

文章编号:1673-9981(2015)02-0001-06

压缩机排气管钎焊无银化研究

徐利华¹, 卫国强², 余伟锋¹

1. 广东美芝制冷设备有限公司, 广东 顺德 528333;

2. 华南理工大学机械与汽车工程学院, 广东 广州 510640

摘要:通过化学成分设计, 微观组织观察和焊接参数优化, 研制出一种不含 Si 和 P 元素的新型 Cu-Zn 钎料. 研究表明, 当上壳体排气管孔倒角为 $0.5 \times 45^\circ \sim 1 \times 45^\circ$, 焊接头间隙 $0.5 \sim 0.6$ mm, 以 Cu-Zn 合金为钎料, 于温度 $900 \sim 950^\circ\text{C}$ 下对压缩机排气管钎焊, 可获得满足压缩机服役要求的钎焊接头.

关键词:排气管; 钎料; 界面; 钎焊

中图分类号: TG454

文献标识码: A

目前空调压缩机排气管都采用铜管(为对应空调配管的焊接), 而且大都是通过钎焊(采用高含银钎料)实现与压缩机上壳体焊接, 钎焊时行业内普遍采用含银 $34\% \sim 45\%$ 的银基钎料. 在压缩机吸排气管的焊接上未能使用低银或无银钎料, 主要是因为随着含银量的降低, 钎料熔点提升, 铺展性及润湿性下降, 焊接不良率升高, 导致压缩机吸排气管的焊缝不达标.

为解决上述问题, 通过研制一种新型的钎料, 再选择合适的焊缝间隙及壳体样式, 配合新的焊接工艺, 以实现压缩机吸排气管焊接的无银化.

1 钎料研制

首先选用的钎料为国标黄铜钎料 H60, 用其对空调压缩机排气管与上壳体进行钎焊焊接. 结果发现, 不仅焊接不良率高, 最为致命的是压缩机气密水检时泄漏不良率远高于量产高银钎料的. 为查明焊缝泄漏高发原因, 将对 H60 钎料焊接的上壳体排气管泄漏焊缝进行切割, 并制成水晶胶镶样, 用金相显微镜、扫描电镜及电子探针对焊缝的钎料—钢界面进行观察及探测, 以便研制出一种新型钎料.

1.1 黄铜钎料 H60

图 1 为高倍显微镜下观察钢—钎料界面形貌. 从图 1 可以看出, 在钢—钎料界面出现一条明显的黑线. 图 2 为扫描电镜下观察的钢—钎料界面形貌. 从图 2 可见, 黑线为一条明显的沟槽, 宽度大约为 $1.5\ \mu\text{m}$, 深度大约有 $1\ \mu\text{m}$.

对图 2 的矩形处进行点的能谱分析(图 3). 面元素分布分析结果显示, 在钢—钎料界面处形成了硅的化合物. 根据合金相图^[1]分析, 这应是硅—铁金属间化合物. 另外, 界面处存在 Si 的偏聚, 沟槽的形成应是 Fe-Si 化合物引起的, 而 Si 来自钎料.

