

Brazing Properties on Palladium Alloy Tubes and Gold Plated Stainless Steel

Zhuhua Jia¹, Yi Wang¹, Guang Ma¹, Ke Zhang¹, Pei Wang²

¹Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Xi'an

²China Nuclear Industrial 404 General Corp, Lanzhou

Email: jiazhuhua8025@163.com

Received: Sep. 22nd, 2013; revised: Oct. 26th, 2013; accepted: Nov. 9th, 2013

Copyright © 2014 Zhuhua Jia et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Zhuhua Jia et al. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: The vacuum brazing of thin wall palladium alloy tubes with nickel plated stainless steel and gold plated stainless steel was performed using AgCu28 filler alloy. The microstructure and the composition of the welding joint were analyzed. The experiment result showed that the wettability of Ag-Cu filler alloy on the stainless steel substrate was improved after gold plated, and the plated layer can strongly bond with base metal and filler metal by the mutual diffusion. So, a good sealing performance and mechanical properties of the brazing joint were obtained. The mechanical properties of the brazing joint of Ag-Cu filler alloy and nickel plated stainless steel were low because of their weak metallurgical functions.

Keywords: Palladium Alloy; Stainless Steel; Gold Plated; Nickel Plated; Brazing

钯合金管与不锈钢镀金钎焊性能研究

贾志华¹, 王轶¹, 马光¹, 张科¹, 王培²

¹西北有色金属研究院, 西安

²中核四零四有限公司, 兰州

Email: jiazhuhua8025@163.com

收稿日期: 2013年9月22日; 修回日期: 2013年10月26日; 录用日期: 2013年11月9日

摘要: 本文通过对薄壁钯合金管与镀金不锈钢法兰和常规镀镍的不锈钢法兰试样进行了真空钎焊对比试验, 观察了钎焊接头的微观组织形貌, 并对接头区域的成分进行了分析。研究表明不锈钢表面镀金后, 可以明显提高 AgCu28 银铜焊料对不锈钢基体的润湿作用, 金镀层在钎焊过程中能与基体金属和钎料相互扩散, 提高焊接接头密封性和焊接强度, 而镀镍不锈钢, 由于钎料与镍的相互作用较弱, 因此焊缝的强度较低。

关键词: 钯合金; 不锈钢; 镀金; 镀镍; 钎焊

1. 引言

高纯氢气纯化装置的“心脏”部件——钯合金扩散管组件是将一端封焊死的一束薄壁钯合金管焊接在一块不锈钢厚法兰上^[1]。由于纯化器是在高压、高温的氢气氛下长期反复工作, 剧烈而频繁的热变形很

容易造成薄壁钯合金管与不锈钢连接处发生损伤, 导致纯化装置发生泄漏, 从而影响其性能及寿命。为了改善薄壁钯合金管与不锈钢的焊接性能, 通常采用在不锈钢法兰上镀一层镍, 来提高焊点的气密性及接头强度, 这一工艺目前较为成熟^[2]。但我们在实践中发

现, 部分钼扩散管组件在反复循环数百次后, 会有个别焊点开裂, 发生微泄漏, 导致装置的产氢纯度下降。由于金具有质地软、密度大、化学性质稳定等优点^[3,4], 并且金的表面张力比镍约小 30%, 因此选金作镀层, 有利于提高银焊料对不锈钢基体的润湿作用, 改善焊接接头的性能。目前国外在许多高真空器件焊接上均采用镀金工艺, 以提高焊接件的密封性和焊接强度^[5]。因此, 我们开展了在不锈钢法兰上镀金钎焊钼合金管的试验, 并与镀镍不锈钢法兰进行对比, 通过对钎焊接头的微观组织结构分析和气密性能检测, 得出镀金钎焊优越性的一些有益试验结果。

