

金属密封件镀金工艺研究

杨战争, 翟绘丰

(西安航天发动机厂, 陕西 西安 710100)

摘 要: 介绍了金属密封件镀金工艺技术, 该工艺采用亚硫酸盐镀金方案, 以单脉冲电源为镀覆电源, 以预镀镍层为中间镀层来制备金镀层, 得到了结晶细致、厚度均匀并与基体上结合牢固的金镀层。研究了金镀层的沉积速率和结合强度, 观察了镀层的表面形貌和组织结构, 进行了金属密封件气密性试验和典型试验。结果表明: 金属密封件金镀层的技术性能指标满足设计要求, 能够应用于液体火箭发动机中, 该发动机已通过地面热试车考核。

关键词: 密封件; 金镀层; 气密性试验; 典型试验

中图分类号: V433.9-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2013) 06-0060-05

Gold plating technology of metal seal

YANG Zhan-zheng, ZHAI Hui-feng

(Xi'an Space Engine Factory, Xi'an 710100, China)

Abstract: The gold plating technology of gliding metal seal is introduced in this paper. The sulfite gold plating scheme is adopted in the technology. The gold plating layer with detailed crystal, uniform thickness and firm bonding was obtained by taking the single pulse power supply as the plating power supply, and the nickel pre-plating layer as an intermediate to prepare gold plating layer. The gold plating deposition rate and bond strength are analyzed in this paper. The surface morphology of the coating and the organizational structure were observed. Metal seal tightness and typical test results show that the technical performance indicators of the metal seal gold plating layer can meet the design requirement and can be applied to liquid rocker engine. The engine with the metal seal gold plating layer has passed ground hot commissioning assessment.

Keywords: seal; gold plating layer; air-tight test; typical test

0 引言

金属密封件是火箭发动机阀门的组件。该阀

门要求具有多次往返运动工作能力, 阀门在高压 (23 MPa)、低温 (-198 ℃)、强腐蚀性介质的工况条件下必须保持其密封性能, 金属密封件镀层质量和性能对阀门密封性能起着决定性的影响作

收稿日期: 2012-11-08; 修回日期: 2013-02-25

作者简介: 杨战争 (1979—), 男, 工程师, 研究领域为表面工程及表面改性技术研究

用。金属密封件镀层质量要求: 1) 抗化学腐蚀; 2) 具有减磨、润滑作用; 3) 长期储存时可防止工件之间“冷焊”等。

1 镀金工艺

镀金的工艺方法有很多种, 大致可以分为两大类: 干法和水溶液电镀法^[1]。

干法是指采用真空镀覆的方法, 包括: 蒸发镀、磁控溅射镀及多弧离子镀等。以上镀金工艺方法主要应用在日用轻工产品的装饰和电子产品中的接插件上, 通常镀金层厚度不大于 $1\ \mu\text{m}$, 该工艺不能满足阀门密封件镀金技术要求。

水溶液电镀法即传统电镀方法, 主要包括有氰电镀和无氰电镀。含氰电镀工艺方法成熟, 镀层质量好, 但会造成环境污染; 而亚硫酸盐镀金工艺具有镀液性能稳定、环境污染小, 镀层各项性能技术指标均不低于含氰镀金工艺^[2], 已逐步替换含氰镀金工艺。

2 镀金工艺规范

亚硫酸盐镀金工艺的配方和规范如下:

金	10~20 g/L (以亚硫酸金铵加入)
亚硫酸铵	150~300 g/L
柠檬酸钾	100~200 g/L
Dk	0.1~0.6 A/dm ²
pH	8~10
温度	50~60 ℃
阴极移动	需要
镀覆电源	脉冲电源 占空比 1:10

3 镀覆工艺

镀金工艺流程如图 1 所示。



图 1 镀金工艺流程图

Fig. 1 Flow chart of gold plating process

除油: 清除工件表面附着的灰尘、氧化物、油污、水渍等液体与固体杂质, 清洁工件表面;

酸洗: 活化工件表面, 使其露出“新鲜”基体, 提高镀层的结合力;

