

航空电连接器接触体局部镀金工艺研究

Study of Selective Gold Plating on Aero Electrical Connector Contacts

中航工业沈阳兴华航空电器有限责任公司 孙 森 徐加有

[摘要] 针对航空电连接器接触件电镀金成本高问题,研究高速局部镀金工艺。主要研究了不同金离子浓度、添加剂浓度和电源的选择对电流密度范围、沉积速率和镀层质量的影响。试验结果表明,采用局部镀金可以满足航空电连接器的产品性能,同时可以节约成本1/3~1/2。

关键词: 航空电连接器 局部镀金

[ABSTRACT] Gold plating on aero electrical connector contacts is costly. In order to solve the problem, the selective gold plating is studied. The research of Au⁺ concentration, additive concentration and choice of power on current density range, deposition rate and coating quality are carried out. Results show that selective gold plating on aero electrical connector contacts can meet product performance requirements and save 1/3~1/2 of cost.

Keywords: Aero electrical connector Selective gold plating

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.09.070

随着航空技术产业的需求及发展,对接触体电镀的精度要求也越来越高,电镀技术也随着产业在向前发展。随着国内外高速局部镀金工艺的逐渐完善及局部电镀设备自动化程度的加强,越来越多的军民品都由原来的整体镀金改为局部镀金,从产品的设计要求和降低成本角度考量,都在推动着局部镀金技术的发展^[1]。

航空电连接器接触体按用途和材料可分为A、B、C、D 4种类型。A型(一般使用要求的铜合金接触体)、B型(用于气密封的铁合金接触体)、D型(用于屏蔽工况用途的铜合金接触体)航空电连接器接触体(特殊产品除外)除使用部位规定的区域必须达到规定的镀金层厚度外,其余部位镀层厚度可不作要求,因此航空电连接器接插件可以采用局部镀金工艺进行生产^[2]。通过试验验证不同金离子浓度、添加剂浓度和电源的选择都影响电流密度范围、沉积速率和镀层质量,局部镀金可以满足航空电连接器的产品性能,同时可以节约成本1/3~1/2,经济效益好。

1 试验方法

1.1 局部电镀原理

局部电镀原理为通过镀液和产品接触区域的控制来达到产生局部电镀层的工艺过程,也就是要电镀区域浸在镀液中,零件与溶液接触的部位会被电沉积金镀层,未浸在溶液中的部位因接触不到溶液,则不会有金镀层沉积。

1.2 局部镀金基准镀液与试验条件

以给定的基准镀液及试验条件为标准(局部镀金工艺规范见表1),每次试验只改变其中某一项工艺参数,其他的工艺参数暂不改变,进行局部镀金试验^[3-5]。

表1 局部镀金工艺规范

溶液成分和项目	含量及工艺参数
HSN 开缸剂 / (mL · L ⁻¹)	850
HSN 硬化剂 / (g · L ⁻¹)	1.5
[Au](以 KAu (CN) ₂ 形式加入) / (g · L ⁻¹)	10
HSN 添加剂 / (mL · L ⁻¹)	10
PH 值	4.5
温度 / (°C)	55

1.3 试验件及局部镀金部位

本试验以 22D# 航空接触体做为试验件进行局部镀金试验(图1所示为试验件零件),其中 X 部位镀金层厚度要求达到 1.27μm 以上,非 X 部位镀金层厚度不做要求,即 X 部位为需要局部镀金的部位。

2 试验结果

2.1 金离子浓度

试验结果表明,随着 [Au] 浓度的提高,电流密度的上限也相应提高:

当 [Au]=5g/L 时,电流密度的上限值为 $D_k=6A/dm^2$;

当 [Au]=10g/L 时,电流密度的上限值为 $D_k=12A/dm^2$;

当 [Au]=15g/L 时,电流密度的上限值为 $D_k=14A/dm^2$ 。

在满足镀金层质量的前提下,提高金离子含量可以增大电流密度范围,提高沉积速率。但批量生产过程中

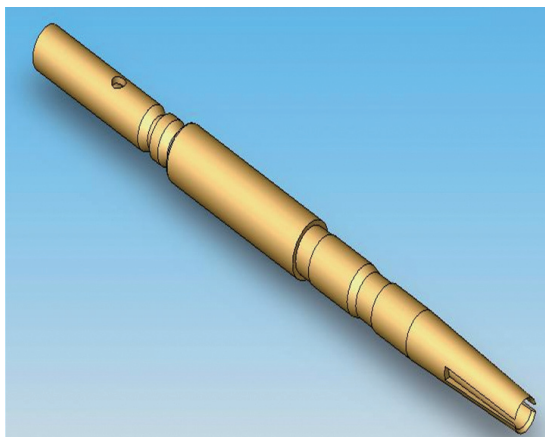


图1 22D#航空接插件零件

Fig.1 22D# aero electrical connector

由于镀件带出而消耗的槽液占槽液量的10%~20%，如果槽液中金离子含量提高，那么带出损耗及成本都会提高，从经济效益和产品质量等多方面考虑，我公司工艺规定金离子浓度以8~12g/L。

