

技术专论

# 一种提高硬铬镀层气密性的方法

汤智慧<sup>1</sup>, 王长亮<sup>1</sup>, 王力强<sup>2</sup>, 戴述成<sup>2</sup>, 岳文华<sup>1</sup>, 陆峰<sup>1</sup>

(1. 北京航空材料研究院, 北京 100095; 2. 成都飞机工业(集团)有限责任公司, 成都 610092)

**摘要:** 分析研究了硬铬镀层气密性不佳的原因。为提高电镀硬铬镀层的气密性, 采用一种封孔技术对镀层进行后处理。研究表明, 用518封孔剂处理后的硬铬镀层, 气密性可满足“20 MPa, 30 min 气密性试验, 铬层不出现渗漏气泡”的要求, 封孔剂可进入到镀层20~30  $\mu\text{m}$  的深度, 且耐液压油性能较好。

**关键词:** 气密性; 硬铬镀层; 封孔处理

**中图分类号:** TQ153.1      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2012)04-0071-03

## A Method of Increasing Airtight Function of Hard Chromium Plating

TANG Zhi-hui<sup>1</sup>, WANG Chang-liang<sup>1</sup>, WANG Li-qiang<sup>2</sup>, DAI Shu-cheng<sup>2</sup>, YUE Wen-hua<sup>1</sup>, LU Feng<sup>1</sup>

(1. Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China;

2. Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co. Ltd., Chengdu 610092, China)

**Abstract:** The causes of poor airtight performance of hard chromium plating were analyzed. A sealing-treatment was employed in the post-treatment of hard chromium plating to improve the airtight function of the coating system. The results showed that the hard chromium plating passes 20 MPa/30 min airtight function testing with no leakage of gas after the post-treatment by 518 sealing reagent; the sealing reagent penetrates as deep as 20~30  $\mu\text{m}$  and co-operates well with hydraulic fluid.

**Key words:** airtight function; hard chromium plating; sealing-treatment

电镀硬铬层是飞机有耐磨需求部位零件的常用涂覆层, 具有工艺成熟、耐磨性较好、可满足高强度钢低氢脆防护需求等优点<sup>[1]</sup>, 因此在航空领域应用广泛。硬铬镀层用于起落架、液压系统等时, 通常有气密性要求, 但长期以来, 航空领域各工厂在气密性试验中都普遍存在渗漏气泡的现象, 俗称“镀铬冒汗”<sup>[2]</sup>。气密性不合格将严重影响起落架、液压系统等零部件的功

能, 造成镀铬零件不能交付、反复返修, 严重时超过50%的零件需返修, 甚至出现零件超过返修次数而报废的情况。近30年来, 各航空工厂研究和采取了多种方法, 如油封、金刚石碾压等<sup>[2]</sup>, 但均不能完全解决该问题。为此, 笔者采用了一种封孔技术对镀层进行后处理, 从而较好地解决了这个问题, 可满足“20 MPa, 30 min 气密性试验, 铬层不出现渗漏气

收稿日期: 2012-05-07

作者简介: 汤智慧(1974—), 男, 湖南岳阳人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为腐蚀防护及喷涂技术。

泡”的要求。

## 1 试验

试验采用经最终热处理制度后的 A-100 钢试样。用于镀层微观形貌观察和耐蚀性试验的试样尺寸为  $50\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ , 用于耐液压油性能试验的试样尺寸为  $25\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ , 用于气密性试验的试样尺寸为  $\phi 60\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ 。

电镀硬铬工艺流程为:除油→清洗→电镀硬铬→除氢。电镀硬铬工艺参数为:温度  $50 \sim 60\text{ }^\circ\text{C}$ , 电流密度  $40 \sim 60\text{ A/dm}^2$ , 电镀硬铬厚度  $40 \sim 60\text{ }\mu\text{m}$ 。

封孔处理工艺流程为:硬铬镀层→除油→加热→涂覆 518 封孔剂(刷涂或浸涂)→室温固化( $\geq 3\text{ h}$ )→加温固化( $120\text{ }^\circ\text{C}$ , 保温时间  $\geq 120\text{ min}$ )。