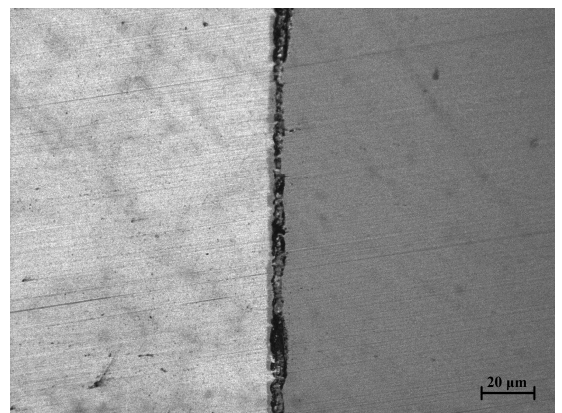


图 1 钢—钎料界面形貌

Fig. 1 Macrograph of steel-brazing alloy interface

收稿日期: 2015-03-30

作者简介: 徐利华(1969-), 女, 贵州普定人, 高级工程师, 本科

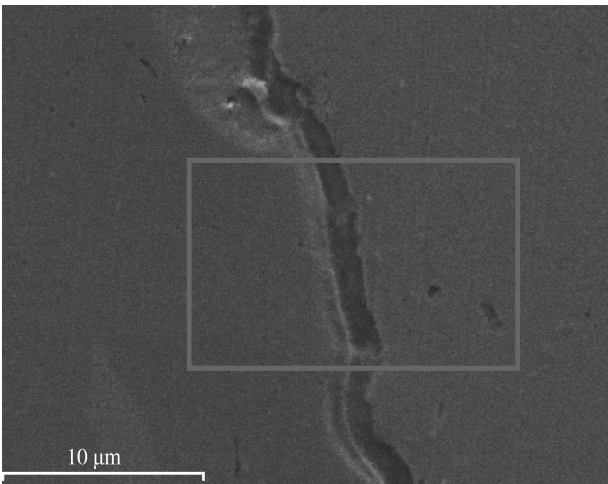


图 2 黑线处扫描电镜形貌

Fig.2 Surface SEM images of black line

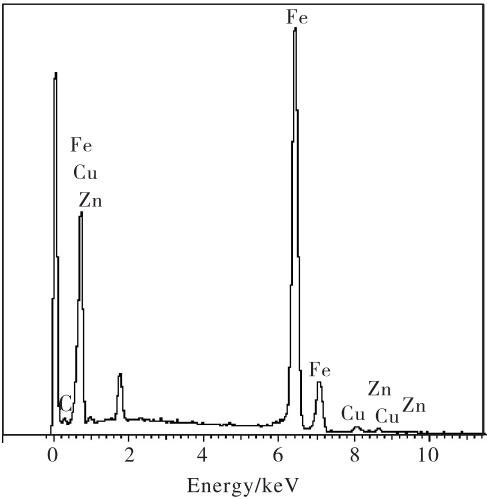


图 3 界面沟槽处点成分能谱分析

Fig. 3 EDS spectrum analysis of interface channel

上述原因明确后,委托钎料厂家熔炼了一炉不含 Si 的黄铜钎料进行钎焊试验,并在金相显微镜及扫描电镜下,对不含 Si 元素的钎料的焊缝进行分析.

图 4 和图 5 分别为高倍显微镜下钢—钎料界面的形貌和扫描电镜观察的界面形貌. 在钎料—钢界面有一条黑线存在(图 4),黑线为一条明显的沟槽(图 5),初步估计是试样制备时出现的界面疏松脱落. 为探明其成分,进一步进行电子探针确认.

试样经腐蚀后,发现在界面处存在一条浅的沟槽,对沟槽位置进行电子探针分析,探测位置如图 6 所示,所测结果列于表 1.

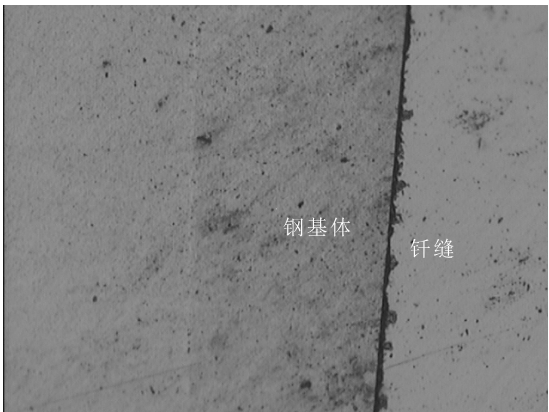


图 4 含 P 元素样件钢—钎料界面形貌

Fig.4 Micrograph of steel-brazing alloy interface(with element P)

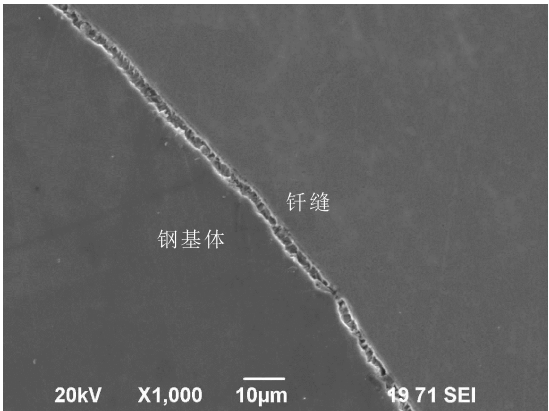


图 5 含 P 元素样件扫描电镜下的钢—钎料界面形貌

Fig. 5 Micrograph of Steel-brazing alloy interface of SEM (with element P)