2.2 电流密度

由于镀金过程沉积速率与电流密度成正比，即电流密度越大，得到规定厚度的镀层花费的时间越少，同时也意味着局部镀金设备所需要设置的槽体长度也越短，但当电流密度增至一定程度时，沉积速率的变化趋于缓慢。

试验结果表明：

当 $D_k=2\sim 4\text{A}/\text{dm}^2$ 时，沉积速率变化最为明显；

当 $D_k=10\sim 14\text{A}/\text{dm}^2$ 时，沉积速率变化非常缓慢。

局部镀金电流密度与沉积速率关系见图2。

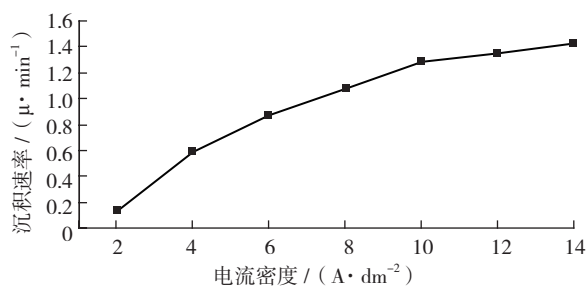


图2 电流密度与沉积速率关系图

Fig.2 Relationship between current density and deposition rate

2.3 添加剂浓度

试验结果表明：未加入HSN添加剂时，其电流密度上限值为 $6\text{A}/\text{dm}^2$ ，同时沉积速率也明显降低，沉积速率达到 $1.0\mu\text{m}/\text{min}$ 后增加非常缓慢；加入HSN添加剂后，电流密度上限值提高到 $15\text{A}/\text{dm}^2$ 左右。HSN添加剂浓度在8~15ml/L之间时，电流密度—沉积速率曲线没有明显变化。加入HSN添加剂后，电流密度上限值明显增加，同时镀层渗透力、附着力也增强，产品质量得到提高。

2.4 硅整流电源

由于脉冲电流对传质过程的影响，在脉冲电镀时，消耗的金属离子迅速扩散、补充到阴极附近，金属离子浓度得以快速恢复。脉冲电镀的峰值电流可以大大高于平均电流，促使晶种的形成速度高于晶体长大的速度，使镀层结晶细化，排列紧密、孔隙减少、镀层均匀性好，脉冲电镀提高了瞬时电流密度，加速了电沉积速度。而使用直流电镀时在阴极和溶液界面处形成较厚的扩散层，使阴极表面金属离子浓度降低产生浓差极化，电沉积的速度变慢^[6-7]。

2.5 产品质量

为了保证镀金层结合力，局部镀金前在接触体表面进行了滚镀金处理。对X部位进行局部镀金后，外观质量略有变化(图3所示为X部位局部镀金后接触体外观)。为了满足产品外观一致性的要求，我公司对局部镀金后的零件整体进行了闪镀金处理(整体闪镀金后接触体外观见图4)。

为直观了解局部镀金层状态，对局部镀金部位和非局部镀金部位进行了金相检测，镀层连续、均匀，局部镀



图3 X部位局部镀金后外观图

Fig.3 Appearance of X parts after selective gold-plating



图4 整体闪镀金后外观图

Fig.4 Appearance after whole gold-plating

金部位镀层厚度明显高于非局部镀金部位(试验件金相图见图 5、图 6)。

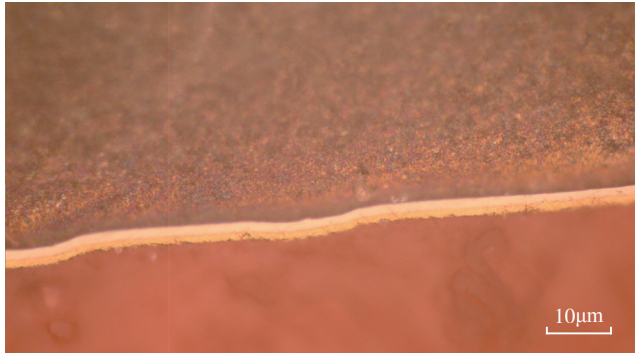


图5 X部位金相图
Fig.5 Metallograph of X parts



图6 非X部位金相图
Fig.6 Metallograph of non-X parts

为验证局部镀金产品质量性能,对局部镀金后接触体进行了试验验证,除外观检查外,试验项目还包括镀层厚度试验、结合力试验、硬度试验、耐盐雾试验、耐热性试验、耐湿热性试验、耐磨性试验、孔隙率试验、耐硝酸试验共 9 项试验^[8]。经试验验证产品性能满足国军标及 ASTM 等标准要求^[9](具体试验项目及试验结果见表 2)。

