却至室温,观察镀银层气泡与变色状况。

镀银层导电率采用GE AutoSigma 3000电导率仪进行测试,每种名义粗糙度试样的各种性能都测5个样品。其中电导率以与国际退火铜标准(IACS)相比的百分数表示。

采用试验设备为HTHL-100A开关回路电阻测试仪,取电流值为100 A,试验电路如图1所示。测试设计镀银层厚度分别为12 μm、18 μm、30 μm与

50 μm试样的温升高低,每一组厚度的试样各两件,分别为R_{x1}与R_{x2},串联,自行进行对接接触,保持接触预紧力矩均为50 N·m,温升时间约为1 h,待温度稳定,即每个位置温升波动在1 K时视为稳定,然后测试温升数据,温升数据不超过65 K±0.5 K,满足设计要求。

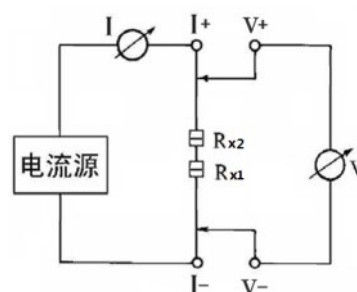


图1 温升试验电路

Fig.1 The test circuit of temperature rise

2 试验结果

2.1 试验样品镀银层的厚度

试验中对每一种镀银厚度的5件试样进行详细测试,记录试验结果并取平均值作为标准评判镀层厚度,结果如表1所示。设计镀银层厚度为12 μm,其5件试样实际镀银层厚度分别为11.7 μm、11.9 μm、12.5 μm、12.4 μm与11.8 μm,实际厚度均值为12.1 μm,略大于设计厚度。同样,设计镀银层厚度为18 μm,其5件试样实际镀银层厚度介于17.7 μm~18.4 μm之间,均值为18.1 μm,与设计厚度相差不大。设计镀银层厚度为30 μm与50 μm,其5件试样实际镀银层厚度均值分别为30.0 μm与50.1 μm。生产中镀银层厚度上下限控制为:设计厚度±3 μm,所有试样实际镀银层厚度均可满足设计要求。

表1 镀银层厚度

Tab.1 The thickness of the silver plating layer

设计镀银层 厚度/μm	试样镀银层实际厚度/μm					镀银层实际厚 度均值/μm
	1	2	3	4	5	
12	11.7	11.9	12.5	12.4	11.8	12.1
18	18.2	18.4	17.7	18.1	17.9	18.1
30	30.1	29.8	29.6	29.9	30.5	30.0
50	50.5	50.1	50.2	49.9	49.9	50.1

2.2 镀银后粗糙度变化

试验中仍选择表 1 每种镀银层厚度的 5 件试样测试粗糙度,记录试验结果并取平均值作为标准评判镀层粗糙度,结果如表 2 所示。从表中可以看出,镀银层厚度越大其基体试样表面粗化越厉害,即其粗糙度值越大。设计镀银层厚度为 12 μm 的 5 件试样,粗糙度平均值为 1.68 μm 。设计镀银层厚度为 18 μm 、30 μm 与 50 μm 时,对应镀银层厚度平均值分别为 18.06 μm 、29.98 μm 与 50.12 μm ,实际粗糙度平均值分别为 1.73 μm 、2.16 μm 与 2.46 μm 。

表 2 镀银层粗糙度

Tab.2 The roughness of the silver coating

设计镀银层 厚度/ μm	试样镀银层实际粗糙度/ μm					镀银层实际粗糙 度均值/ μm
	1	2	3	4	5	
12	1.68	1.67	1.68	1.69	1.67	1.68
18	1.73	1.72	1.74	1.73	1.75	1.73
30	2.13	2.18	2.16	2.19	2.15	2.16
50	2.50	2.46	2.42	2.44	2.49	2.46

镀银后试样表面粗糙度的变化与金属材料的结晶长大方式有着直接关系。电镀过程基本上均属于表面粗化过程,金属材料在电镀过程中是按照一定的方式结晶生长,伴随着晶粒的形核与长大逐渐形成镀层。首先,形核具有一定的选择性,在满足形核条件的局部区域首先形成晶核,晶粒从这些区域开始生长,并且在生长过程中晶粒还会具有方向的选择性,故沿着一定的方向晶粒快速长大,宏观状况就表现为晶粒生长的方向性,试样表面粗化,粗糙度数值变大。镀层厚度越小,沿着一定方向晶粒长大越薄,试样表面粗糙度数值就越小。镀层厚度越大,沿着一定方向晶粒长大越多,试样表面粗糙度数值越大。如表 2 中设计镀银层厚度为 12 μm ,其形成的镀银层粗糙度均值为 1.68 μm 。当设计镀银层厚度为 18 μm 时,其形成的镀银层粗糙度均值略有增加,为 1.73 μm 。当设计镀银层厚度为 30 μm 与 50 μm 时,其形成的镀银层粗糙度均值已经分别达到 2.16 μm 与 2.46 μm 。

