

AuNi9 导电环刷丝的钎料成分改进及性能分析

李敏雪¹ 曲文卿¹ 代国琴¹ 杨淑娟² 李睿²

(1 北京航空航天大学机械工程及自动化学院,北京 100191)

(2 北京控制工程研究所,北京 100080)

文 摘 采用 SnPb、InPb 和 InPbAg 三种钎料对航天器控制系统中的 AuNi9 刷丝进行了钎焊试验,对钎焊接头的力学性能、断口形貌以及微观组织、化合物相成分进行对比分析,探讨改进后钎料对钎焊接头化合物层形成的影响。结果表明,SnPb 钎料钎焊 AuNi9 刷丝接头区域靠近金合金一侧产生了明显的化合物,主要包括: AuSn₄ 及 AuNi₂Sn₄ 和 Ni₃Sn₄ 化合物相。InPb 钎料能明显降低钎焊接头脆性,接头区域未发现金属间化合物的产生。InPbAg 钎料不仅能保护铜导线的镀银层,而且钎焊接头还会产生细小的强化相 Ag₂In,增强接头剪切强度。

关键词 AuNi9 合金,锡铅钎料,铜铅钎料,金脆性

中图分类号: TG425+.1

DOI: 10.3969/j.issn.1007-2330.2015.01.019

Solder Composition Improvement and Performance Analysis for the AuNi9 Conductive Ring Brush Wire

LI Minxue¹ QU Wenqing¹ DAI Guoqin¹ YANG Shujuan² LI Rui²

(1 Institute of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University, Beijing 100191)

(2 Beijing Institute of Control Engineering, Beijing 100080)

Abstract In this experiment selected SnPb, InPb and InPbAg three solders were selected to solder the AuNi9 brush wires which serve in the spacecraft control system. The mechanical properties, the fracture morphology, microstructures and the composition of compound phases of soldered joints were compared, thus exploring the impact of the improved solder on the formation of the compound layer in soldered joints. The results show that there generate the obvious compounds in AuNi9 soldered joints near the gold alloy side using SnPb solder, mainly including AuSn₄, AuNi₂Sn₄ and Ni₃Sn₄ compound phases. InPb solder can significantly reduce the joints brittleness, and there generate no intermetallic compounds in the joint region. While the InPbAg solder can not only protect the silver layer of copper wires, but also could produce the tiny strengthening phase, i. e., Ag₂In in the joint to enhance the joint shear strength.

Key words AuNi9 alloy, SnPb solder, InPb solder, Gold brittleness

0 引言

导电滑环是实现两个相对旋转机构间的信号、电流、图像及动力传递的精密输电装置,被广泛应用于光电测量、天文导航、光电搜索等设备^[1-2]。导电滑环主要由导电环组件、电刷组件和固定支架等组成,其中电刷组件中的刷丝通常选用贵金属合金单丝,如 AuNi9 等。导电环的刷丝是经由导线或转接金属板与星内其他设备实现电连接的^[3-6]。

导电环中刷丝与铜导线或金属转接板的连接目

前多使用 SnPb 钎料和手工电烙铁焊接。而金合金在采用 SnPb 钎料焊接时存在金脆性问题^[7],即 Sn63Pb37 钎料只有在钎焊温度和时间严格控制情况下,使金锡化合物减少到最少时,方可有效地被用来焊接金合金。

为了提高金合金导电环刷丝焊接结构的可靠性,本研制能替代 SnPb 钎料的低脆性或无脆性的新钎料。而目前国内外研究中针对金合金的软钎焊涉及较少,但有文献提出在焊接具有镀金层或镀银层电子

收稿日期: 2014-06-24

作者简介:李敏雪,1990 年出生,硕士研究生,研究方向为新型材料连接工艺。E-mail: liminxue0925@126.com

器件时是不宜使用锡铅钎料的^[8]。而目前可以用来替代锡铅钎料进行金合金焊接的主要是 Au-Sn 系钎料(如 Au80Sn20)和 In-Pb 系钎料(如 In50Pb50)^[9]。但 Au80Sn20 钎料熔点较高,焊接温度不满足该研究中金合金导电环的要求,且 Au80Sn20 的价格也较贵,因此本实验中考虑采用铜铅钎料。虽然采用铜铅钎料后,焊接成本相对于锡铅会有一定的增加,但如果能达到降低导电环钎焊结构的脆性以及提高精密电子器件可靠性的效果,该改进后钎料就具备工程应用价值。另外,铜铅合金中加入第三元素,如 Ag 等,选定合适的合金加入量,可以进一步提高钎料强度及抗蠕变性能。本文采用 SnPb、InPb 和 InPbAg 三种钎料对航天器控制系统中的 Au-Ni9 刷丝进行了钎焊试验,对钎焊接头的力学性能、断口形貌以及微观组织、化合物相成分进行对比分析,探讨改进后钎料对钎焊接头化合物层形成的影响。