3 经济效益

航空电连接器接触体除规定的区域镀金层厚度要求达到 1.27 μm 以上外,其余部位镀层厚度可不作要求。以试验件 22D# 航空接插件为例,零件表面积为 0.109 dm^2 , X 部位的表面积仅为 0.033 dm^2 ,占总面积的 30.28%,以 X 部位平均镀层厚度 1.35 μm ,非 X 部位镀层平均镀层厚度 0.5 μm 计算,采用局部镀金成本只为整体镀件成本的 56.1%。可见,与整体镀金相比航空接插件采用局部镀金成本可节约 1/3~1/2。

4 结论

(1) 在局部镀金中,除了金离子浓度外,添加剂的

表2 试验项目及试验结果

序号	试验项目	试验结果
1	外观检查	局部镀金接触体表面有均匀的金镀层;镀金层均匀、平滑、细致,没有裸露基体金属及中间层,无未洗净的盐类痕迹,镀层表面未见斑点、黑点、烧焦、粗糙、针孔、麻点、分层、起泡、起皮、脱落现象
2	镀层厚度试验	用 X-射线测厚仪测量接触件的镀层厚度如下: X 部位镀层厚度:1.32~1.53 μm ; 非 X 部位镀层厚度:0.50~0.62 μm
3	结合力试验	局部镀金接触体 X 部位经 180° 反复弯曲断裂后,断裂面在 10 倍放大镜下未发现起皮、开裂现象
4	耐盐雾试验	经过 96h 中性盐雾试验后,接触体表面未见生锈和腐蚀现象
5	耐热性试验	局部镀金接触体在 (260 \pm 14) °C 的高温试验箱中保持 30min 后,金镀层没有出现起泡、褪色及白色结晶膜
6	耐湿热性试验	局部镀金接触体在 (40 \pm 5) °C 的高温试验箱中保持 24h,然后将试验样品放入高低温湿试验箱中,对其进行温度为 (40 \pm 2) °C、相对湿度为 90%~95% 的 96h 恒定湿热试验。试验结束后,接触体表面未见腐蚀现象
7	耐磨性试验	将接好线且组装好的自由端电连接器和固定电连接器,用手进行 500 次的连接和分离,且每一次插入和分离自由端电连接器和固定电连接器达到完全的插入分离。连接和分离的最大速度为 300 次/h。经试验后没有产生影响正常工作的缺陷,且能正常使用
8	孔隙率试验	清除局部镀金接触体表面的污垢后,将镀金接触体置于硝酸蒸气中暴露 60min,置于 125 °C 烘箱中干燥 30min,取出试样,干燥、冷却后,在 10 倍放大镜下观察试件表面发现 X 部位孔隙 \leq 2 个
9	耐硝酸试验	清除局部镀金接触体表面的污垢后,置于 (20 \pm 2) °C 的浓硝酸中浸泡 5min,观察其表面未见绿色产物出现

加入和硅整流电源的选择也是对电流密度范围、沉积速率和镀层质量有较大影响的工艺参数。

(2) 局部镀金的航空电连接器接插件无论是外观质量还是产品性能都可以满足产品技术要求。

(3) 航空电连接器接插件采用局部镀金工艺可以节约成本 1/3~1/2,经济效益好。

参考文献

- [1] 秦勇飞. 精密局部镀金技术在连续电镀方面的应用. 江苏表面工程, 2010(111):36-38.
- [2] 余玉芳, 裴学良, 曾志高, 等. GJB1216-1991 电连接器接触件总规范, 1991.
- [3] 张允诚, 胡如南, 向荣. 电镀手册第 4 版. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [4] Schlesinger M, Paunovic M. 现代电镀 第 4 版. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [5] 沈涪. 接插件电镀 第 1 版. 北京: 国防工业出版社, 2007.

(下转第 76 页)

