



钛/铜异种金属电弧焊焊接接头界面组织与力学性能

李 杰^{1,2}, 周 鹏¹, 惠媛媛¹

(1. 西安航空职业技术学院 航空材料工程学院, 西安 710089;

2. 兰州理工大学 省部共建有色金属先进加工与再利用国家重点实验室, 兰州 730050)

摘 要: 为推动钛/铜异种金属焊接结构的广泛应用, 利用常规的钨极氩弧焊进行了 TA2 纯钛和 T2 紫铜异种金属对接焊, 通过扫描电镜、能谱仪、X 射线衍射仪对所获得的钛/铜焊接接头微观组织进行了分析。结果表明: 钛/铜异种金属焊接接头界面反应层生成了厚约 50 μm 的金属间化合物, 该金属间化合物层由钛侧条棒状金属间化合物 CuTi 、中间层块状和枝晶状金属间化合物 Cu_2Ti 、沿着枝晶状化合物 Cu_2Ti 边缘分布的化合物 Cu_4Ti_3 组成。合金元素 Ti 向焊缝金属中的溶解和扩散量极少, 钛/铜焊接接头界面反应层化合物形成以液相扩散反应为主。拉伸试验表明焊接接头的抗拉强度达到了 171 MPa, 接头断裂于邻近钛母材侧的金属间化合物层, 断口属典型的脆性解理断裂。

关键词: 电弧焊; 钛/铜焊接; 金属间化合物

文章编号: 1004-0609(2021)-09-2419-08

中图分类号: TG401

文献标志码: A

引文格式: 李 杰, 周 鹏, 惠媛媛. 钛/铜异种金属电弧焊焊接接头界面组织与力学性能[J]. 中国有色金属学报, 2021, 31(9): 2419–2426. DOI: 10.11817/j.ysxb.1004.0609.2021-37856

LI Jie, ZHOU Peng, HUI Yuan-yuan. Microstructure and properties of dissimilar materials Ti/Cu welding joint by arc welding[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2021, 31(9): 2419–2426. DOI: 10.11817/j.ysxb.1004.0609.2021-37856

当前, 单一材料往往不能满足实际工程应用中的各种要求, 异种金属焊接结构结合了两种金属性能的优点, 被广泛应用于现代工程结构。钛及钛合金具有高比强度、良好的塑性和韧性、优良的抗腐蚀性和高温强度等^[1-2], 铜及铜合金具有优良的导电、导热性能等^[3-5], 然而, 单一的钛和铜在工程应用上依然有自己的局限性, 如钛不易导电、导热等, 铜密度大等。采用焊接的工艺将钛和铜连接在一起, 形成的异种金属焊接构件将结合两者的优势, 弥补各自的不足, 在航天航空、电解、海洋开发等行业中具有广阔的应用前景, 如先进战机航空发动机恒速装置套柱塞转子、钛种板与铜耳的连接、钛容器与铜引出管的连接等^[6-9]。

目前, 钛/铜异种金属的焊接主要包括固相焊和熔化焊。其中固相焊包括爆炸焊、摩擦焊、扩散焊等; 熔化焊包括冷金属过渡技术、电子束焊和激光焊等先进方法。PAU 等^[10-11]研究了钛/铜异种金属爆炸焊过程中的物相转变, 深入分析了焊后退火处理对界面层金属间化合物生长动力学及焊接接头力学性能的影响。AYDIN 等^[12]进行了 TC4 钛合金与铜扩散焊连接, 研究发现相对铜在钛中的扩散, 钛在铜中的扩散速度更快; 试验还表明在不同时间、温度下形成了不同厚度的钛/铜金属间化合物层。姚磊等^[13]采用搅拌摩擦焊进行了钛/铜异种金属焊接, 分析了搅拌头转速、焊接速度对接头组织和性能的影响, 搭接接头强度达到铜母材的 95%。已

基金项目: 陕西高校青年创新团队资助项目(2019-73); 陕西省教育厅资助项目(20JK0700); 陕西省重点研发计划资助项目(2020GY-316); 西安航空职业技术学院科研项目(19XHZK-002)

