

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2022.06.002

镀前处理对 GH4169 电镀铬的影响

郭敏智*, 谢焕钧, 李立群

(中国航发中传机械有限公司, 湖南 长沙 410200)

摘要: 采用阴极活化、阳极腐蚀、酸洗、吹砂、预镀镍或吹砂与预镀镍结合等镀前处理方式, 研究了镀前处理对 GH4169 电镀铬的影响。结果表明: 吹砂和吹砂与预镀镍结合的镀前处理方式能有效在 GH4169 圆形表面形成铬层, 铬层外观、结合力好; 仅吹砂与预镀镍结合的镀前处理方式, 并利用辅助阳极和保护阴极, 能有效在锥形块垫片表面均匀成膜, 铬层厚度均匀, 外观和结合力好。

关键词: 电镀铬; 镀前处理; 辅助阳极; 保护阴极

中图分类号: TG174.4 **文献标识码:** A

Effect of Pretreatment on Chromium Electroplating of GH4169

GUO Minzhi*, XIE Huanjun, LI Liquan

(AECC Zhongchuan Transmission Machinery Co., Ltd., Changsha 410200, China)

Abstract: The effects of pretreatment on GH4169 chromium electroplating were studied by cathodic activation, anodic corrosion, pickling, sand blowing, pre-nickel plating or sand blowing combined with pre-nickel plating. The results showed that the chromium layer can be effectively formed on the round surface of GH4169 by sand blowing and sand blowing combined with pre-nickel plating, and the layer had good appearance and adhesion. The pretreatment way of sand blowing combined with pre-nickel plating with auxiliary anode and protective cathode can effectively form uniform chromium layer on the surface of conical block gasket, and the layer had uniform thickness, good appearance and bonding force.

Keywords: electroplating chromium; pretreatment; auxiliary anode; protective cathode

GH4169 合金是过去 40 年广泛运用于飞机发动机上的镍基高温合金, 其被大量使用于飞机发动机部件, 如临界旋转零件、机翼、支撑结构(垫片)和压力舱等, 年产量占据整个变形高温合金总量的 45 % 以上^[1]。该合金是一种沉淀强化的铁镍基合金, 具有较好的高温力学性能、良好的热工艺和焊接性能。而随着航空发动机和燃气轮机对部件性能要求的不断提高, 对 GH4169 合金的性能条件也提出了更高的要求。

铬电极电位虽然很负, 但它有很强的钝化性能, 在大气中很快钝化, 显示出具有贵金属的性质。铬

层硬度高(HV800~1100), 耐磨性好, 反光能力强, 具有较好的耐热性, 被广泛用作钢铁零件防护-装饰性镀层体系的外表层和机能镀层。在 GH4169 合金表面镀铬, 可有效提高基体硬度及耐蚀性能。但是 GH4169 合金材料因铬含量较高, 给镀铬带来很大难度^[2], 铬层与基体结合力差且易起皮, 并且镀铬溶液的分散和覆盖能力差, 形状复杂的零件需采用象形阳极才能得到厚度均匀的镀层^[3]。而高温合金镀铬技术在国内研究较少, 马建铁等^[4]研究了高温合金(GH696)活塞环的镀铬方法, 其采用硫酸与氢氟酸、盐酸腐蚀的预处理方法, 在活塞环表面沉积

收稿日期: 2020-11-21

修回日期: 2021-04-11

作者简介: 郭敏智(1978—), 男, 本科, 高级工程师, email: 13975850943@139.com

7~10 μm 铬层,但零件形状较为简单,且厚度较薄。

本文通过探索镀铬前处理方法,并利用特定的辅助阳极和保护阴极,在 GH4169 合金表面以及锥形块垫片上得到结合力良好、形貌均匀,能满足实际生产需求的铬层。

1 实验

1.1 GH4169 合金镀铬层的制备

锥形块垫片使用材料为 GH4169 合金(质量分数: $\text{C} \leq 0.08\%$, $\text{Cr} 17.0\% \sim 21.0\%$, $\text{Ni} 50.0\% \sim 55.0\%$, $\text{Mo} 2.80\% \sim 3.30\%$)。前期研究在试棒上进行,试棒规格 $\phi 10 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$,镀铬前需除净试

