

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2026.05.005

一种镍铝青铜合金表面镀硬铬工艺

吴畏

(广州飞机维修工程有限公司, 广东 广州 510470)

摘要: 为了提高镍铝青铜镀硬铬的结合力, 研究了镍铝青铜电镀硬铬技术, 通过对该材料镀铬前处理要求及电镀工艺参数的优化, 获得了性能稳定的电镀铬镀层。检测了镀层的结合力、硬度等性能, 镀层厚度控制在 7.6~12.7 μm , 努氏硬度不低于 895 $\text{HK}_{0.1}$, 弯曲法测试表明其结合力极大提高。该工艺与通用镀铬方法相比, 镀层起皮、脱落等结合力差的情况得到有效解决, 能够满足更高的硬度要求。

关键词: 电镀铬; 镍铝青铜合金; 弯曲法测试; 结合力

中图分类号: TQ153; TG178; V261.93 **文献标志码:** A

A plating process of hard chromium on Ni-Al bronze alloy surface

WU Wei

(Guangzhou Aircraft Maintenance Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510470, China)

Abstract: In order to improve the adhesion by chromium plating on nickel aluminum bronze alloy, the chromium plating technology of nickel aluminum bronze alloy was studied. Stable chromium plating coating was obtained by the optimization of pre-treatment requirements and electroplating process parameters. The bonding strength and hardness of the coating were test. The coating thickness was controlled within 7.6 to 12.7 μm , and Knoop hardness was no less than 895 $\text{HK}_{0.1}$. Bending test shows that adhesion is greatly improved. Compared with the common chromium plating method, this process effectively resolves issues such as peeling and shedding of the coating due to poor adhesion, and can meet higher hardness requirements.

Keywords: chromium plating; Ni-Al bronze alloy; bend test; adhesion

镍铝青铜合金具有较好的延展性、强度、断裂韧性及耐腐蚀性能, 广泛应用于航空工业应用等领域^[1], 可用于制造起落架轴套、轴承等零部件, 在严苛环境中展示出非凡的可靠性。但镍铝青铜合金因含有对氧具有高度亲和力的活泼金属铝, 在大气中会很快生成一层薄而致密的钝化膜, 如果按照传统方法电镀硬铬, 采用弯曲法进行结合力测试时, 镀层经常发生脱皮、结合力不良等现象。为了达到厚度控制在 7.6~12.7 μm 、努氏硬度不低于 895 kgf/mm^2 (895 $\text{HK}_{0.1}$) 的质量要求, 需要进行镍铝

青铜合金镀铬工艺验证。由于常规的镀铬工艺参数范围一般较宽, 在电镀过程中结合力测试合格率较低, 硬度也时常不满足质量要求, 严重影响了镀铬生产进程。所以须采取有效的工艺措施, 分析原因, 通过试验及分析, 筛选出最佳工艺参数值, 总结出一些切实、有效提高铜合金镀铬质量的方法。

1 试验

1.1 试样准备

工艺流程验证及参数优化的试样材质为 100 mm \times

收稿日期: 2025-05-13 修回日期: 2025-09-23

通信作者: 吴畏(1986—), 男, 本科, 工程师, 研究方向为航空材料表面处理技术, e-mail: wuwe394801938@126.com

引用信息: 吴畏. 一种镍铝青铜合金表面镀硬铬工艺[J]. 电镀与精饰, 2026, 48(5): 34-37.

WU Wei. A plating process of hard chromium on Ni-Al bronze alloy surface[J]. Plating and Finishing, 2026, 48(5): 34-37.