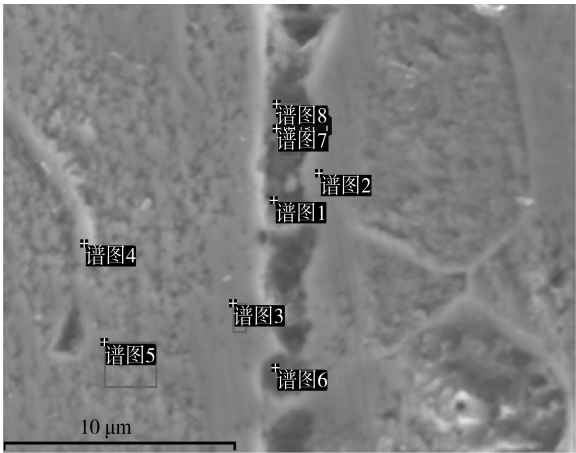


图 6 含 P 元素样件电子探针钎缝界面成分分析位置

Fig. 6 Welding line interface under electron probe (with element P)

表 1 钎缝成分分析

Table 1 Component analysis of brazing seam

探测位置	元素含量 $w/\%$				
	P	Fe	Cu	Zn	Sn
谱图 1	1.01	80.36	13.06	5.57	—
谱图 2	0.47	93.99	4.04	1.50	—
谱图 3	—	3.50	67.73	28.77	—
谱图 4	—	1.33	59.57	30.12	8.98
谱图 5	—	1.38	65.42	31.92	1.28
谱图 6	—	11.07	60.78	28.15	—
谱图 7	—	11.73	61.62	26.65	—
谱图 8	—	5.62	66.32	28.06	—

由表 1 可知:在谱图 1 和谱图 2 处检测到了 P 元素,并且 Fe 元素的含量极高,说明在界面出现了 Fe-P 金属间化合物;谱图 3 为钎焊时 Fe 溶入黄铜钎料中形成的 α -Cu 固溶体;谱图 6~8 的位置为沟槽处,其成分为 Cu-Zn-Fe, $w(\text{Fe})$ 约为 10%。根据 Cu-Zn-Fe 三元相图,初步估计为 Cu-Zn 固溶体及 Fe 取代 Zn 的部分位置而形成的 Cu-Zn-Fe 固溶体。综上所述,在黄铜钎料中添加微量的 P 元素,将在界面形成 Fe-P 金属间化合物。

国标铜锌钎料中的 Si 作为关键元素添加在钎料中,其可防止锌蒸发及细化晶粒。此外,各钎料厂在制作铜锌钎料时,为改善钎料润湿性及焊缝的外观质量,会在钎料中添加一定量的 P 元素。在钎料的研制过程中,对于母材为铜-钢或钢-钢的材料进行钎焊时发现, Si 和 P 两种元素在钎料与钢的结合界面会形成金属间化合物,从而成为有害元素。

1.2 新研制钎料 BCuMZ

经过上述分析,初步确认新钎料配方为 $w(\text{Cu})=59\%$, $w(\text{Zn})=39\%$, $w(\text{Sn})=2\%$,不含有 Si 和 P 元素。

新研制的钎料 BCuMZ 用于上壳体排气管钎焊的焊缝,在金相显微镜下钢-焊缝界面形貌如图 7 所示。从图 7 可见,在焊缝-钢界面无黑线存在。

新研制的钎料 BCuMZ 用于上壳体排气管的钎焊,在扫描电镜下钢-焊缝界面的显微组织形貌图(腐蚀后)如图 8 所示。从图 8 可以明显看出,界面未出现金属间化合物(IMC),交界面两边各为固溶体组织,分别为 Cu 扩散进入 α -铁素体中及 Fe 扩散进

