

# Ti-25Cu-25Zr 钎料与纯钛的钎焊工艺

杨永福<sup>1</sup>, 巨建辉<sup>2</sup>, 叶建林<sup>1</sup>, 艾建玲<sup>2</sup>, 雷忠荣<sup>1</sup>, 付维军<sup>1</sup>

(1. 西部金属材料股份有限公司, 陕西 西安 710065)

(2. 西北有色金属研究院, 陕西 西安 710016)

**摘要:** 采用爆炸复合工艺, 制成 Ti-Cu-Zr 3 层复合钎料坯, 经轧制得到 0.2 mm 厚度的钎料箔。研究了 Ti-25Cu-25Zr 钎料钎焊纯钛的工艺及性能。利用瞬间液相扩散焊原理, 分析钎料与钛基体之间的接触反应焊接机制, 实验得到钎焊钎缝强度与保温时间的关系。结果表明, 钎焊保温时间小于 1.0 s 时, 由于钎料组元和钛基体之间的扩散还不充分, 接头的断裂载荷在 600 N 以下, 断裂发生在钎缝上; 钎焊保温时间大于 1.0 s 时, 钎料组元和钛基体之间发生了明显的扩散, 接头强度显著提高, 断裂载荷达到 700 N, 断裂发生在钛基体的热影响区; 保温时间在 1.0~4.0 s 范围内时, 接头强度趋于一致。

**关键词:** 钎料; 钎焊; 钛; Ti-25Cu-25Zr

**中图分类号:** TG146.2<sup>+</sup>3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-185X(2009)11-2020-03

钛材钎焊多数情况下须通过真空钎焊的方法<sup>[1~3]</sup>, 但随着钛材用途的日益广泛, 越来越多的钛结构件需要在非真空条件下进行钎焊。钛在大气中钎焊时, 钎料及钎焊工艺与真空钎焊存在较大差异<sup>[4]</sup>。钎料的选择是一个主要因素, 应根据钎焊结构的具体特点和使用要求研制合适的钎料, 在缺乏性能良好钎剂的情况下, 要求钎料在氧化膜去除不充分的情况下保持良好的润湿性和较高的钎缝强度。加热方法也是非真空钎焊的关键因素之一, 可以采用感应加热、电阻加热、电弧加热等方法<sup>[5]</sup>, 为了减少钛材的氧化倾向, 要求钎焊在尽可能短的时间内完成。为了获得高强度的钎缝, 钎料组元和钛基体之间的相互扩散程度要进行适当的控制, 可以通过改变钎焊温度、钎焊时间及钎料的加入量等工艺因素实现。

Ti-25Cu-25Zr 是一种钛基钎料, 但由于其硬度及脆性较高, 采用常规的熔炼-轧制(热轧及冷轧)很难获得箔状钎料, 因此通常以粉末状使用<sup>[6~10]</sup>, 然而很多情况下粉末钎料并不适用于某些焊接结构的需要。制造箔状钎料时, 可以采用快冷的方法获得非晶态箔, 但由于钛、锆的化学活性较强, 高温下易被 H、O、N 气体污染, 因此制取 Ti-Cu-Zr 非晶态箔的难度大、成本高。本实验采用爆炸复合制坯, 然后采用轧制工艺方法制备 Ti-25Cu-25Zr 钎料箔, 并在大气环境中, 采用惰性气体保护及高频感应加热等方法, 研究不同钎焊保温时间下接头的抗拉强度, 利用电子显微镜分析

各主要组元之间的扩散状况。

## 1 实验方法

试板采用国产纯钛板 TA2(GB/T3621), 退火态。焊前在 20% $\text{HNO}_3$ +2% $\text{HF}$  溶液中进行酸洗, 去除表面氧化膜。钎料的名义成分为 Ti-25Cu-25Zr, 厚度为 0.2 mm。