收稿日期: 2020-11-13; **修订日期:** 2021-03-11

通信作者: 周 鹏, 正高级工程师, 博士; 电话: 029-86852334; E-mail: 27917546@qq.com

有固相连接方法焊接钛/铜异种金属不存在母材的熔化, 钛/铜异种金属焊接时控制界面处金属间化合物生成相对容易, 但其焊接设备复杂、且对工件尺寸和形状有一定要求, 不适于大批量生产。

相对于固相焊和钎焊, 熔焊方法具有较高的焊接效率和焊接灵活性。当前关于钛/铜异种金属电弧焊的报道较少, CAO 等^[14]用 CMT 进行了钛/铜异种金属焊接, 实现了 1 mm 厚钛和铜的对接焊。采用 CMT 可以实现钛/铜异种金属的焊接, 但存在设备机械或主电路控制结构复杂、价格昂贵、工艺调节范围窄等缺点。WANG 等^[15]采用电子束焊方法进行了钛/铜异种金属的焊接, 通过试验研究了填充金属对焊接接头界面组织和力学性能的影响。ZHAO 等^[16]采用激光自熔焊方法对钛/铜进行了焊接, 主要研究了光束偏移量对接头成形、组织特征及力学性能的影响规律。已有研究表明, 利用激光或电子束等实现钛/铜焊接具有较高的焊接质量, 但存在设备复杂、昂贵且对焊接结构装配精度要求高的问题, 这限制了它们在很多工业领域的大规模应用。因此如果能够利用工业领域中应用最为广泛的钨极氩弧焊实现钛/铜异种金属的焊接将极大地推动钛/铜异种金属焊接结构的应用。

本文采用钨极氩弧焊进行了钛/铜异种金属的焊接, 利用飞纳 Phenom LE 扫描电镜、理学 Ultima IV X 射线衍射仪对焊接接头物相组成、分布及合金元素扩散进行了分析。采用 HVS-1000A 型显微硬度计测试了焊接接头不同区域的显微硬度。采用 UMT4303 型万能拉伸试验机对焊接接头的抗拉强度进行了测试, 并利用扫描电镜对接头断裂形貌和断裂行为进行了观察。

1 实验

采用自动送丝直流钨极氩弧焊进行 TA2 纯钛和 T2 紫铜异种金属的对接焊, 焊接平台示意图如图 1 所示。焊接过程中焊枪与焊接方向的夹角为 95°~105°, 焊丝与焊接方向的夹角为 10°~15°; 焊枪与 TA2 纯钛和 T2 紫铜的夹角均为 90°, 坡口角度 60°, 根部间隙 0.8 mm; 焊缝背面采用氩气保护, 氩气流量 15 L/min。焊接时焊枪向铜侧偏置至铜母材坡口边缘处, 一方面可确保导热速度较快的铜发生熔化, 保证根部焊透; 另一方面也可避免过多的

钛合金发生熔化, 使得大量的钛进入焊缝与铜反应形成过多的脆性金属间化合物, 降低接头的力学性能。

试验中钨极氩弧焊焊接氩气流量为 10 L/min, 焊接电流 140 A, 送丝速度 1.2 m/min, 焊接速度 0.8 m/min。本试验采用直径为 0.8 mm 的 S201 紫铜焊丝, 焊丝化学成分如表 1 所示, 母材规格均为 100 mm×50 mm×2 mm。在上述焊接参数下焊接得到的焊缝形貌如图 2 所示, 焊缝外观成形良好。

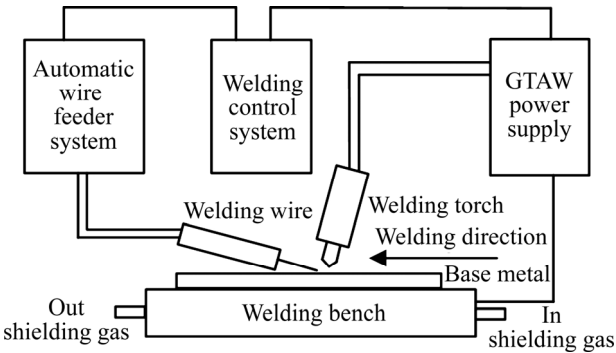


图 1 焊接平台示意图
Fig. 1 Schematic diagram of welding platform

表 1 S201 紫铜焊丝的化学成分

Table 1 Chemical composition of S201 (mass fraction, %)						
Cu	Sn	Si	Mn	P	Pb	Al
≥98	≤1.0	≤0.5	≤0.5	≤0.15	≤0.02	≤0.01