25 mm×2 mm镍铝青铜(AMS4640)试片,表面粗糙度 $R_a \leq 0.8 \mu\text{m}$,铬层厚度要求为7.6~12.7 μm ,镀层应无任何起泡、脱落等现象,镀层结合力测试按照BAC5709《镀硬铬》标准进行试验。

按照BAC5709《镀硬铬》标准,硬度试验材料为AISI 4340M高强度钢,规格为 $\phi(30.5 \sim 35.5) \text{ mm} \times 12.7 \text{ mm}$, $R_a \leq 0.8 \mu\text{m}$,铬层厚度要求为12.7~17.8 μm ,硬度试验按照ASTM E384—2022《材料显微压痕硬度的标准试验方法》进行试验,要求铬层努氏硬度不低于895 kgf/mm²。

1.2 工艺流程

工艺流程为:除油→冷水洗→吹干→去氧化皮→装挂和保护→冷水洗→按需手动打磨→酸活化→冷水洗→氰化镀铜→冷水洗→镀铬→冷水洗→拆卸→冷水洗→热水洗→吹干→检验。

2 结果与讨论

2.1 各工序溶液组成及操作条件分析

2.1.1 除油

铜合金镀铬前的除油和常规镀铬的除油工艺方法相同,可以选用有机溶剂除油或化学、电化学除油,也可采用市售金属清洗剂除油,但选择化学或电化学除油时不宜采用强碱溶液长时间浸渍^[2]。零件表面如果除油不彻底,电镀时油污处会无法沉积镀层,并且导致其邻近区域沉积的铬层不完整且比较疏松,很容易起皮、脱落^[3]。根据客户规范,采用碱性除油或(和)有机溶剂除油(正溴丙烷在50~70℃条件下除油2~5 min)。碱性除油的工艺参数见表1。除油后用冷水清洗,然后进行水膜破裂实验,如果30 s后水膜破裂不连续,可重新除油直至油污清洗干净。

表1 碱性除油工艺参数

Tab.1 Process parameters of alkaline degreasing

参数	数值
CEE-BEE Super Bee 300LF低泡浓缩清洗剂/(V·V ⁻¹)	10%~25%
pH	10.5~12.0
温度/℃	50~70
时间/min	5~30

2.1.2 酸活化

铜及铜基合金表面在自然状态下会存在一层薄而致密的氧化膜,如果不能将其有效去除,会导致电镀过程中镀层沉积困难或镀层不完整、疏松^[3]。

酸活化的目的是除去铜合金表面的氧化物从而显露出金属结晶组织,使其表面处于良好的活化状态。经除油的零件,在硫酸活化前先冷水洗以确保水膜连续无油污,如有少量油污可使用百洁布蘸水手动打磨铜合金表面,以进一步去除轻微污垢和氧化皮,并且有利于降低表面粗糙度。经过上述预处理后,对试样采用142.5~195.0 g/L的硫酸溶液,在室温条件下酸活化30~120 s。

2.1.3 氰化镀铜

氰化铜的镀铜层结晶细致,镀液的分散能力和覆盖能力好,零件的复杂表面及材料缺陷的内部都能被镀上。氰化铜闪镀之后,基体表面覆盖上一层结合力好的镀铜层,改善了后续电镀层的覆盖力^[4]。零件表面通过预镀铜后,可以覆盖其表面缺陷,同时防止镍铝青铜合金中的富铝相因氧化过快生成牢实、致密的钝化膜,有利于提高后续镀铬结合力。预镀铜工艺参数见表2。

表2 预镀铜工艺参数

Tab.2 Process parameters of pre-copper plating

参数	数值
$\text{Cu}^{2+}/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	15~30
$\text{NaCN}/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	3.8~15
$\text{NaOH}/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	0.8~3.8
温度/℃	16~35
阳极材料	铜
电压/V	5~6
时间/min	8~10

2.1.4 镀铬

镀铬溶液采用传统型标准中浓度镀铬溶液,严格控制 CrO_3 与 H_2SO_4 的质量比,镀液中各成分应每周分析一次以提高均镀能力和镀层光亮。一般来说,提高温度和降低电流密度可以减少网状裂纹并提高镀层耐蚀性^[5]。为了提高铬层硬度,可采用低温高电流密度进行镀铬^[6]。经过预镀铜的零件,直接转入镀铬槽预热后进行镀铬,镀铬工艺参数见表3。