镀层表面和截面微观形貌用 Quanta 600 扫描电镜(SEM)进行分析;盐雾试验按 ASTM B117 在 Q-FOG 盐雾箱中进行。耐液压油性能试验方法如

下:对整块固化的封孔剂进行考察,称取两块封孔剂的质量后,将其中一块封孔剂浸入  $60\text{ }^\circ\text{C}$  的 15 号航空液压油中进行试验,持续  $48\text{ h}$ ,取出后用丙酮去除表面的液压油,观察封孔剂表面有无溶胀、鼓泡,将封孔剂吹干后称量,记录质量,之后将两块封孔剂放入  $180\text{ }^\circ\text{C}$  烘箱中保温  $2\text{ h}$ ,使封孔剂彻底干燥,取出后称量。气密性试验采用实验室模拟装置和工厂起落架气密性检测装置进行。

## 2 结果及讨论

### 2.1 镀层微观形貌分析

图 1 是电镀硬铬镀层的表面及截面微观形貌。由图 1 可见,镀层存在微裂纹,尤其是除氢后的微裂纹增多,微裂纹在镀层内随机分布,当微裂纹贯通时,可能导致镀层漏气。微观形貌很好地解释了硬铬镀层气密性不佳的原因。

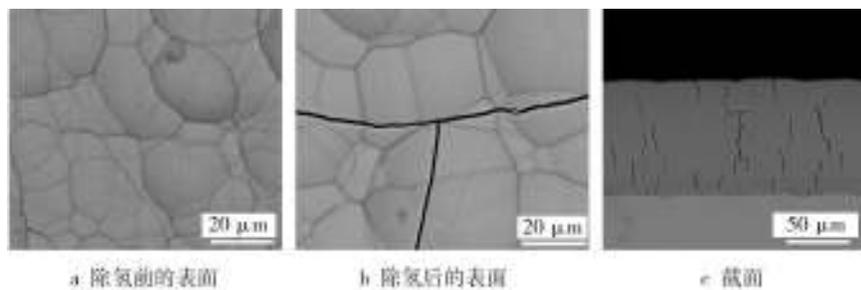


图 1 硬铬镀层微观形貌

Fig. 1 The morphology of hard chromium coating

铬层中出现微裂纹,主要是由电镀硬铬沉积机理决定的。电镀硬铬时,电流效率很低,副反应产生大量氢,其中一部分氢进入镀层中,由于氢的存在,铬并不是直接沉积为正常的体心立方结构的金属铬,而是首先沉积为六方晶格形式的铬氢化物(分子式  $\text{Cr}_2\text{H}$  到  $\text{CrH}_2$ )或者面心立方晶格形式的铬氢化物(分子式  $\text{CrH}$  到  $\text{CrH}_2$ )<sup>[1,3-4]</sup>。在正常电镀条件下,最容易形成的是六方晶格的氢化物。六方晶格的氢化物容易分解为体心立方的铬,并释放出游离氢(常温时即可分解)。无论是六方晶格的铬氢化物,还是面心立方的铬氢化物,在分解为体心立方的铬时,都能使体积收缩 15% 以上,产生巨大拉应力,使得镀层出现裂纹。因此采用目前传统的电镀硬铬工艺,都将

不可避免地在镀层中产生微裂纹,当裂纹贯通时,将会导致镀层气密性测试时漏气。除氢后裂纹会增多,这是由于温度升高,铬氢化物分解得更快、更多。

上述分析也很好解释了目前工厂生产中,硬铬镀层漏气的不确定性现象,即同一批零件中既存在漏气件,也有不漏气零件,返修后可能合格,也可能不合格,这种不确定性是由裂纹的随机分布和是否贯通来决定。

目前生产中解决硬铬镀层漏气的主要方法有退除镀层后返修、油封、金刚石碾压等方法。根据硬铬镀层漏气的原因可知,返修的方法不能彻底解决漏气问题。油封方法只是临时性措施,在服役使用过程中,由于压力作用,油会从裂纹中流出。金

刚石碾压相对而言是一种较好的方法,通过碾压塑性变形,使微裂纹封闭,但金刚石碾压时如操作不当,会引起表面应力集中、过热而重新产生微裂纹。工厂经验表明,金刚石碾压可使漏气率大幅下降,但不能完全解决漏气问题;此外,金刚石碾压还无法解决内表面铬层漏气的问题。三价铬电镀层,虽然性能较普通镀铬有所提高,也仍然无法消除镀铬层中的裂纹<sup>[5]</sup>。