棒表面油脂。后期验证在锥形块垫片上进行,具体尺寸和形状见图 1 所示。

镀铬层制备工艺流程如下:除油→热水洗→冷水洗→镀前处理→镀铬→冷水洗→热水洗→干燥→除氢→检验,其中镀前处理包括阴极活化、阳极腐蚀、酸洗、吹砂、预镀镍、吹砂与预镀镍结合等方式。电镀铬实验以铅铋合金作为阳极, GH4169 工件作为阴极,镀铬后铬层结合力好坏主要由镀前处理方式决定,本文通过改变镀前处理方式对 GH4169 合金进行镀铬试验,镀铬槽液参数如下: CrO_3 200~250 g/L; H_2SO_4 ($\rho = 1.84 \text{ g/mL}$) 2.0~2.5 g/L; Cr^{3+} 3~5 g/L; $\text{CrO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ 为 (95~105):1。

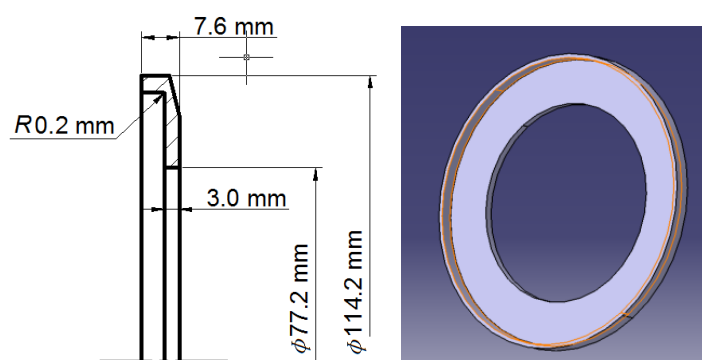


图 1 锥形块垫片尺寸及形貌图

Fig.1 Dimensions and morphology of the conical block gasket

1.2 镀铬层外观、结合力表征

镀铬层外观在天然散射光线或无反射光的白色透射光线目视检查,镀层应结晶细致、均匀,颜色为亮灰色;镀铬层结合力检查则按 HB 5041 的规定,用空气炉加热零件或试样至 $300 \pm 10^\circ\text{C}$,保温 1 h,然后在冷水中骤冷,并用目视方法检查镀层有无起泡、脱落现象来表征结合力。

2 结果与讨论

通过改用不同的活化方法进行镀前处理,摸索适宜的活化方法,且每组用 3 个试样进行平行试验得到结果如表 1,具体情况见图 2。

将吹砂活化与吹砂后再预镀镍处理,然后进行镀铬的试样放入空气炉加热至 300°C ,保温 1 h,然后在冷水中骤冷,目视检查,镀层无起泡、脱落现象,具体见图 3,表明吹砂活化与吹砂后再预镀镍处理,均可显著提高 GH4169 合金铬层结合力。

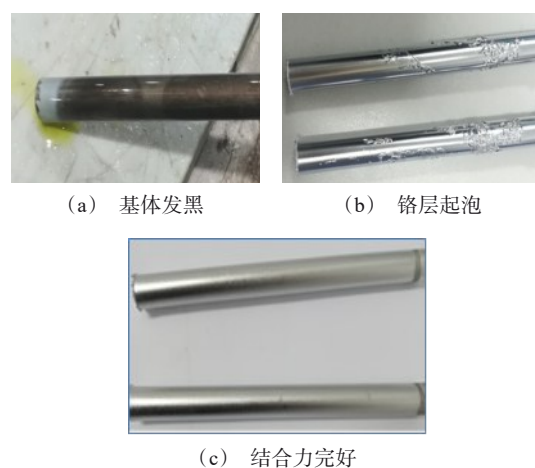


图 2 基体镀铬表面结合力

Fig.2 The adhesion of the chromium-plated surface

3 锥形块垫片零件镀铬工艺探索

镀铬使用的 CrO_3 和 H_2SO_4 混合溶液作为电解液,但是该种溶液存在不足之处,如阴极电流效率很

低,工业化生产中仅为 12 % ~ 15 %;镀液的分散能力差,欲获得均匀的镀层,则需要进行人工干预,比如设计象形阳极或保护阴极^[5]。本文涉及的锥形块垫片,零件表面要求镀铬(15~35) μm ,但 $R\ 0.2\ \text{mm}$ 处邻近区域受形状影响是低电流区,在电镀时因沉