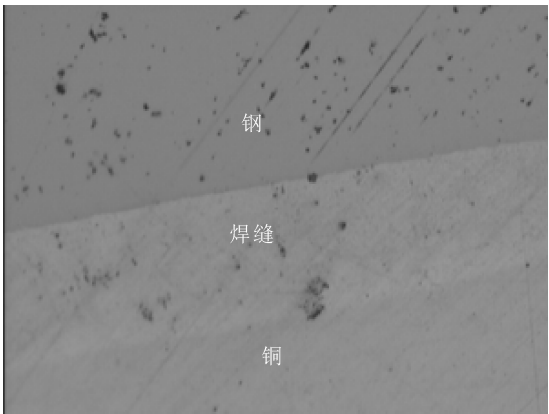


图 7 钢-铜界面形貌(焊缝环切图)
Fig. 7 Micrograph of Steel-copper interface

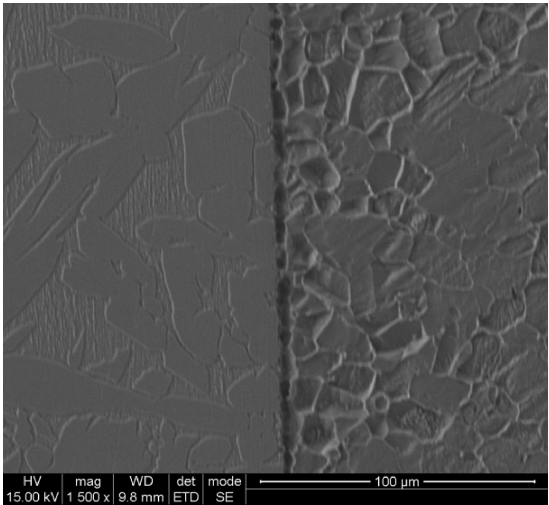


图 8 黄铜/钢界面显微组织形貌(腐蚀后)
Fig. 8 Microstructure of steel/copper brazing interface (after corrosion)

入 Cu 基体中,界面通过 Cu 和 Fe 的互扩散形成冶金结合,这样的界面就类似用量产的 Ag45 钎料钎焊钢时的界面形貌,同 Ag 钎料拥有一样的结合机理,即冶金结合。

新的钎料配方解决了铜-钢界面存在 IMC 脆性层的问题。但是新配方中由于不含 Si 成分,如何解决 Zn 的蒸发,这成了需要在工艺及设备研究中解决的问题。

2 钎焊工艺

钎料成分确定后采用不同助焊膏配方方案进行试焊,并对钎料流动性进行观测,以及对焊缝切片进

行分析. 结果表明, 是否添加助焊膏, 对钎料流动及焊缝渗透情况无显著影响. 图 9 为上壳体样式示意图, 其中焊缝间隙 $D-d=0.5\sim0.6\text{ mm}$, 倒角为 $0.5\times45^{\circ}\sim1\times45^{\circ}$.

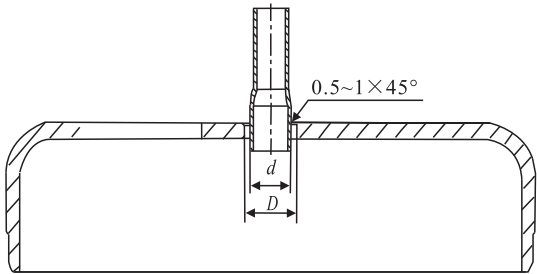


图 9 上壳体样式示意图

Fig. 9 Schematic diagram of compressor upper shield

2. 1 钎焊参数

2. 1. 1 焊枪加热位置、角度及距离

钎焊机为六工步双工位的自动火焰钎焊机, 其加热工步为第 3 及第 4 工步, 第 3 工步用于焊缝预热, 第 4 工步可添加焊丝进行焊接. 确认预热温度及加热时间, 主要考虑节拍的均衡性及钎料流动、渗透和工件的氧化程度等因素. 综合考虑并经反复试验后确定, 在第 3 工步将工件加热到 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, 预热时间 10 s 左右, 而加热到可送丝焊接的焊接温度, 则在第 4 工步的焊接工步完成.