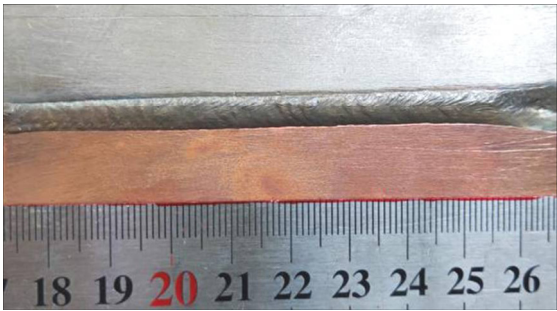


图 2 钛/铜异种金属焊缝形貌
Fig. 2 Weld seam morphology of titanium and copper dissimilar metal

2 结果与分析

2.1 钛/铜焊接接头

采用线切割横向切取钛/铜异种金属对接接头试样, 按要求制成金相试样, 用腐蚀液 1.0 mL

HF+2.0 mL HNO₃+47 mL H₂O 腐蚀钛母材 15 s, 腐蚀液 25 g FeCl₃+25 mL HCl+100 mL H₂O 腐蚀铜母材和焊缝金属 10 s。钛/铜异种金属焊接接头宏观形貌如图 3 所示, 可以看出整个焊接接头由铜母材、铜热影响区、焊缝、钛/铜界面反应区、钛热影响区和钛母材组成。

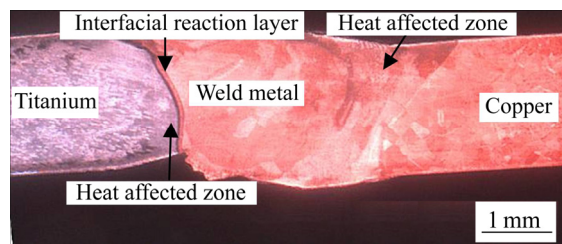


图 3 钛/铜焊接接头宏观形貌

Fig. 3 Macrostructures of cross-section of titanium and copper welding joint

2.2 焊接接头微观组织及物相组成

为了深入分析钛/铜异种金属焊接接头的显微组织, 用扫描电镜对焊接接头不同区域的组织进行了观察。图 4 所示为钛/焊缝界面组织形貌。由图 4(a)可以发现, 在钛/焊缝界面处生成了厚度约 50 μm 的金属间化合物层, 该金属间化合物主要由两部分组成: 靠近钛侧金属间化合物呈层状向焊缝方向生长; 靠近焊缝侧的金属间化合物以枝晶状向焊缝内部生长。为了深入分析金属间化合物的组成, 试验还获得了该金属间化合物层的背散射电子像, 如图 4(b)所示, 可以看出金属间化合物层至少有三种物相组成, 靠近钛侧条棒状的化合物 A 为一种物相, 靠近焊缝侧呈层状和枝晶状的化合物 B 为一种物相, 同时沿着枝晶状化合物 B 边缘还分布着另一种化合物 C。

为了分析界面层各金属间化合物的化学成分, 用 EDS 对图 4(b)中 A、B、C 等物相进行了能谱分析, 分析结果见表 2。EDS 结果表明, 化合物 A 中的 Ti、Cu 摩尔比约为 0.85, 化合物 B 中的 Ti、Cu 摩尔比约为 0.51, 化合物 C 中的 Ti、Cu 摩尔比约为 0.69。结合已有研究^[14]和 Ti-Cu 二元相图, 初步确定化合物 A 为 CuTi, 化合物 B 是 Cu₂Ti, 化合物 C 是 Cu₄Ti₃。

图 4(c)所示为铜/焊缝界面组织形貌。由图 4(c)可以看出, 相对于铜母材, 焊缝金属中明显存在大

量的析出相, 焊缝组织主要由柱状晶组织 D 和基体组织 E 构成, 对两部分组织进行 EDS 测试, 结果见表 3。试验发现两部分组织的 Cu 含量均达到了 98%以上, Ti 含量约 1.5%, 其他合金元素含量极少。