积速度慢有重新钝化的风险; $\phi 114.2\ \text{mm}$ 外圆和 $\phi 77.2\ \text{mm}$ 内圆尖角处电力线集中,镀层易粗糙。通过采用镀前吹砂处理和吹砂后再预镀镍处理两种方式,设计不同的象形阳极和保护阴极,对 GH4169 合金锥形块垫片镀铬工艺进行探索。

表 1 镀前处理对试棒基体结合力的影响

Tab.1 Effect of pretreatment on the adhesion of the matrix

序号	镀前处理	镀前处理具体方法	结果
1	阴极活化或阳极活化	阴极活化→逐步增大→冲击电流→降至正常电流(通常工艺)	无镀层
		阳极活化→切换阴极→逐步增大→冲击电流→降至正常电流	表面发黑,几乎无镀层
		阴极活化→阳极活化→切换阴极→逐步增大→冲击电流→降至正常电流	表面发黑,几乎无镀层
		带电下槽→阴极活化→逐步增大→冲击电流→降至正常电流	无镀层
2	镀前酸洗	弱腐蚀溶液(H_2SO_4 , $\rho=1.84\ \text{g/mL}$ 、100~150 g/L), 室温, 浸渍 2 min(通常工艺)	无镀层
		用强腐蚀代替弱腐蚀 强腐蚀溶液(HCl , $\rho=1.19\ \text{g/mL}$ 、质量比 $\geq 65\%$), 室温, 浸渍 2 min	有镀层,加厚则开裂脱落
3	预镀镍	在弱腐蚀后增加预镀镍工步 $\text{NiCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 200~250 g/L; $\text{HCl}(\rho=1.19\ \text{g/mL})$ 180~220 g/L 零件下槽后保持 2~4 min 进行腐蚀,然后通电电镀 3~5 min, 电流密度 5~10 A/dm ²	有镀层,加厚则开裂脱落
4	吹砂活化	预除油→吹砂→去污粉刷洗除油→冷水洗→镀铬→冷水洗→热水洗→干燥→除氢→检验 砂粒:100 目的棕刚玉, 压力: $\leq 0.2\ \text{MPa}$, 喷嘴距离:150~300 mm	镀层结合力好, 镀层均匀
5	吹砂后再预镀镍	预除油→吹砂→去污粉刷洗除油→冷水洗→预镀镍→冷水洗→镀铬→冷水洗→热水洗→干燥→除氢→检验 砂粒:100 目的棕刚玉, 压力: $\leq 0.2\ \text{MPa}$, 喷嘴距离:150~300 mm; 预镀镍溶液 $\text{NiCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 200~250 g/L, $\text{HCl}(\rho=1.19\ \text{g/mL})$ 180~220 g/L; 零件下槽后保持 2~4 min 进行腐蚀,然后通电电镀 3~5 min, 电流密度 5~10 A/dm ²	镀层结合力好, 镀层均匀

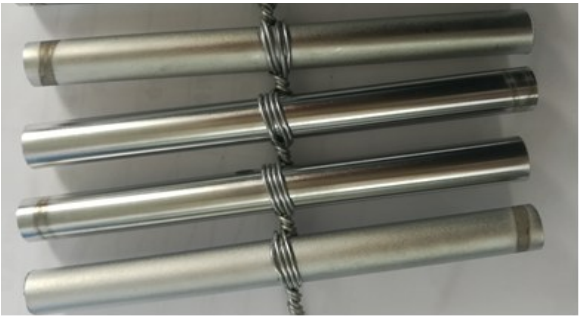


图 3 结合力检查后基体镀铬表面

Fig.3 The surface of chromium plated matrix after adhesion test

3.1 吹砂镀前处理对锥形块垫片镀铬的影响

选取(砂粒:100 目的棕刚玉, 压力: $\leq 0.2\ \text{MPa}$, 喷嘴距离:(150~300)mm)吹砂方式,通过设计不同

的象形阳极和保护阴极夹具,对锥形块垫片进行镀铬工艺探索,具体如表 2。由表 2 可以看出,仅吹砂活化,通过改变辅助阳极、挂具和辅助阴极,均无法在锥形块垫片表面完整沉积电镀铬层,特别是内直角边,由于为低电流区,在电镀时因沉积速度慢而重新钝化,导致该区域无法成膜。