对焊枪的加热角度进行了研究, 加热角度分别为 45° 和 60° (与上壳体的夹角). 结果显示, 采用 60° 加热角度的焊接不良率低于 45° 的.

对焊枪距离工件的高度也进行了研究. 由于使用的焊接火焰焰长为 $150\sim180\text{ mm}$, 综合考虑焊接节拍及焊件的氧化程度, 所以使用外焰偏内的部分进行焊接, 即焊枪高度距工件距离为 $20\sim30\text{ mm}$.

2. 1. 2 焊接温度

在不同焊接温度下钎料的钎焊性及焊缝的泄漏率不同, 当最高焊接温度超出 $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后, 钎料流动性变好, 焊接不良率降低, 但焊缝泄漏率明显增加. 因此, 将温度控制加热的方法引入到火焰钎焊或感应钎焊中.

为比较新研制的钎料 BCuMZ 与高银钎料 BAg45CuZn 的焊接性, 对两者的焊接温度 (焊料熔化, 母材不熔化) 进行了比较, 结果列于表 2. 由表 2 可知, 与 BAg45CuZn 钎料相比, 新研制的钎料可焊接的温度范围明显变小, 这对焊接工艺提出了更高的要求.

表 2 焊接温度对比

Table 2 Welding temperature comparison		
焊料	温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	最佳焊接温度/ $^{\circ}\text{C}$
BCuMZ	870~1083	900~950
BAg45CuZn	665~1083	745~815

2. 2 焊缝可靠性

2. 2. 1 焊缝的填充

分别用新研制的钎料 BCuMZ 及拟替代的高银钎料 BAg45CuZn 对压缩机上壳体与排气管进行焊接, 焊缝切片分析结果列于表 3.

表 3 BCuMZ 钎料与高银钎料焊缝填充情况对比

Table 3 Filling condition between BCuMZ brazing alloy and High-silver brazing alloy

焊料	焊缝切片照片	钎料填充	R 角	
			正面(上面)	反面(下面)
BAg45CuZn		良好	有	无
BCuMZ		良好	有	有

由表 3 可知:由于受钎料成本影响,在使用高银钎料焊接时,会控制钎料使用量,故 BAg45CuZn 焊缝反面未形成 R 角,而新研制的钎料因成本低廉,在用量上不会进行过多的控制,从而使得焊缝饱满,反面可形成 R 角,这于焊缝可靠性而言是有益的;从焊缝填充状况看,新研制的钎料填充情况与相比较的高银钎料的相当,两者均填充良好。

2.2.2 焊接渗透性与焊缝泄漏率的比较

分别用含 Si 元素的国标铜锌钎料 H60、新研制的钎料 BCuMZ 及 BAg45CuZn 钎料焊接压缩机上壳体和排气管,在 4.3 MPa 压力条件下进行检漏,焊料的渗透性及焊缝气密检漏结果列于表 4。

表 4 焊接渗透性及焊缝泄漏率对比
Table 4 Welding permeability and leakage rate comparison

焊料	渗透不良率/%	焊缝泄漏率/%
BCu60ZnSn (Si)	2.58	0.32
BCuMZ	0.59	0.004
BAg45CuZn	极低,可忽略	0.005~0.006

由表 4 中可知,新研制的钎料焊缝泄漏率与高银钎料的相当,明显优于国标铜锌钎料 H60,而其渗透不良高于钎料 BAg45CuZn,但该不良产生于焊接工序,在该工序即可检出,不会流入成品,对产品的可靠性不产生影响。新研制的钎料 BCuMZ,不但具有成本优势,而且从加工连续性或是品质可靠性角度看,都是可以接受的。

2.2.3 机械性能对比

分别对用新研制的钎料 BCuMZ 及高银钎料 BAg45CuZn 钎料焊接的上壳体排气管焊缝进行测试,验证其机械性能可否满足使用要求。检测结果列于表 5。

表 5 焊接强度对照
Table 5 Welding strength comparison

焊料	焊接强度/kN	剪切应力/MPa
BCuMZ	21.63	187.05
BAg45CuZn	24.37	208.49

由表 5 可知,新研制的钎料上壳体焊缝的焊接强度稍低于 Ag45 焊缝的,其剪切应力为 187.05 MPa,较 Ag45 焊缝的下降。但相对于压缩机 24.5 MPa 的耐压要求而言,安全裕度充分。