钎焊按图 1 进行装配。将 Ti-25Cu-25Zr 钎料箔预置在试板中间, 感应圈放置在试板下方, 调整感应电流, 使试板的加热速度为 230  $^\circ\text{C}/\text{s}$ , 试板的所有加热部位用氩气保护起来。改变钎料熔化后的保温时间, 测定钎缝强度与保温时间的关系。

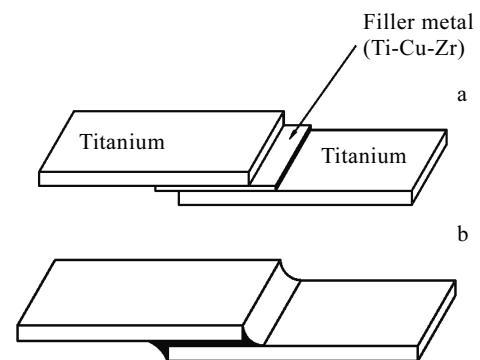


图 1 钎焊接头示意图

Fig. 1 Brazed joint: (a) filler metal placed before and (b) brazing

收到初稿日期: 2008-11-20; 收到修改稿日期: 2009-09-20

基金项目: 国家科技支撑计划(2007BAE07B07)

作者简介: 杨永福, 男, 1965 年生, 教授级高工, 西部金属材料股份有限公司, 陕西 西安 710065, 电话: 029-86968351

## 2 结果及分析

### 2.1 钎料制备

采用爆炸复合工艺,按一定的厚度比制成 Ti-Cu 复合板,复合板的结合率应达到 100%。复合板在真空炉中进行退火,退火温度 650 °C,保温时间 90 min。然后再在 Ti-Cu 复合板钛板侧复合一层 Zr 制成 Ti-Cu-Zr 3 层复合板,复合板的结合率同样经超声波探伤确认结合率达到 100%,经退火校平后得到钎料坯,改变 Ti、Cu、Zr 的厚度比可以得到不同成分及性能的钎料。

将制成的 Ti-Cu-Zr 3 层复合板进行多道轧制及真空退火,制成厚度为 0.2 mm 的箔片,控制 3 层的厚度比,使得到的钎料成分质量比为 Ti-25Cu-25Zr。

按照以上方法制备的钎料,Ti、Cu、Zr 各层之间形成了紧密的冶金结合,在钎焊温度下,Ti、Cu、Zr 之间的扩散或者反应更容易,有利于进行快速钎焊。

### 2.2 断裂载荷和保温时间之间的关系

采用高频感应钎焊时,对于特定的工件,在一个钎焊热循环中,其加热时间和冷却时间是固定的。图 2 为试验测定钎料在熔融状态下的接头的断裂载荷和保温时间之间的关系。由图 2 可见, $t < 1.0$  s 时,由于钎料组元和钛基体之间的扩散还不充分,接头的抗拉强度不高,断裂发生在钎缝上。 $t > 1.0$  s 时,接头的抗拉强度显著提高,断裂载荷达到了 700 N,且断裂发生在钛母材上;保温时间  $t = 1.0 \sim 4.0$  s 时,接头的断裂载荷趋于一致。

### 2.3 钎料和钛基体之间的接触反应

层状加热是通过接触反应的原理实现钎焊的。图 3 为钎料和钛基体的接触界面。由图 3 可知,钎料和钛基体之间存在相互接触的 4 个界面,即 2 个 Ti-Zr 界面和 2 个 Ti-Cu 界面。

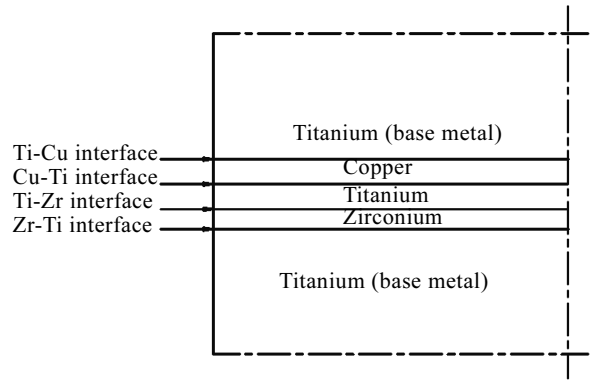
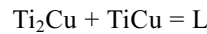
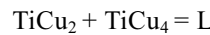