3.2 吹砂+预镀镍镀前处理对锥形块垫片镀铬的影响

表 3 为吹砂+预镀镍镀前处理的镀铬试验情况,可以看出,通过调整辅助阳极、挂具和辅助阴极,用带有弹性的卡子撑住零件内圈、零件外圈套一个辅助阴极能均匀地在锥形块垫片表面完整沉积电镀铬层,特别是内直角边,镀层均匀,且外镀层无结瘤,镀层均匀性好。

表2 吹砂镀前处理的镀铬试验

Tab.2 Chromium plating test of sand blowing pretreatment

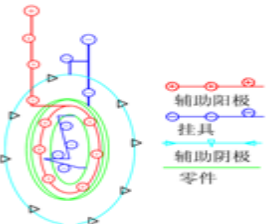
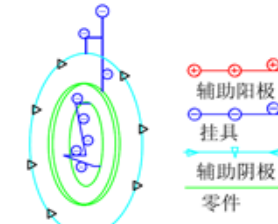
序号	零件装夹图样	说明	零件电镀效果
A1		用带有弹性的卡子撑住零件内圈;零件外圈套1个辅助阴极;零件内直角处装1个辅助阳极;零件上有3个接触点;零件无晃动;更换接触点不方便	接触点处无镀层,旋动重新活化后可减小接触斑;内直角处局部无镀层;外圈尖角处镀层均匀;内圈尖角处镀层均匀;内裙边尖角处镀层结瘤;平面与辅助阳极靠近的区域镀层粗糙

表3 吹砂+预镀镍镀前处理的镀铬试验

Tab.3 Chromium plating test of sand blowing & nickel pre-plating pretreatment

序号	零件装夹图样	说明	零件电镀效果
B1		用带有弹性的卡子撑住零件内圈;零件外圈套1个辅助阴极;零件上有3个接触点;零件无晃动;更换接触点方便	接触点处无镀层,旋动并重新活化后可减小接触斑;内直角处镀层均匀;外圈尖角处镀层均匀;内圈尖角处镀层均匀

3.3 锥形块垫片铬层检测结果

在天然散射光线或无反射光的白色透射光线下目视检查。锥形块垫片上检查外观,全部表面都有镀层,包括内 $R\ 0.2\ \text{mm}$ 处低电流区,也覆盖有镀层。

锥形块垫片镀前要求 $3_{-0.1}^{+0.0}$ mm,镀后要求 $3_{-0.07}^{+0.07}$ mm,实测最小 $3.04\ \text{mm}$,最大 $3.07\ \text{mm}$,平均 $3.06\ \text{mm}$,铬层均匀。

按 HB 5041 的规定,用空气炉加热零件或试样至 $300\pm 10\ ^\circ\text{C}$,保温 $1\ \text{h}$,然后在冷水中骤冷,用目视方法检查,镀层不应起泡脱落。在与锥形块垫片同槽电镀的试验件上进行了测试,镀层没有起泡脱落,表明锥形块垫片镀铬层结合力合格。

4 结论

(1)镀前阳极活化或阴极活化、镀前酸洗和镀前预镀镍处理活化方法,无法在 GH4169 试棒材料表面镀铬成膜或者均匀成膜;吹砂活化、吹砂后再预镀镍处理均能在 GH4169 试棒材料表面均匀成膜,且结合力好。

(2)仅镀前吹砂活化,通过调整装夹方式、改变辅助阳极和辅助阴极,无法在 GH4169 材料锥形块垫片表面均匀成膜,特别是内直角边无镀铬层。

(3)通过吹砂活化和预镀镍相结合的镀前处理方式,通过调整装夹方式、改变辅助阳极和辅助阴极,能在 GH4169 材料锥形块垫片表面均匀成膜,特别是内直角边铬层均匀,且结合力好。

参考文献

- [1] Du J H, Lu X D, Deng Q, et al. Progress in the research and manufacture of GH4169 alloy[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2015, 22(8): 657-663.
- [2] 陈全寿. 电镀技术的发展展望[J]. 表面技术, 2000, 29(3): 1-3.
- [3] 张允诚. 电镀手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997: 53-62.
- [4] 马建铁. 高温合金(GH696)的镀铬方法[J]. 表面技术, 1998(3): 39.
- [5] 关山, 张琦, 胡如南. 电镀铬的最新发展[J]. 材料保护, 2000(3): 1-3.