表3 镀铬工艺参数

Tab.3 Process parameters of chrome plating

参数	数值
$\text{CrO}_3/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	225.0~262.5
$\text{H}_2\text{SO}_4/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	2.25~2.76
$\text{Cr}^{3+}/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	2~4
温度/℃	49~54
阳极材料	含锡或锡4%~7%的铅阳极
电流密度/(A·dm ⁻²)	30~60

2.2 工艺试验与测试结果分析

2.2.1 去氧化皮选择

铜基金属零件表面过厚的氧化皮、污垢和划痕不仅增加后续酸活化的时间，导致氧化皮未除净而

影响镀铬结合力，同时会影响镀铬前的表面粗糙度。除去镀铬前零件表面的氧化物、污垢等最好的方法是机械方法^[7]。采用手动打磨和干喷砂两种方式清洁零件表面并镀铬，其工艺参数和测试结果见表4。

表 4 去除氧化皮方式实验结果

Tab.4 Experimental results of de-scales method

去除方式	工艺参数	表面粗糙度/ μm		
		去氧化皮前	去氧化皮后	镀铬后
手动打磨	3M 7447百洁布 磨料类型：氧化铝	0.852~0.953	0.360~0.422	0.414~0.546
	Cw 220水砂纸 磨料类型：碳化硅		0.325~0.336	0.289~0.326
干喷砂	磨料：220目棕刚玉 距离：100~200 mm 风压：0.14~0.21 MPa 喷砂角度：30°~89°		1.727~1.917	-

根据试验情况，去氧化皮前试样的表面粗糙度均大于 $0.8\ \mu\text{m}$ ，不符合表面状态要求，需要进行去除氧化皮。经过手动打磨后的试样表面粗糙度均有所改善并且满足要求，镀铬后最终产品的表面状态也符合表面粗糙度要求。相比处理前，选择220目磨料进行干喷砂处理后试样的表面粗糙度没有得到改善反而更高，难以满足最终产品表面状态质量要求。

2.2.2 镀铜影响试验

为研究氧化镀铜中电压和时间对铬层结合力的影响，分别在不同电压和时间下进行镀铜处理，镀铜后试样直接在镀铬槽中预热1 min，然后在电流密度 $50\ \text{A}/\text{dm}^2$ 、 $51\ ^\circ\text{C}$ 下镀铬25 min。试样采用弯曲法试验结合力，结果见表5。根据试验情况，在5~6 V下镀铜8~10 min后，金黄色的铜基金属试片表面呈粉红色，其外观见图1。

表 5 镀铜影响实验

Tab.5 Influence experiment of copper plating

试样	镀铜电压/V	镀铜时间/min	结合力试验结果
1	-	-	不合格
2	5	4	不合格
3	5	6	不合格
4	5	8	合格
5	5	10	合格
6	6	4	不合格
7	6	6	不合格
8	6	8	合格
9	6	10	合格

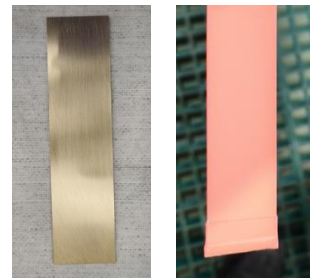
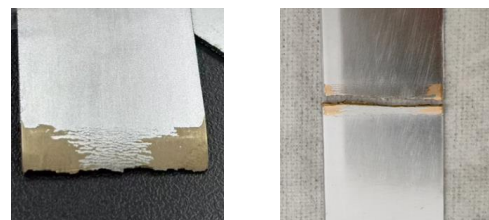