预镀镍: 通过直流电镀, 使零件表面电镀上一层镍, 隔断零件表面与空气和镀液接触, 防止零件表面重新氧化^[3-4], 增加金镀层与基体的结合强度;

预镀金: 进一步增加金镀层与基体的结合强度, 减少对镀金溶液的污染;

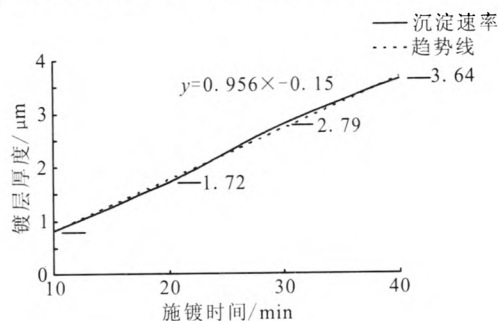
镀金: 得到厚度均匀、结晶细致并与基体具有优良结合强度的镀层。

4 镀层性能检测试验

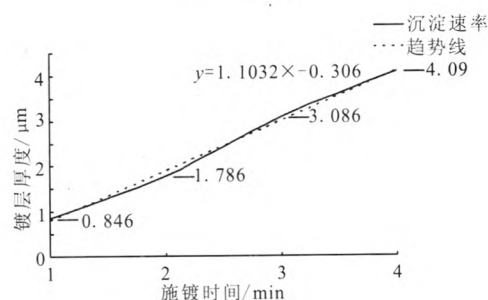
根据密封件实际工作的要求, 对金镀层的沉积速率、结合强度、组织形貌、气密性能及典型试验等进行了试验。

4.1 镀层的沉积速率

利用 X-RAY 荧光测厚仪对镀覆后的金镀层进行测量, 根据镀层厚度与镀覆时间的关系, 计算镀层的沉积速率, 具体结果见图 2。



(a) S-03 试样



(b) QBe2 试样

图 2 金镀层沉积速率

Fig. 2 Gold plating deposition rate

镀层沉积速率曲线呈线性约 $5\sim 6\ \mu\text{m/h}$ 。说明亚硫酸盐镀金过程稳定, 金原子在基体表面匀速析出。

4.2 结合强度

根据金属密封件的使用要求, 金镀层必须与基体具有良好的结合强度, 试验中检测结合强度的方法为: 划格法、锉刀法和低温冲击试验。

4.2.1 划格法

用 BYK 划格器在金镀层表面划一个或几个边长为 $1\ \text{mm}$ 的方格, 保证划格器一次划透镀层, 观察在此区域内金镀层是否有起皮、脱落现象。

4.2.2 锉刀法

将样件固定, 用粗齿扁锉从基体金属与镀层成 45° 方向锉其断面, 观察镀层是否从基体上剥离。

4.2.3 低温冲击试验

样件在 $-196\ ^\circ\text{C}$ 液氮中浸泡 $5\ \text{min}$, 取出后迅速浸入水中, 使其恢复至室温, 重复该过程 15 次, 观察金镀层是否出现鼓泡或崩皮现象。

试验结果表明, 镀金层经过划格法、锉刀法和低温冲击试验后镀层均无脱落、剥离和鼓泡等现象, 具体见图 3 和图 4。表明镀层与基体的结合强度良好。



图 3 划格法和锉刀法试验结果

Fig. 3 Test result of grid and rasp methods

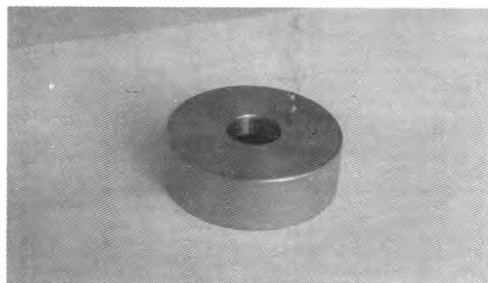


图 4 低温冲击试验结果

Fig. 4 Result of impact test at low temperature

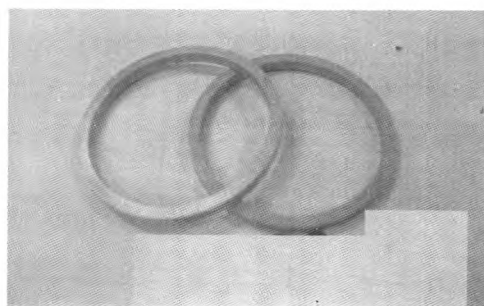
4.3 镀层组织形貌

目测观察金镀层的表面色泽、有无麻点、针孔、鼓泡或露底等现象, 金相法观察镀层的断面组织形貌。试验结果如图 5 和图 6 所示, 金镀层外观平整, 镀层均匀; 显微组织为细小颗粒状结晶组织。