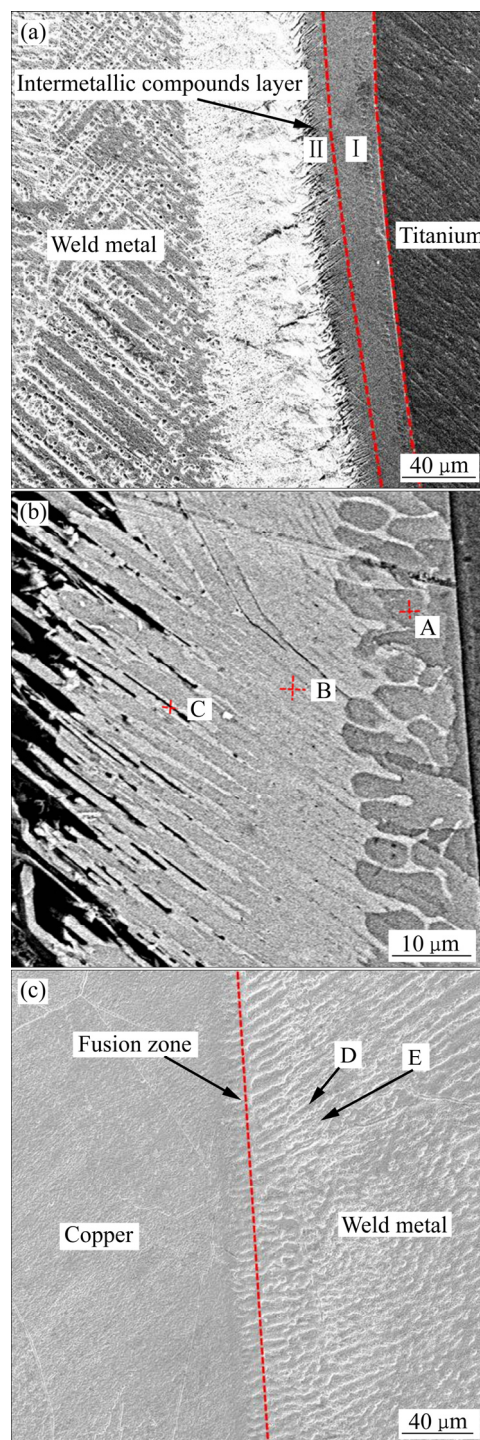


图 4 钛/铜焊接接头不同区域微观组织

Fig. 4 Different microstructures of titanium and copper welding joint: (a) Microstructure between titanium and weld seam; (b) Intermetallic compound layer between titanium and weld seam; (c) Microstructure between copper and weld seam

表 2 界面处不同区域化合物的成分

Table 2 Compositions of compounds in different areas of interface

Compound in Fig.4(b)	Mole fraction/%				Possible phase
	Ti	Cu	Sn	Si	
A	45.78	53.91	0.12	0.19	TiCu
B	33.53	66.17	0.06	0.24	TiCu ₂
C	40.62	59.20	0.05	0.13	Ti ₃ Cu ₄

表 3 焊缝处不同区域化合物的成分

Table 3 Compositions of compounds in different areas of weld

Compound in Fig.4(c)	Mole fraction/%			
	Ti	Cu	Sn	Si
D	1.73	98.11	0.04	0.12
E	1.30	98.4	0.07	0.23

在焊接过程中，焊缝金属中 Ti 元素将固溶于 Cu 元素中，形成铜基固溶体，这有助于提高焊缝金属的力学性能。

为了进一步确定钛/铜焊接接头界面反应区的物相组成，利用 Ultima IV X 射线衍射仪对钛/铜焊接接头进行了 XRD 分析，图 5 所示为钛/铜焊接接头 XRD 测试结果，所得物相有 Ti、Cu、CuTi、Cu₂Ti 和 Cu₄Ti₃。综合扫描电镜照片和 EDS 测试结果，进一步确认钛/铜焊接接头界面反应层靠近钛侧条棒状金属间化合物为 CuTi，中间层块状和枝晶状金属间化合物为 Cu₂Ti，沿着枝晶状化合物 Cu₂Ti 边缘分布着的化合物是 Cu₄Ti₃。