料接头进行微观组织的对比分析。将钎焊接头沿纵截面截取试样,经研磨抛光后在 Olympus B×51M 金相显微镜和 JSM-5800 扫描电子显微镜下观察软钎焊接头界面组织形貌和化合物的分布,并用 EDS 分析接头界面化合物相的组成。

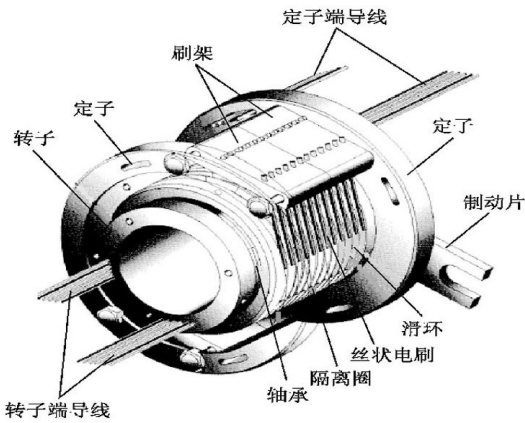


图1 电滑环的总体结构^[6]

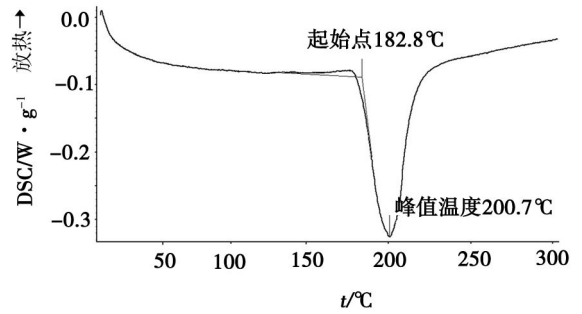
Fig. 1 Overall structure of the electrical slip ring^[6]

1 试验材料与方法

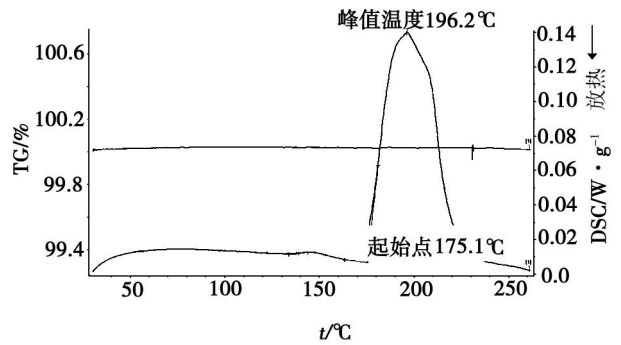
所选材料为 AuNi9 合金刷丝,直径为 0.5 mm,用可控温电烙铁与直径为 1 mm 的镀银铜导线(多股)连接。钎料分别选择 SnPb、InPb 以及 InPbAg。Au-Ni9 合金中 Au 的质量分数为 91%,Ni 的质量分数为 9%。钎焊工艺参数:电烙铁加热温度为 330℃,焊接保温时间为 10 s。

选定 InPb 和 InPbAg 两种钎料的成分配比并配制钎料,然后采用 DSC 热分析仪测试两种钎料的熔化温度。其 DSC 曲线分别如图 2 所示。由图可得,两种钎料的熔化温度均满足金合金导电环与铜导线焊接的要求。

使用 Instron5565 液压伺服材料试验系统对钎焊接头试样进行室温剪切力学性能测试,拉伸速率为 0.5 mm/min,每组拉伸结果取 6 个试样的平均值,并用 JSM-5800 扫描电镜观察焊接接头剪切断口形貌。选取力学性能较优异的新型钎料钎焊接头与原始钎