图 3 钎料和钛基体的接触界面

Fig.3 Contact interface of filler metal and titanium

在 Ti-Cu-Zr 钎料的内部,存在 1 个 Ti-Cu 界面,由于钎料是通过爆炸轧制复合而成的,它们之间达到了原子间结合的程度,因此加热时它们之间的相互扩散更容易一些。根据 Ti-Cu 相图,当扩散层中 Ti 的质量分数达到 22%及 50%时,Ti 与 Cu 就会发生共晶反应<sup>[11]</sup>:



由于钎料很薄,在相同的感应电流下,其散热速度比钛基体慢,因此加热速度比钛基体快,钎焊时,钎料中的 Ti-Cu 界面首先发生共晶反应形成液态薄膜,随后 Zr 与 Ti-Cu 液态薄膜之间也会发生共晶反应而熔化。

钎料熔化后,在钎焊温度下,钛基体和液态钎料之间扩散或溶解的速度大大加快,在钎料和钛基体界面上同样会发生共晶反应而出现熔化现象。随后母材中的 Ti 继续向液态钎缝溶解,同时钎料中的 Cu、Zr 向母材中进行扩散,这种相互溶解及扩散的结果会使钎料中 Ti 的含量提高而 Cu 及 Zr 的含量下降,钎料的成分向远离共晶点的方向偏移,从而使钎料层的熔点升高,在钎缝中出现液-固两相共存的状态。

钎焊时,由于钎料熔化的时间很短,将这种方法称为瞬间液相扩散焊 TLP(Transient Liquid Phase Diffusion Bonding)。

图 4 是钎缝区的组织形貌及相应钎缝区的主要元素分布。由图中 Cu、Ti、Zr 元素含量分布曲线可以看出,在钎焊过程中,Cu 和 Zr 向钛基体发生了明显扩散,随着保温时间的延长,钎缝组织趋于均匀。 $t = 1.0$  s 时,钎料和钛基体在界面上发生了明显的联生结晶现象。