2.3 焊接设备功能选择

由于无银钎料的熔点、铺展润湿性、熔化特性等较 Ag45 钎料的明显变差,需要控制的焊接温度范围小,要求精度高。所以,用无银钎料钎焊时,其对设备火焰及温度控制要求较高,需配备温度控制、高精度燃气流量控制及焊丝熔化检测等装置,以确保焊接过程的稳定性及焊接品质的可靠性。同时,考虑焊接影响因素复杂,普通焊接设备调机技能要求高,为降低量产化难度,必须考虑该工艺实施的去技能化。因此,设备方案关键控制如下几点。

(1)气体流量控制:采用控制气体质量的方式来控制流量(使用质量流量计),确保能够最大限度地防止气压波动及环境温度波动对流量的影响。

(2)焊接控制:首先在主动控制方面,引入红外温度控制装置,通过测量工件和工装的温度,并将信号反馈给钎焊机,自动对加热的时间进行补偿,确保最佳的焊接温度,提高生产效率及降低不良率;其次,从避免渗透不良产生的角度出发,引入焊丝压力检测装置,通过压力感应方式检测焊丝是否熔化,当焊丝未熔化顶住工件时,能够自动抽回焊丝并提示后续操作。

(3)焊接参数记忆功能:具备参数记忆、一键完成开机设置,对员工技能要求低,开关机及机种更换时可直接调用相应程序,一般情况下不需要调机,使得员工去技能化成为可能。

焊接设备具备上述功能后,配合适当的焊接工艺及量产管理,实现上壳体排气管的无银和量产化焊接将不会困难。

3 结 论

研制出一种不含 Si 和 P 的新型 Cu-Zn 钎料,解决了钢-钎料界面问题,通过扩大焊缝间隙、在壳体上增加倒角及优化焊接参数等措施解决了焊接性问题,实现了压缩机排气管钎焊无银化。

量产化推广方面,在自动火焰钎焊设备上采用红外温度检测技术测量焊缝温度,用以控制焊接送丝,有效地提高了焊接渗透率。

新型钎料有 0.3% 的焊接不良率,相对于压缩机排气管高银钎焊不到万分之一的焊接不良率还有很大的差距,还需进一步优化钎料成分及制造工艺,降低其熔化温度,提高其焊接性能,进而降低焊接不

良率,这是下一步继续努力的目标.

参考文献:

[1] 长崎诚三,平林真. 二元合金状态图集[M]. 北京:冶金工业出版社,2004.

[2] 赵越. 钎焊技术及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2004.

[3] 薛松柏,顾文华. 钎焊技术问答[M]. 北京:机械工业出版社,2007.

[4] 张启运,庄鸿寿. 钎焊手册[M]. 北京:机械工业出版社,2008.

Research of silverless brazing weld in compressor air drains

XU Li Hua¹,WEI Guo Qiang²,YU Wei Feng¹

1.Guangdong Meizhi Compressor Limited, Shunde 528333, China; 2.School of Mechanical and Automotive Engineering South China University of Technology,Guangzhou 510640,China

Abstract: A novel Cu-Zn alloy with Si and P free solder was developed by means of chemical composition design, microstructure and welding parameters optimization. The results show that brazed joints can fulfill the requirement of compressor when air drains aligned with 45 degree Chamfer for 0.5-1mm and keeping the joints clearance of 0.5-0.6 mm by flame brazing in the temperature range of 900-950℃.

Key words: exhaust pipe;solder;interface;brazing weld



(上接第 100 页) the luminous flux with poorer color stability. On the contrary, the phosphors silicone with low refractive index has lowered luminous flux and better color stability. It has nothing of the filling adhesive refractive index on color temperature and luminous flux has been found.

Key words: light-emitting diodes (LED); refractive index of silicone;color temperature