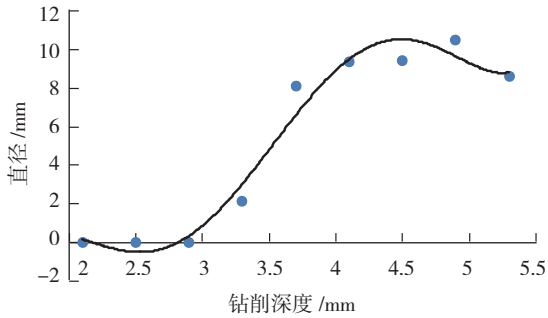


图7 分层直径变化趋势
Fig.7 Changes of delamination

度而逐渐增大,且由于未切削厚度减小,分层的临界轴向力减小,层间结合力小于钻削产生的轴向力,导致分层区域扩展。

(3)当钻头完全钻透板材后,随着钻深的增加,检测到的分层最大直径产生明显的降低,这是由于缩孔与刀具结构的共同作用。图8为钻深5.3mm时的轴向力变化情况,当钻孔深度达到5.3mm后,钻头开始退出孔,此时的轴向力为负值。可以得出,当钻头钻透板材后,由于钻头的导向部分存在向柄部方向减小的倒锥量,孔径产生回缩,当刀具退出孔时,会带动孔出口部分的材料向孔入口方向运动,从而导致分层的高度值减小,甚至原本已张开的分层区域边缘被再次压紧。钻头钻透后伸出的长度越长,其退出时对分层的压紧程度越严重。由于检测精度的限制,该部分未能检测到,导致所观察到的最终分层区域缩小。

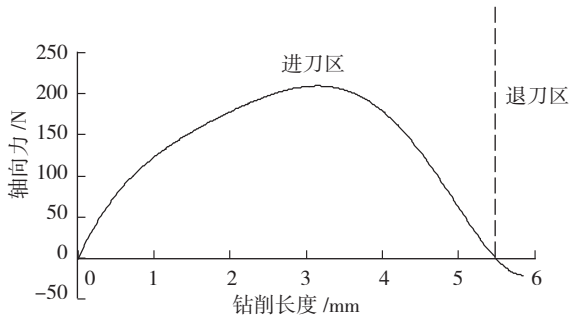


图8 钻孔深度5.3mm时的轴向力变化
Fig.8 Thrust force with drilling depth of 5.3mm

因此,在分层的边缘位置,存在着由于钻头退出而被再次压紧的分层区域以及有分层趋势的区域,我们称之为“隐性分层区”。显然,分层检测区域完全相同的两个孔,其“隐性分层区”大小不同,孔的性能也就不同,“隐性分层区”越大,孔的性能越差,寿命也就越低。如何对潜在分层区的情况进行描述,进而对孔的性能进行综合评价,成为一个比较迫切的问题。

4 结论

(1)采用研磨观察法可以精确检测到分层三维形

貌的具体情况,检测结果直观、准确、可靠。

(2)随着钻削过程的进行,孔出口处的分层面积呈现先增加后减少的趋势。加工完成后所检测到的分层区域小于孔内部结构的实际分层区域,原因是由于加工完成后退刀时所带来的分层边缘区域再次压紧。

参考文献

- [1] Gilpin A. Tools solutions for machining composites. Reinforce Plastics, 2009, 8/9: 30-34.
- [2] 张厚江,樊锐,陈五一,等. 高速钻削碳纤维复合材料钻削力的研究. 航空制造技术, 2006(12):76-79,82.
- [3] Hocheng H, Dharan C K H. Delamination during drilling in composite laminates. Transactions of ASME Journal of Engineering for Industry, 1990, 112(8):236-239.
- [4] Chen W C. Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber-reinforced plastic (CFRP) composite laminates. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 1997, 37(8):1097-1108.
- [5] Lachaud F, Piquet R, Collombet F, et al. Drilling of composite structures. Composite Structures, 2001, 52:511-516.
- [6] Davim JP, Reis P. Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments. Composite Structures, 2003, 59(4):481-487.
- [7] 张厚江,陈五一,陈鼎昌. 碳纤维复合材料 (CFRP) 钻孔出口缺陷的研究. 机械工程学报, 2004, 40(7):150-155.
- [8] 张厚江,陈五一,陈鼎昌. 碳纤维复合材料钻孔出口椭圆形分层缺陷的研究. 机械工程学报, 2004, 40(12): 145-149.
- [9] Karnik S R, Gaitonde V N, Campos R J, et al. Delamination analysis in highspeed drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using artificial neuralnetwork model. Materials and Design, 2008, 29:1768-1776.
- [10] Stone R, Krishnamurthy K. A neural network thrust force controller to minimize delamination during drilling of graphite-epoxy laminates. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 1996, 36(9):985-1003.
- [11] 张厚江,陈五一,陈鼎昌. 碳纤维复合材料钻孔分层的渗透检测. 航空制造技术, 2004 (12):78-80.
- [12] Tsao C C, Hocheng H. Taguchi analysis of delamination associated with various drill bits in drilling of composite material. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2004,44:1085-1090.

(责编 春早)

(上接第72页)

- [6] 刘勇,罗义辉,魏子栋. 脉冲电镀的研究现状. 电镀与精饰, 2005, 5(27):25-29.
- [7] 许维源. 近年来脉冲电镀发展概况. 电镀与精饰, 2003, 6(22):41-45.
- [8] 于东林,赵长春,周志春,等. GJB1941-94 金电镀层规范, 1994.
- [9] ASTM B488-01 Standard Specification for Electrodeposited Coatings of Gold for Engineering Uses. United States: ASTM International, 2001.

(责编 亿霖)