(a) InPb



(b) InPbAg

图2 两种新钎料的 DSC 曲线图

Fig. 2 DSC graphs of two new solders

2 结果与分析

本实验主要针对 Sn63Pb37 钎料软钎焊金合金时容易出现的接头脆性问题进行改善,因此首先对三种钎料钎焊接头的抗拉强度及接头脆性进行比较分析。

2.1 力学性能分析

对选用 SnPb、InPb 和 InPbAg 钎料钎焊的 AuNi9 刷丝与镀银铜导线接头分别进行常温拉伸性能测试。对于 AuNi9 与镀银铜导线钎焊接头,SnPb 钎料钎焊接头常温下的剪切强度最高,为 58.36 MPa;InPb 钎焊接头强度最低为 35.42 MPa,约为 SnPb 钎料钎焊接头剪切强度的 61%;而 InPbAg 接头剪切强度较 InPb 接头有所提高达到 47.54 MPa,超过了 SnPb 钎料钎焊接头剪切强度的 81%。

对于金合金导电环结构而言,刷丝与铜导线的焊接接头为非承力结构,所需焊接接头强度在 30 MPa 左右即能满足要求,也就是主要保证钎焊结构焊点性能的稳定即可,因此实际上 InPb 钎料以及 InPbAg 钎料的焊接接头强度均可满足导电环的实际工作要求。

2.2 断口分析

图 3(a)是采用 SnPb 钎料钎焊 AuNi9 时接头拉伸试样微观断口形貌图。从图中可看出,AuNi9 与镀 Ag 铜导线钎焊接头断裂断口非常平滑,看不到韧窝和撕裂颈的存在,接头脆性较大。而采用 InPb 和 In-

PbAg 钎料钎焊接头剪切拉伸时断口微观形貌分别如图 3(b)和(c)所示,由图可知,InPb 钎料和 InPbAg 钎料钎焊接头均对接头的脆性有良好改善,其接头均已具有一定的塑性特征,断口处可以看到有较明显的晶粒被拉长的现象。

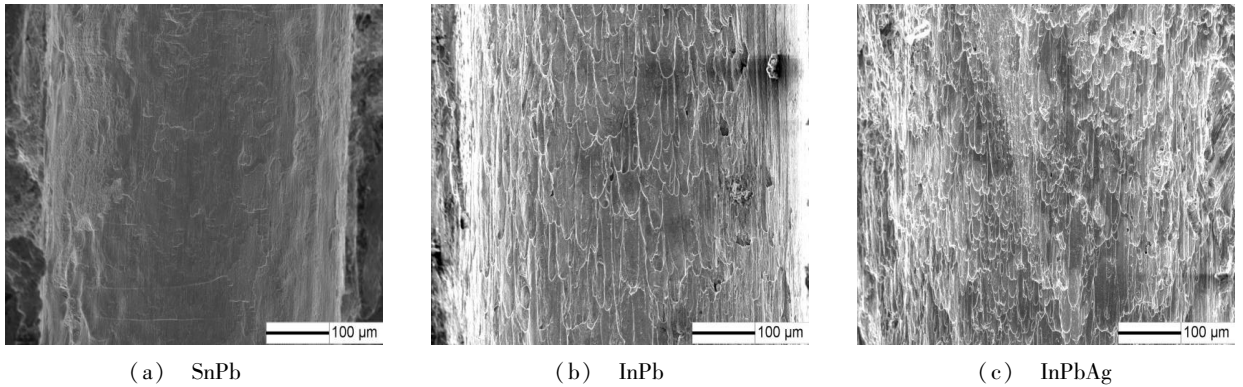


图 3 不同钎料钎焊 AuNi9 接头微观断口形貌

Fig.3 Micro-fracture surface of AuNi9 joints with different solders

图 3 可以看出,InPb、InPbAg 两种钎料与 SnPb 钎料相比均能有效地降低钎焊接头的脆性。虽然两种钎料也会在不影响导电环钎焊结构稳定性的前提下导致接头剪切强度一定程度的降低,但其中 InPbAg 钎料导致钎焊结构强度降低的幅度较小,其接头强度基本能达到 SnPb 钎料钎焊结构的 81% 以上。