电镀过程中金属晶体的形成可分为同时进行的两个过程: 结晶核心(晶核)的生成和成长过程, 这两个过程的速度决定着金属结晶的粗细程度。当晶核的生长速度大于晶核的成长速度时, 则生成的晶核数目较多, 就能够获得结晶细致、排列紧密的镀层。试验中采用的单脉冲电源使金属离子在周期性的连续脉冲电流作用下进行还原反应, 且脉冲电流密度要比相同条件下直流电镀时的电流密度高得多, 电流密度的增加, 阴极的过电势增大。阴极过电位增高, 阴极表面吸附原子的浓度升高, 晶核形成的几率增大, 晶核形成的速度显著提高, 晶粒得到细化, 因此可以得到细致光滑的镀层。



(a) S-03 试样



(b) QBe2 试样

图 5 金镀层表面形貌

Fig. 5 Surface morphology of gold plating layers

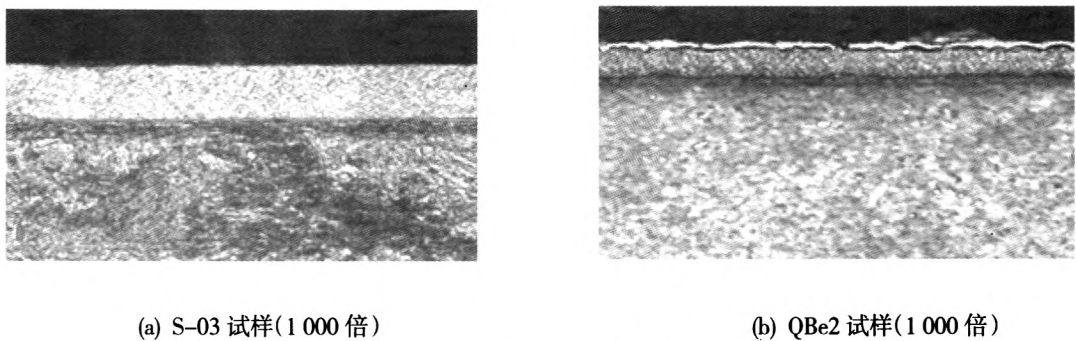


图 6 金镀层显微组织形貌

Fig. 6 Micro-structural morphology of gold plating layers

4.4 小结

试验结果表明镀金层沉积速率可控, 镀层结合力和镀层外观形貌均满足相关技术指标的要求。

5 金属密封件气密性试验

金属密封件上的金镀层能否满足实际工作要求, 需要进行模拟产品实际工况的气密性试验和典型试验。

5.1 气密性试验

将镀覆好的金属密封件 a 和 b (图 7) 装入阀门中, A, B, C, D 及 E 为进气口, 从进气口通入一定压力的气体, 将检漏口通入无水乙醇溶液中, 用量筒收集一定时间内泄漏的气体体积。