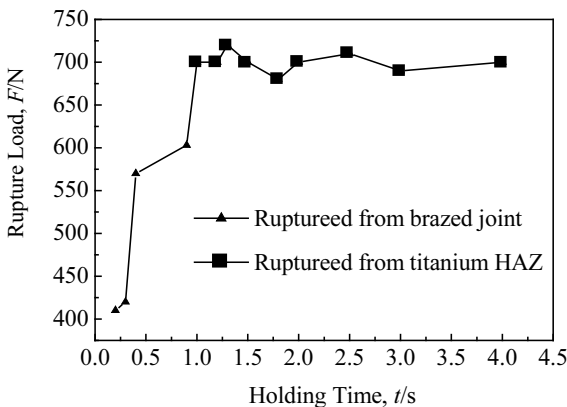


图 2 断裂载荷与保温时间的关系

Fig.2 Relationship of rupture load to holding time

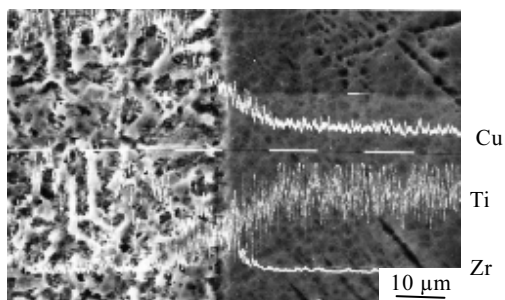


图 4 钎缝区形貌及主要元素分布

Fig.4 SEM photograph and distribution of element, Cu, Ti, Zr of the brazed joint

### 3 结论

1) 采用爆炸复合及轧制工艺制取的 Ti-25Cu-25Zr 箔状钎料, 成功地应用于钛材的钎焊, 具有良好的钎焊性能, 为脆性钎料的制取开辟了一种新途径。

2) Ti-25Cu-25Zr 钎料在非真空条件下, 通过钎料层之间及钎料层与钛基体之间的接触反应机制, 实现瞬间液相扩散焊。

3) 在进行高频感应钎焊时, 使用 Ti-25Cu-25Zr 钎料能够在较短时间内实现 TA2 之间的快速钎焊。当  $t > 1.0$  s 时, 钎缝的抗拉强度显著提高。

#### 参考文献 References

[1] Rare Metal Handbook Compiling Group. *Rare Metal*

*Handbook Compiling Group*(稀有金属手册)[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1992: 199

[2] Wu Xin(吴欣), Kang Hui(康慧), Zhu Ying(朱颖) *et al.* *Aeronautical Manufacturing Technology* (航空制造技术) [J], 2004: 6

[3] Zhang Xuejun(张学军). *Aeronautical Brazing Technology*(航空钎焊技术)[M]. Beijing: Aeronautical Industry Press, 2008: 20

[4] Qian Yiyu (钱乙余), Wu Mingfang (吴铭方), Zhou Fangming (周方铭) *et al.* *Rare Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2003, 32(1): 12

[5] Wang Xin(王鑫), Qi Yan(祁炎), Zhang Yangchuan(张羊焕) *et al.* *Metallic Functional Materials* (金属功能材料)[J], 2005(6): 41

[6] Onzawa T, Suzumura A, Ko M W. *Welding Journal*[J], 1990, 69(12): 462

[7] Kotaro Matsu, Yasuyuki Miyazawa, Yoshitake Nishi. *Materials Transactions*[J], 2007, 48(5): 1055

[8] Chang C T, Wu Z Y, Shiue R K. *Materials Letters*[J], 2007, 61(3): 842

[9] Huang X, Richards N L. *Welding Journal*[J], 2004, 83(3): 73

[10] Alexander Shapiro, Anatol Rabinkin. *Welding Journal*[J], 2003, 82(10): 36

[11] Ge Zhiming(葛志明). *Two Elements Series Phase Diagram of Titanium*(钛的二元系相图)[M]. Beijing: Defense Industry Press, 1977: 22

## Ti-25Cu-25Zr Filler Metal and Pure Titanium Brazed Process

Yang Yongfu<sup>1</sup>, Ju Jianhui<sup>2</sup>, Ye Jianlin<sup>1</sup>, Ai Jianling<sup>2</sup>, Lei Zhongrong<sup>1</sup>, Fu Weijun<sup>1</sup>

(1. Western Metal Materials Co., Ltd., Xi'an 710065, China)

(2. Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Xi'an 710016, China)

**Abstract:** Three-layer Ti-Cu-Zr filler metal was developed by explosive cladding and rolling, and the brazing foil of 0.2 mm thickness can be got. The properties of Ti-25Cu-25Zr brazing titanium were studied. The diffusion and contact reaction between the filler metal and titanium base metal was analyzed according to the TLP (Transient Liquid Phase Diffusion Bonding) principle, and the relationship between the holding time and the strength of brazed joint has been got. The results show that when the holding time is less than 1.0 s, the rupture load will below 600 N due to the un-completely diffusion and reaction between the filler metal and the titanium base metal, and a rupture occurs on the brazed joint; comparatively, if the holding time is more than 1.0 s, the rupture load reaches to 700 N, the joint strength can be improved because of the obviously diffusion and reaction happened between the filler metal and the titanium base metal, and the rupture occurs on the heat-affected zone of the titanium. The joint strength would be getting the unity, when the holding time is within the range of 1.0 ~ 4.0 s

**Key words:** filler metal; brazed; titanium; Ti-25Cu-25Zr