因此接下来将主要比较 SnPb 和 InPbAg 两种钎料钎焊接头的微观组织。

2.3 微观组织分析

图 4 给出了在钎焊烙铁温度 330℃、钎焊保温时间 10 s 的工艺参数下采用不同钎料时,AuNi9 合金与镀银铜导线软钎焊接头界面显微组织图。

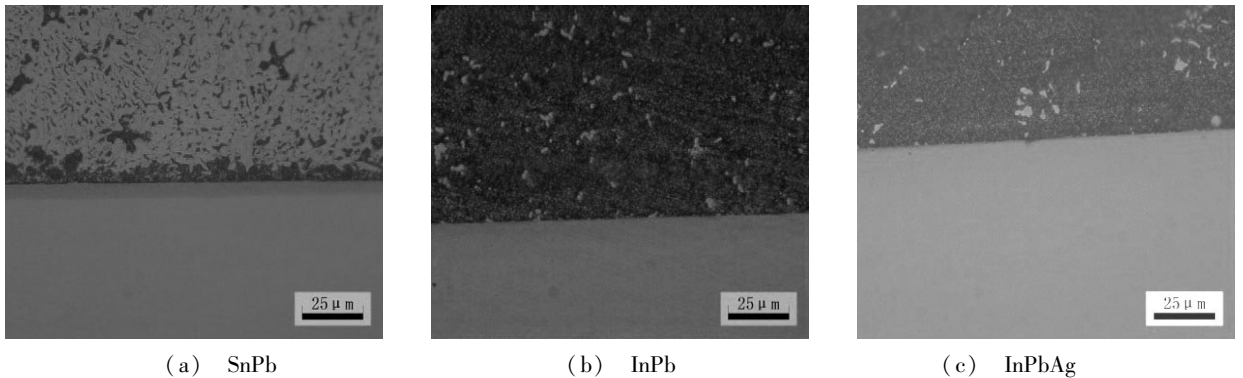


图 4 不同钎料钎焊 AuNi9 接头微观组织图

Fig.4 Microstructures of AuNi9 soldered joints with different solders

从图 4 可以看出,采用 SnPb 钎料焊接时,AuNi9 合金与钎料界面处产生一层金属间化合物过渡层,厚度大约为 3 μm。而采用 InPb 时,钎料与金合金界面较平整,基本不产生层状化合物。而采用 InPbAg 钎料进行金合金的钎焊工艺试验时,金合金与钎料的界面处也不产生明显的化合物层,钎料内部存在较多细小的强化相化合物。

SnPb 钎焊 AuNi9 与镀银铜导线接头靠近金合金一侧的微观组织成分测试如图 5(a),在靠近金合金处主要为 $AuNi_2Sn_4$ 化合物相,靠近钎料处为 $AuSn_4$ +

Ni_3Sn_4 化合物相。远离过渡层的细长针状相为 $AuSn_4$ 。镀银铜导线侧接头界面微观组织如图 5(b)所示,由 EDS 分析由于镀银层向钎料中溶解,贴近铜导线侧已有 Cu_6Sn_5 化合物相生成,说明母材中的 Cu 向 SnPb 钎料中扩散溶解相对剧烈,而实际上 Cu 与 Sn 的结合能力也较强^[10],会对铜导线镀银层有较程度的破坏。同时 Cu_6Sn_5 金属间化合物在长期热时效服役过程中还会出现空洞等缺陷^[11],会进一步降低焊接结构的服役寿命。

InPbAg 钎料钎焊接头金合金侧微观组织如图 6(a)所示,钎焊接头界面处存在一层较薄且颜色较浅

的金属间化合物,其由钎料中的强化相在界面聚集形成,由 EDS 分析该化合物为 Ag_2In ,钎料中也存在少量 Ag_2In 相,钎料的基体成分为 In-Pb 固溶体相。 In-PbAg 钎焊接头镀银铜导线侧界面微观组织如图 6 (b) 所示,由 EDS 分析可得银镀层靠近钎料一侧有少

量的 Ag_2In 存在,其余部分仍主要为 Ag ,说明镀银层与钎料反应较弱,进一步证明钎料中存在一定的 Ag 可抑制铜导线侧镀银层与钎料的相互溶解扩散,从而保护铜导线镀层,提高钎焊结构的可靠性。

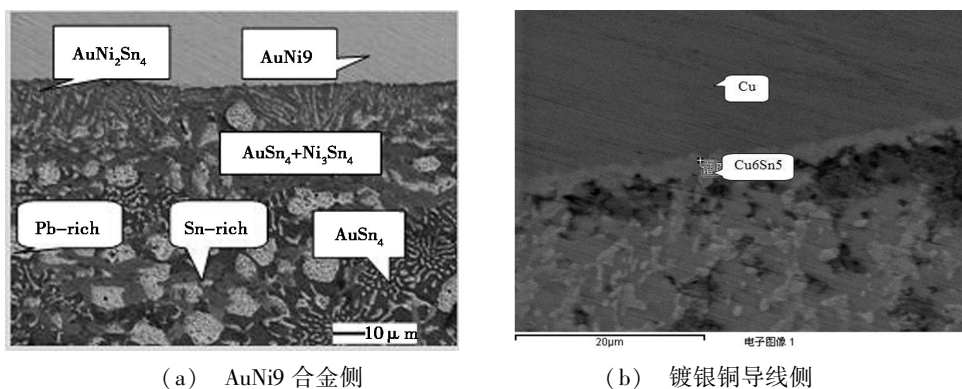


图 5 SnPb 钎料焊接 AuNi9 合金接头的微观组织成分分析

Fig. 5 Microstructure composition analysis of the AuNi9 soldered joint using SnPb solder