## 2.2 性能分析

对电镀硬铬试样进行实验室模拟装置气密性试验,增压至20 MPa时,镀层表面出现大量气泡(如图2a所示),表明镀层漏气;采用518封孔剂对该试样进行封孔处理后,气密性试验结果见图2b。试验表明,封孔处理后的硬铬镀层气密性大幅度提高,可满足“20 MPa, 30 min 铬层不出现渗漏气泡”的高气密性要求。笔者将该封孔处理方法用于某型飞机前起落架活塞杆实际零件上,经成都飞机工业(集团)有限责任公司起落架气密性检测装置进行气密性试验,结果同样是20 MPa保持30 min未出现漏气。

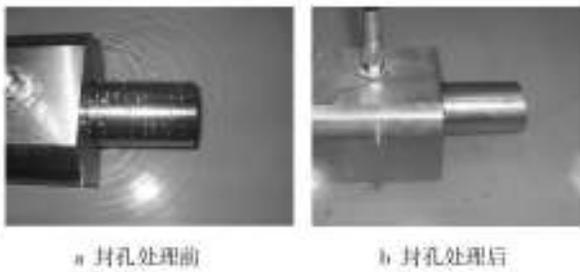


图2 气密性试验结果

Fig. 2 Result of airtight function test

518封孔剂的渗透性好,可有效封闭硬铬镀层的微裂纹。封孔技术中还利用了温差气体收缩效应和毛细现象,即零件在较高温度时涂覆封孔剂,冷却后去除多余封孔剂,使封孔剂可在液体状态深入到镀层微裂纹深处,再固化成固态,达到气密性稳定的目的。

由于硬铬镀层微裂纹细小,无法通过光学显微镜、扫描电镜或显色等方法来直接判断封孔深度或封孔完全与否。文中采用中性盐雾试验来间接判断封孔剂的封孔深度。因硬铬镀层中存在大量微裂纹,电镀硬铬镀层的钢试样进行盐雾试验会很快出现锈蚀(<24 h),采用封孔剂封孔后,有机高分子封

孔剂封闭了微裂纹,进行盐雾试验时可长达数千小时不出现锈蚀。用金刚石砂纸打磨封孔后的硬铬试样,去除不同厚度镀层后,进行盐雾试验,试验结果如图3所示。试验结果表明,打磨20 μm的试样未出现腐蚀,打磨30 μm的试样则出现锈蚀,由此判断封孔剂渗入深度应为20~30 μm。

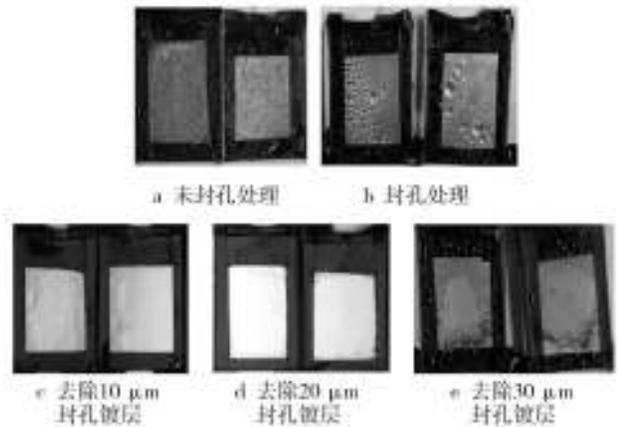


图3 中性盐雾试验结果

Fig. 3 Result of neutral salt spray test

带有硬铬镀层的零件在使用过程中经常会与15号航空液压油接触,因此进行了封孔剂对15号航空液压油的适应性试验,试验结果见表1。可见封孔剂浸泡液压油后,有微弱增重,可能是边缘的孔隙残留了一定的液压油。与未经过液压油浸泡的平行试样进行对比,同在180℃烘箱保温2 h后,质量都减少,但相对变化几乎为0,表明封孔剂在液压油浸泡后没有发生溶解。