2. 实验方法

2.1. 试验用母材及焊料

试验中所用金属组合为: 钼合金为 PdY8; 不锈钢为 1Cr18Ni9Ti。其中钼合金管的尺寸规格为 $\Phi 2 \times 0.08 \times 600$ mm。不锈钢法兰尺寸规格为 $\Phi 30$ mm \times 20 mm, 管板焊接面开有 24 个 $\Phi 2$ mm 的连接孔。焊接前采用氰化亚金钾镀金工艺在不锈钢焊接端面及孔眼中镀一层可焊纯金, 镀层厚度约 4 μ m, 为了作对比, 采用传统镀镍工艺在另一只不锈钢法兰端面及孔眼中镀一层 10 μ m 的镍层, 焊料均采用规格为 $\Phi 0.5$ mm 的 HLA_gCu₂₈ 焊丝。

2.2. 试验方法

钼合金管与镀金和镀镍不锈钢法兰真空钎焊之前, 首先用丙酮超声清洗, 以去除焊件内外表面的油污。HLA_gCu₂₈ 钎料通过夹具制成环状后套在钼合金管上, 再与不锈钢法兰座装配, 要求银钎料贴紧钎缝, 保证钎料在重力和毛细力共同作用下填缝。连接形式如图 1 所示。采用电阻辐射加热方式进行真空钎焊, 试验过程中严格控制炉内真空度及钎焊保温时间。

3. 结果与讨论

3.1. 微观组织观察及成分分析

对钼合金与不锈钢法兰真空钎焊试件进行了接头微观组织观察。由于 Ag 和 Pd 是无限固溶结合^[6], 钼合金管和银焊料之间的结合强度较好, 因此文章重点关注了银钎料与不锈钢一侧的微观组织形貌。图 2 是

HLA_gCu₂₈ 钎料与镀金不锈钢的润湿截面形貌。图中可以清楚的观察到焊料区边缘与不锈钢基体间呈交错状分布, 这说明焊料熔化后与镀金层发生了强烈的冶金反应, 从而形成了参差不齐的界面。而镀镍不锈钢与银基焊料接触边缘较为整齐, 呈一条直线(图 3 所示)。这是因为镍的熔点很高, 在钎焊温度下, 镍层仍然为固态, 而固态时镍和银几乎不互溶^[7]。由此可见, 不锈钢镀金后, 焊料对镀金层的润湿性更好。

对图 2 镀金法兰焊接接头中焊料区一侧的黑白色组织进行了能谱分析, 其成分如表 1 所示, 两种组织中均包含 Cu、Ag 和 Au 三种元素, 说明镀金不锈钢基体与 HLA_gCu₂₈ 焊料发生了互扩散, 形成了由 Cu-Ag-Au 三种元素构成的合金, 此时的镀金层不再以单独形式出现, 而是弥散分布到焊料区和不锈钢基体的表层中。

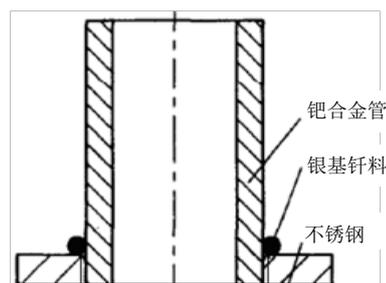


Figure 1. The interconnection diagram of Palladium alloy and stainless steel

图 1. 钼合金管与不锈钢及焊料的连接示意图

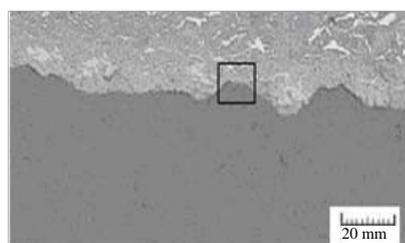


Figure 2. Section morphology of gold plated brazing joint

图 2. 镀金焊接接头的润湿截面形貌



Figure 3. Section morphology of nickel plated brazing joint

图 3. 镀镍焊接接头的润湿截面形貌

Table 1. Element analysis for gold plated brazed joint
表 1. 镀金接头区域的化学组分

区域	化学元素含量 (wt.%)		
	Ag	Cu	Au
白色	27.12	61.55	11.33
黑色	86.21	12.17	1.62

对镀镍法兰焊接接头中焊料区一侧的亮灰色区域进行了能谱分析, 表 2 是分析结果, 其中亮色区域为富银相, 在此区域中不存在 Ni, 因为在此条件 Ni 不溶于 Ag 中。暗灰色区域为富 Cu 相, 包含有少量的 Fe, 而不锈钢中的其他元素未检测出, 说明镀镍层与钎料的冶金相互作用相对较弱, 因而其接头强度相对较低。