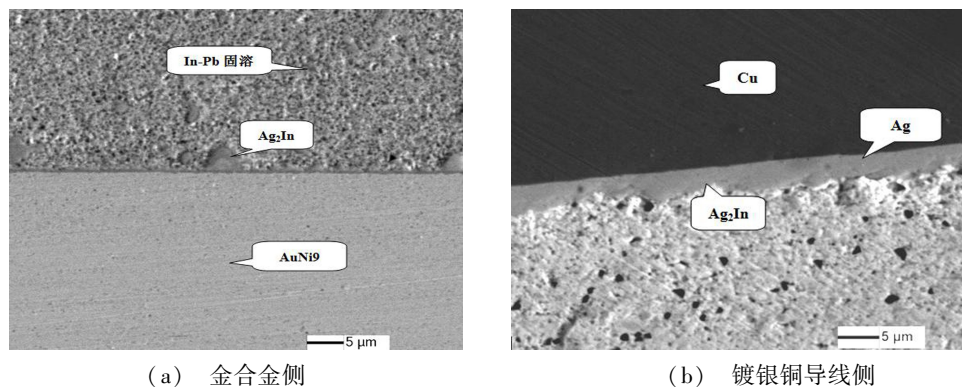


图 6 InPbAg 钎料与 AuNi9 钎焊接头微观组织成分图

Fig. 6 Microstructure composition analysis of the AuNi9 soldered joint using InPbAg solder

3 结论

(1)改进后钢基钎料焊接 AuNi9 刷丝时,接头强度较 SnPb 钎料有较小程度的降低,但三种钎料钎焊接头力学性能均能满足实际工作要求。断口形貌分析得,SnPb 钎焊接头脆性较大,InPb 和 InPbAg 钎焊接头均呈现出塑性断裂特征。

(2)SnPb 钎焊接头区域金合金侧界面处产生厚度约为 $3\ \mu\text{m}$ 的化合物层,其中不仅有 AuSn_4 相,还出现了 AuNi_2Sn_4 和 Ni_3Sn_4 化合物相。而钢基钎料钎焊接头区域金合金侧均无明显化合物层。

(3)SnPb 钎焊 AuNi9 时,钎焊接头近铜导线侧镀银层溶解到钎料中,界面处产生 Cu_6Sn_5 化合物相。而改进后 InPbAg 钎料中的 Ag 可有效地抑制镀银铜导线中的 Ag 向钎料中溶解而保护镀银层,界面上无化合物形成。

参考文献

[1] 李坤芝. 导电滑环技术研究[J]. 舰船科学技术, 1994(5): 56-58
 [2] 杨莉红. 导电滑环技术的研究[J]. 科技传播, 2012

(6): 45

[3] Tian H, Saka N, Rabinowicz E. Friction and failure of electroplated sliding contacts[J]. WEAR, 1991, 142(1): 57-85
 [4] 朱岩峰, 赵桂瑾, 李贤兵. 一种精密导电滑环瞬断瞬断检测方法的研究[J]. 科技资讯, 2010, (28): 110-111
 [5] 衣伟, 毛书勤. 圆柱式通孔导电环装配工艺技术[J]. 电子工艺技术, 2010, (5): 293-295
 [6] 薛萍, 陈少兵, 刘丽. 电滑环中的导电环和电刷[J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2012(1): 5
 [7] 尹娜, 曲文卿, 杨淑娟, 等. 金合金锡铅软钎焊接头脆性行为[J]. 北京航空航天大学学报, 2013(5): 20
 [8] 刘瑞生, 董立军, 王莉研. 不宜用锡铅焊料焊接金层和银层[J]. 机电元件, 2007, 27(2): 38-41
 [9] 李世鸿. 厚膜金导体的可靠性试验[J]. 电子元件与材料, 2000, 19(4): 44-45
 [10] 潘晖, 孙计生, 刘效方. 用锡铅钎料钎焊 H62 黄铜的接头组织与性能[J]. 航空材料学报, 2000, 20(4): 26-29
 [11] 尹立孟, 位松, 李望云. 电子封装用低银含量无铅钎料的研究和应用进展[J]. 焊接技术, 2011, 40(2): 1-5

(编辑 任涛)