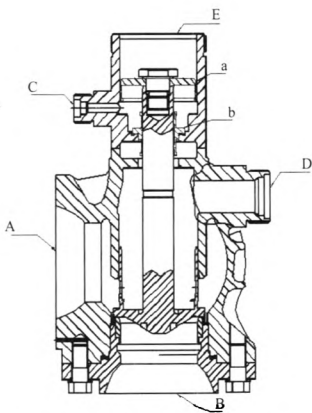


图 7 阀门装配示意图

Fig. 7 Schematic diagram of valve assembly

表 1 给出了金镀层密封性试验结果, 数据表明具有金镀层的动密封件均通过了密封性检测。

表 1 气密性试验结果

Tab. 1 Results of air-tight test

序号	从入口 A 通入 0.3 MPa 空气, 检 查动密封件 b 对壳 体的气密性≤5	从入口 A 通入 0.4 MPa 空气, 检 查动密封件 b 对壳 体的气密性≤5	从入口 A 通入 0.7 MPa 空气, 检 查动密封件 b 对壳 体的气密性≤5	从 C 口通入 23 MPa 空气, 检 查动密封件 a 的气密性≤5	从 C 口通入 23 MPa 空气, 检 查动密封件 b 的气密性≤5
	(cm ³ ·s ⁻¹)				
01#	不漏	不漏	不漏	不漏	0.85
02#	不漏	不漏	不漏	不漏	0.6
03#	不漏	不漏	不漏	不漏	0.6

5.2 典型试验

根据设计技术条件要求, 对阀门进行了典型试验, 即气密性检查、高温试验、常温试验、抖

动试验、振动试验、液流试验和寿命试验等。

表 2 给出阀门典型试验结果。试验数据表明: 两组密封件典型试验均满足技术条件要求。

表 2 阀门典型试验情况 (密封件 a, b 的密封情况)

Tab. 2 Results of inspection test for a and b seals in valve

		(cm ³ ·s ⁻¹)				
试验项目	某阀试验编号	从入口 A 通入 0.3 MPa 空气, 检查密封件 b 对壳体的气密性 ≤5	从入口 A 通入 0.4 MPa 空气, 检查密封件 b 对壳体的气密性 ≤5	从入口 A 通入 0.7 MPa 空气, 检查密封件 b 对壳体的气密性 ≤5	从 C 口通入 23 MPa 空气, 检查密封件 a 的气密性 ≤5	从 D 口通入 23 MPa 空气, 检查密封件 b 的气密性 ≤5
气密性试验	HGBR07	不漏	不漏	不漏	不漏	0.5
	HGBS04	2.5	0.34	不漏	0.4	1
高温试验	HGBR07	0.18	0.3	0.2	0.6	0.2
	HGBS04	不漏	不漏	不漏	0.5	1.2
常温试验	HGBR07	0.35	0.18	0.16	0.8	0.1
	HGBS04	0.2	0.24	0.12	0.5	1
抖动试验	HGBR07	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2
	HGBS04	0.35	0.25	1.6	0.3	1
振动试验	HGBR07	0.4	0.34	0.18	0.2	0.3
	HGBS04	0.46	0.2	0.18	0.45	1.2
液流试验	HGBR07	0.34	0.26	0.2	1.1	0.4
	HGBS04	0.24	0.2	0.1	0.85	0.3
寿命试验	HGBR07	0.25	0.16	0.22	1	0.2
	HGBS04	0.3	0.2	0.16	2	1.3

6 结 论

本文采用的电镀工艺方法、工艺规范制备金镀层可行并且合理;金镀层的沉积速率可控,镀层结合力和外观形貌能够满足技术条件的要求;装配有镀金密封件的阀门在发动机中工作正常,并已通过了热试车考核。

参考文献:

[1] 陈全寿. 再谈亚硫酸盐镀金 [J]. 表面技术, 1998, 27(1):

46-48.
[2] 李贤成. 无氰亚硫酸钠镀金工艺[J]. 电镀与涂饰, 2005, 24(9): 31-32.
[3] JEANMENNE R. Proper pretreatment for quality en plating [J]. Products Finishing, 1993, 58(2): 64-78.
[4] Subcommittee: B08.08. ASTM B656-91 standard guide for autocatalytic(electroless) nickel-phosphorus deposition on metals for engineering use[EB/OL]. [2000-01-01]. www.astm.org/Standards...656.htm.
[5] 黄其殷, 白旭东, 李妙婷. 软金属密封结构密封性能数值仿真研究[J]. 火箭推进, 2012, 38(3): 29-33.
[6] 王建武, 刘军生, 陈少斌. 球面型管路连接件密封性能分析及力学性能测试[J]. 火箭推进, 2010, 36(6): 36-41.

(编辑: 马 杰)