表1 耐液压油试验结果

Table 1 Result of hydraulic oil resistance test

项目	经液压油浸泡的封孔剂	未经液压油浸泡的封孔剂
固化后质量/g	11.6717	10.1407
液压油浸泡并吹干后质量/g	11.7176	
180℃烘烤2 h后质量/g	11.5345	10.0030
最终质量变化/mg	-137.2	-137.7

## 3 结论

1) 硬铬镀层气密性不佳的主要原因是:电镀硬  
(下转第91页)

口的空气阻力,提高空气的净化效果。

2) 根据当地大气压力,调整空压机的自动升压和卸载压力,但调整后的最大压缩比不能超过设计规定值,保证空气压缩机不受损坏。如果当地的大气压力过低,在压缩比最大承受能力下仍不能满足建立工况的要求,则需另用增压装置对空压机进行预增压,增加进气压力,保证空压机排气压力和气量能维持制氧设备的正常工作。

3) 防止透平膨胀机超速运转。为保证膨胀机运转时不超过最高转速,应及时增加制动风机的空气进气量。另外,在启动膨胀机前要检查轴承气压力是否在规定范围内,否则要调整减压阀,使轴承气压力达到工作要求。

4) 调节设备元器件温度。根据环境温度变化,控制精馏工况冷量平衡,包括采用调整膨胀机转速、开停预冷机组等措施,控制进分馏塔的空气量。当环境温度高,设备长时间运行时,为保证电控箱的正常工作,应在大功率的电器设备附近配置电风扇,及时通过车载空调来调节操作室内的温度,加速空气的流通,以增加散热效果。

5) 注意润滑油的选择。在低温条件下应选择适用于高原低温环境下的润滑油<sup>[4]</sup>,减小对压缩机的不利影响,保证低温条件下良好的润滑性能。同时,润滑油要具有凝点低、抗腐、防锈特性,保证在高温

条件下也能正常使用。

## 4 结语

经过分析三种主要制氧技术的优缺点,以及高原特殊环境对深冷法制氧设备产生的影响,认为高原制氧设备仍然应该选择深冷法制氧技术,只要适当调整制氧设备相关部件,采取相应技术措施,深冷法制氧设备就能适应高原环境特点,顺利完成航空用氧的生产与保障,提高完成高原飞行保障任务的能力。此研究也为飞行训练所需氧气保障装备的更新换代与装备建设发展提供了参考和依据。

### 参考文献:

- [1] 胡连桃. 航空四站保障学[M]. 徐州:徐州空军学院,2007.
- [2] 许翔,周广猛,郑智,等. 高原环境对保障装备的影响及适应性研究[J]. 装备环境工程,2010,7(5):100—103.
- [3] 雷金果,胡连桃. 气体压充技术与设备[M]. 徐州:黄河出版社,2000.
- [4] 王峰,陈连善. KL-15A型制氧制氮车高原试车[J]. 深冷技术,2006(2):31—32.
- [5] 朱学军,郭彤. 高原环境对小型医用制氧机性能的影响[J]. 医疗装备,2001(3):7—8.

(上接第73页)

铬镀层中存在微裂纹,除氢后,微裂纹增多。

2) 采用518封孔剂处理后的硬铬镀层,气密性可满足“20 MPa, 30 min气密性试验,铬层不出现渗漏气泡”的要求。

3) 采用518封孔剂对硬铬镀层封孔,封孔剂可进入到镀层20~30 μm深度。

4) 518封孔剂具有较好的耐液压油性能。

### 参考文献:

- [1] 张允城,胡如南,向荣. 电镀手册[M]. 北京:国防工业出版社,1997:363—409.

社,1997:363—409.

- [2] 刘佑厚,苏育龙,王宇. 镀铬层气密性研究[J]. 材料保护,2002,35(1):19—20.
- [3] SAIDDINGTON J C,HOEY G R. Crack-free Chromium from Conventional Plating Baths[J]. Plating,1974,61(10):923—930.
- [4] WILSON B A,TURLY D M. Development and Characteristics of Crack-free Chromium Coating Produced by Electrop-lating[J]. Trans IMF,1989,67:104—108.
- [5] 蒲滕,奚愚生,欧忠文,等. 深管零件内壁专用镀铬添加剂性能研究[J]. 表面技术,2012,41(2):35—37.