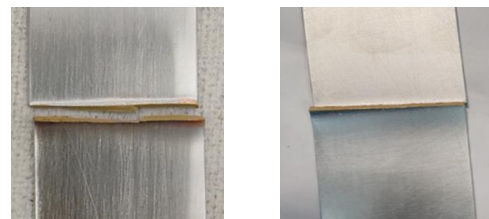
图 1 镀铜前后外观

Fig 1 Appearance before and after copper plating

镀铜达到一定厚度后，镀层基本无气孔，铜合金基体不易被氧化，提高了镀铬层和基体金属的结合力，其典型不合格和合格断口区域的镀铬层脱落程度对比见图2。



(a) 不合格断口-大面积脱落 (b) 不合格断口-小面积脱落



(c) 不合格断口-轻微脱落 (d) 合格断口-无脱落

图 2 结合力测试断口区域对比图

Fig 2 Comparison diagram of fracture area after adhesion test

镀铬前, 未经预镀铜的镀件应在50~60℃的热水中预热, 使零件温度与镀铬液温度趋于一致, 这对保证镀层结合良好有利^[8]。根据验证结果, 未经预镀铜的零件在热水中预热取出后, 零件表面的水分会快速蒸发变干, 零件在转移至镀铬槽的过程中, 裸露出的铜合金基体在空气中会再次氧化而导致结合力合格率非常低。

铜合金零件电镀时可以带电入铬槽, 避免铜合金表面生成钝化膜影响结合力^[9], 也可以防止铜在镀液中被腐蚀^[10]。常规青铜镀铬工艺流程为: 酸活化→冷水洗→热水预热(或带电入槽预热)→小电流阴极活化→镀铬→冷水洗。而增加预镀铜的零件在操作上更加简便, 其工艺流程为: 酸活化→冷水洗→氰化镀铜→冷水洗→镀槽预热→镀铬→冷水洗。根据验证结果, 经预镀铜的镀件在镀铬后其结合力合格率得到一定提高, 增加镀铜时间提高铜镀层厚度后, 结合力合格率可达100%。

2.2.3 硬度验证试验

为验证该镀铬工艺的硬度, 试样在高电流密度50 A/dm²、低温51℃条件下镀铬2.5 h后, 对试样进行平行硬度试验, 结果见表6。由表6可知, 在低温、高电流密度下对试样镀硬铬, 铬层与基体结合力良好, 显微硬度满足硬度要求。

表6 硬度验证试验

Tab.6 Verification tests of hardness

试样编号	硬度要求/(HK _{0.1})	铬层硬度/(HK _{0.1})
1	≥895	909.72~910.64
2		909.73~910.64
3		895.65~910.68
4		895.82~910.68
5		910.64~925.88

3 结论

采用合适的去氧化皮方式、预镀一定厚度的铜进行打底等镀铬前处理, 在标准镀铬溶液中进行预热后, 直接给电至电流密度50 A/dm², 在温度51℃条件下, 铬层的表面粗糙度满足设计要求, 铬层与基体的结合力良好, 铬层的显微硬度大于895 HK_{0.1}, 可有效保证镍铝青铜电镀硬铬层的各项性能达到指标要求。

参考文献

- [1] 刘明泽, 周礼龙, 左鹏程, 等. 增材制造镍铝青铜合金的制备与腐蚀行为研究进展[J]. 铜业工程, 2024(1): 54-66.
- [2] 文斯雄. 浅谈铜合金电镀铬[J]. 表面技术, 2000, 29(5): 45-47.
- [3] 李博. 铜合金衬套端面镀铬质量的改善[J]. 电镀与环保, 2017, 37(6): 74-76.
- [4] 张允成, 胡如南, 向荣. 电镀手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 203.
- [5] 陈治良. 简明电镀手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 382.
- [6] The Boeing Company. SOPM 20-42-03 Hard chrome plating[S]. Washington: Boeing Commercial Airplanes Group, 2025.
- [7] 杜宇. 铝铁镍青铜衬套镀硬铬工艺研究及其应用[J]. 世界有色金属, 2020(18): 205-206.
- [8] 文斯雄. 浅谈特殊青铜电镀硬铬[J]. 材料保护, 2001, 34(7): 49-50.
- [9] 文斯雄. 铜合金零件电镀铬实践[J]. 航空制造技术, 2003(5): 76-77.
- [10] 王文忠. 常见金属材料镀硬铬[J]. 电镀与环保, 2006, 26(4): 37-38.