图 4 是图 2 矩形框中不锈钢界面的放大图, 可以看出金在向基体内扩散时不仅沿不锈钢晶界扩散形成晶间结合, 而且同时向晶粒内部扩散形成晶内结合。这种组织结构对提高焊缝的强度和气密性十分有利。

3.2. 试件检验

对镀金钎焊样品进行了外观和氦质谱检漏。

1) 外观检查: 表面镀金的 1Cr18Ni9Ti 不锈钢试件真空钎焊后颜色变成浅黄色, 这直观的证明了镀金层向不锈钢基体表面进行了扩散, 形成牢固的冶金结合。钎焊接头通过 5 倍放大镜目视检查, 钎缝边缘连续、均匀、圆滑过渡。

2) 耐压试验: 试件在自由状态下, 经受 1.2 MPa 的气压, 保压 1 min 无泄漏现象;

3) 氦质谱检漏, 试样经氦质谱检漏, 漏率 $< 1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$, 说明焊缝的气密性良好, 不存在微气孔。钎焊件经 200 次以上冷热循环使用后, 经检测泄漏率仍然保持在 $\times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$, 说明镀金后钎焊件气密性好, 且经得住时间的考验。

4. 结论

1) 不锈钢表面镀金后, 可以明显提高银铜焊料对不锈钢基体的润湿作用, 这为获得高质量的焊缝创造了有利条件。

2) 从微观组织和接头区域成分分析上看, 焊接接头中镀金层不再以单独形式出现, 金层与液态焊料发

Table 2. Element analysis for nickel plated brazed joint
表 2. 镀镍接头区域的化学组分

区域	化学元素含量 (wt.%)		
	Ag	Cu	Fe
亮色	92.81	7.19	-
灰色	18.24	80.58	1.18

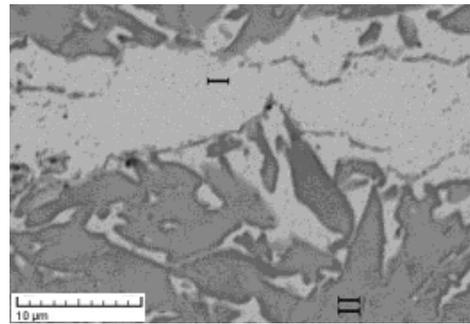


Figure 4. Interface topography of stainless steel
图 4. 不锈钢基体界面形貌

生溶解并向基体内扩散, 从而弥散分布到银基焊料中 and 不锈钢基体表层内, 形成相应的多元合金。而镀镍不锈钢, 由于钎料与镍的相互作用较弱, 几乎没反应, 因此焊缝的强度较低。

3) 不锈钢镀金后, 金在向基体内扩散时沿不锈钢晶界扩散形成晶间结合, 同时还能向晶粒内部扩散形成晶内结合。这种组织结构提高了焊缝的强度和气密性。

项目基金

西北有色金属研究院院控课题资助项目。

参考文献 (References)

- [1] 杨新文 (1988) BCQ-200 型高纯氢气发生器钎阴极焊接. *制造与测试*, 9, 21-24.
- [2] 第四机械工业产标准化所 (1981) 电真空新型材料. 第四机械工业部《电真空器件材料手册》编写组, 北京, 374.
- [3] 邹信 (1997) 钎焊(第二版). 机械工业出版社, 北京, 24.
- [4] 张启运, 庄鸿寿 (1999) 钎焊手册. 机械工业出版社, 北京.
- [5] 王季梅 (1993) 真空灭弧室设计、制造及其应用. 西安交通大学出版社, 西安, 11.
- [6] 虞觉奇, 易文质, 陈邦迪等 (1987) 二元合金状态图集. 上海科学技术出版社, 上海, 112-341.
- [7] 刘顺国, 李易生 (1981) 镀镍—钎焊工艺试验及应用. *航空工艺技术*, 3, 33-34.