2.3 镀银层结合力

经过 235 \pm 10 $^{\circ}\text{C}$ 的高温测试后,镀银层结合力测试结果如表 3 所示,镀银层厚度较薄其表面状况较好,表明其镀层结合力越好,镀银层厚度较厚,其表面状况较差,表明其镀层结合力越差。如镀银层厚

度约 12 μm ,5 件试样表面泛黄,其中 1 件样品出现黑色细小斑点,均无气泡。镀银层厚度约 18 μm ,5 件试样表面泛黄,局部发黑,其中 2 件样品出现黑色斑点,变色情况较前者明显加重,均无气泡。镀银层厚度约 30 μm ,2 件试样表面泛黄,3 件试样表面局部发黑严重且出现黑色斑点,1 件样品出现气泡。镀银层厚度约 50 μm ,2 件试样表面均匀泛黄,3 件试样表面局部发黑严重且出现黑色斑点,2 件样品出现气泡。

从测试结果可以看出镀银层厚度越小,其表面呈现均匀泛黄,如 12 μm 时,5 件试样均无出现气泡现象,但在 50 μm 时,已经有 3 件试样表面局部发黑严重且出现黑色斑点,2 件样品出现气泡。实际上镀银层表面状况反映了其内部的组织状况,镀银层比较薄时镀层内部所包含的缺陷位置较少,在受到热应力时其组织仍旧保持着良好的状况,镀银层比较厚时镀层内部所包含的缺陷位置较多,在受到热应力时其组织很容易从局部位置发生破坏。因此在设计阶段如果能够满足摩擦磨损性能的前提下尽量减薄镀层厚度。

表 3 镀银层结合力

Tab.3 The adhesion of the silver plating layer

设计镀银层 厚度/ μm	镀银层表面状况
12	5 件表面泛黄,1 件出现黑色细小斑点,无气泡。
18	5 件试样表面泛黄,局部发黑,其中 2 件出现黑色斑点,变色情况较前者明显加重,均无气泡。
30	2 件试样表面泛黄,3 件试样表面局部发黑严重且出现黑色斑点,1 件样品出现气泡。
50	2 件试样表面均匀泛黄,3 件试样表面局部发黑严重且出现黑色斑点,2 件样品出现气泡。

2.4 镀银层导电率

仍采用以上述试验中获得的样品进行镀银层导电性能测试,测试前对试样不进行任何处理,结果如表 4 所示。随着镀银层厚度增加试样表面粗糙度数值增加,试样导电率逐渐变差。如设计镀银层厚度为 12 μm ,镀银层厚度平均值为 12.06 μm ,其粗糙度平均值为 1.68 μm ,其 5 件试样导电率实际测试结果依次为 95.6 IACS、93.7 IACS、93.7 IACS、94.6 IACS 与 95.8 IACS,其导电率均值为 94.7 IACS。设计镀

银层厚度为 18 μm 时,镀银层实际粗糙度均值增加至 1.73 μm ,其导电率均值有所下降,约为 94.7 IACS。随设计镀银层厚度继续增加,为 30 μm 与 50 μm 时,镀银层实际粗糙度均值依次增加至 2.16 μm 与 2.46 μm ,其导电率均值下降比较明显,分别为 91.7 IACS 与 89.3 IACS。

尽管测试方式相同,同是镀银层,其导电性能却存在明显的差别,其镀银层最大的区别在于厚度与粗糙度不同,粗糙度不同试样镀银层与测试设备实际接触面积不同,最终均反映在导电率上。设计镀银层厚度 12 μm 时,镀银层粗糙度均值为 1.68 μm ,镀银层与设备接触面积比较大,测试结果导电率比较大,镀银层实际导电率均值 94.7 IACS。随着镀银层厚度增加,镀银层粗糙度数值变大,镀银层与设备接触面积比较小,镀银层实际导电率数值变小,导电能力变差。另外值得注意的是受镀银层厚度的影响,镀银层较薄时其内部缺陷是比较少的,因此其镀层保持着较好状况,气泡起皮较少,导电性能优良。相反,如果镀银层较厚可能会影响到其导电性能^[7-9]。

表 4 导电率测试值(相对于 IACS)

Tab.4 The conductivity test values (relative to IACS)

设计镀银层厚度/ μm	镀银层实际粗糙度均值/ μm	导电率实际测试结果/IACS					镀银层实际导电率均值/IACS
		1	2	3	4	5	
12	1.68	95.6	93.7	93.7	94.6	95.8	94.7
18	1.73	94.2	93.4	94.5	93.4	93.6	93.8
30	2.16	91.9	91.6	91.8	91.8	91.6	91.7
50	2.46	88.7	89.9	88.9	88.8	90.0	89.3

2.5 镀银层温升

镀银层温升试验结果如表 5 所示,随着设计厚度增加,镀银层粗糙度增加,导电率逐步下降的同时,其温升数据逐渐增加。当镀银层厚度设计为 12 μm 时,镀银层实际粗糙度均值为 1.68 μm ,镀银层实际导电率均值 94.7 IACS,温升数据为 65 K \pm 0.21 K。当镀银层设计厚度为 18 μm 、30 μm 与 50 μm 时,其温升数据分别为 65 K \pm 0.41 K、66 K \pm 0.40 K 与 67 K \pm 0.47 K。

温升数据较高与导电率有着密切的关系,设计厚度小,获得的镀银层粗糙度小,导电率高,在同样的加紧力矩情况下,其接触状况较好,零部件通流能力比较强,所以其温升比较低。从试验数据看,设计

厚度 12 μm 与 18 μm ,均可以满足使用要求。

表 5 镀银层温升

Tab.5 The temperature rise of the silver plating layer

设计镀银层厚度/ μm	12	18	30	50
镀银层实际粗糙度均值/ μm	1.68	1.73	2.16	2.46
镀银层实际导电率均值/IACS	94.7	93.8	91.7	89.3
温升/K	65 \pm 0.21	65 \pm 0.41	66 \pm 0.4	67 \pm 0.47

3 结论

本文以紫铜为基体材料,制备了 12 μm 、18 μm 、30 μm 与 50 μm 的镀银层,并测试了镀层的厚度、粗糙度、结合力与导电性能,获得试验结果如下:

(1)镀银层厚度越大,其表面的粗糙度数值越大,镀银层厚度越小,其表面的粗糙度数值越小,镀银层厚度约为 12 ~ 18 μm 时,其粗糙度数值为 1.68 ~ 1.73 μm ,电导率为 94.7 IACS ~ 93.8 IACS,温升 65 K \pm 0.21 K ~ 65 K \pm 0.41 K,满足设计要求;

(2)镀银层厚度约为 30 ~ 50 μm 时,其粗糙度数值为 2.16 ~ 2.46 μm ,电导率为 91.7 IACS ~ 89.3 IACS,温升 66 K \pm 0.40 K ~ 67 K \pm 0.47 K,超过设计要求。

基于以上研究结果,对于用于导电作用的紫铜镀银设计,应当考虑镀层厚度、粗糙度与导电性能的关系,适当降低镀层厚度,从而保证导电性能。

参考文献

- [1] 凌颖,赵莉华,林显,等.高压隔离开关电触头性能改善探讨[J].高压电器,2010,46(8): 101-105.
- [2] 李宝增,张柳丽,林生军,等.脉冲电镀银层组织与性能[J].电镀与精饰,2014,36(8): 8-11.
- [3] 路亚娟,张红军,雪金海,等.铝合金镀银电镀生产线设计的几点建议[J].电镀与涂饰,2016(13): 693-696.
- [4] 赵建伟.温度和电流密度对无氰镀银层微观形貌的影响[J].电镀与精饰,2014(7): 12-15, 19.
- [5] 焦承东,李宾.粗糙度对镀银层导电性能的影响[J].电镀与精饰,2018,41(2): 16-18.
- [6] 焦承东,李宾,田兴强.铝合金基材表面粗糙度对镀银层导电性的影响[J].电镀与精饰,2018,38(4): 1090-1093.
- [7] 许军,李坤.电接触的接触电阻研究[J].电工材料,2011(1): 10-12.
- [8] 柏小平,李国伟,翁桅,等.电触头表面状态对接触电阻的影响和改善方法[J].电工材料,2013(1): 10-15.
- [9] 胡星福,高华云,毛江宏.触头表面粗糙度对接触电阻影响的探讨[J].电工材料,2004(1): 14-16.