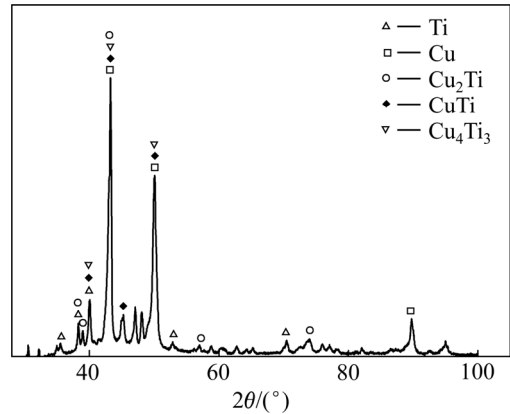


图 5 钛/铜焊接接头 XRD 谱
Fig. 5 XRD patterns of cross-section by titanium and copper welding joint

2.3 金属间化合层生长过程分析

TURCHANIN 等^[17]和曾科军等^[18]研究了 Ti-Cu 二元体系相图和各相的热力学性质，本文基于以上研究结果，计算了 Ti-Cu 各金属间化合物在不同温度下的生成自由能，如图 6 所示。结果表明，在各温度下金属间化合物 CuTi 的生成自由能较小，形成金属间化合物 CuTi 的反应驱动力较大，即在反应过程中易生成 CuTi 金属间化合物。为了深入分析钛/铜界面化合物形成过程，对连接界面附近区域组织进行了面扫描，结果如图 7 所示。可以看出，在钛/铜界面层存在合金元素 Ti 和 Cu 的混合层，即钛/铜金属间化合物层；还发现合金元素 Ti 在焊缝金属中的溶解和扩散量极少，同时合金元素 Cu 也未向钛母材发生扩散，这表明几乎不存在合金元素 Ti 和 Cu 穿过金属间化合物层进行扩散，因此钛/铜焊接接头界面反应金属间化合物的生成以液相扩散反应为主。

综上，钨极氩弧焊钛/铜异种金属时，钛/焊缝连接界面第一阶段的反应主要是 $L \rightarrow \text{CuTi}$ ；第二阶段反应主要是发生包晶反应 $L + \text{CuTi} \rightarrow \text{Cu}_4\text{Ti}_3$ ；第三阶段反应主要是发生包晶反应 $L + \text{Cu}_4\text{Ti}_3 \rightarrow \text{Cu}_2\text{Ti}$ 。焊接过程中，由于邻近钛母材侧焊缝冷却速度较快，钛/铜仅发生了第一阶段的反应，邻近钛母材侧形成了一层厚约 10 μm 的条棒状金属化合物 CuTi；液态金属凝固后期枝晶状金属化合物 Cu₂Ti 周边液态金属不足，该部分钛/铜仅发生了第一阶段和第二阶段反应，因此在枝晶状金属化合物 Cu₂Ti 周边分布着少量的 Cu₄Ti₃ 金属间化合物。

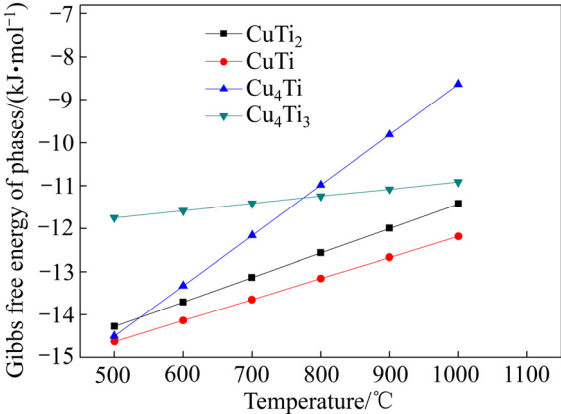


图 6 不同温度下 Ti-Cu 各金属间化合物吉布斯自由能
Fig. 6 Gibbs free energy of Ti-Cu intermetallic compounds at different temperatures

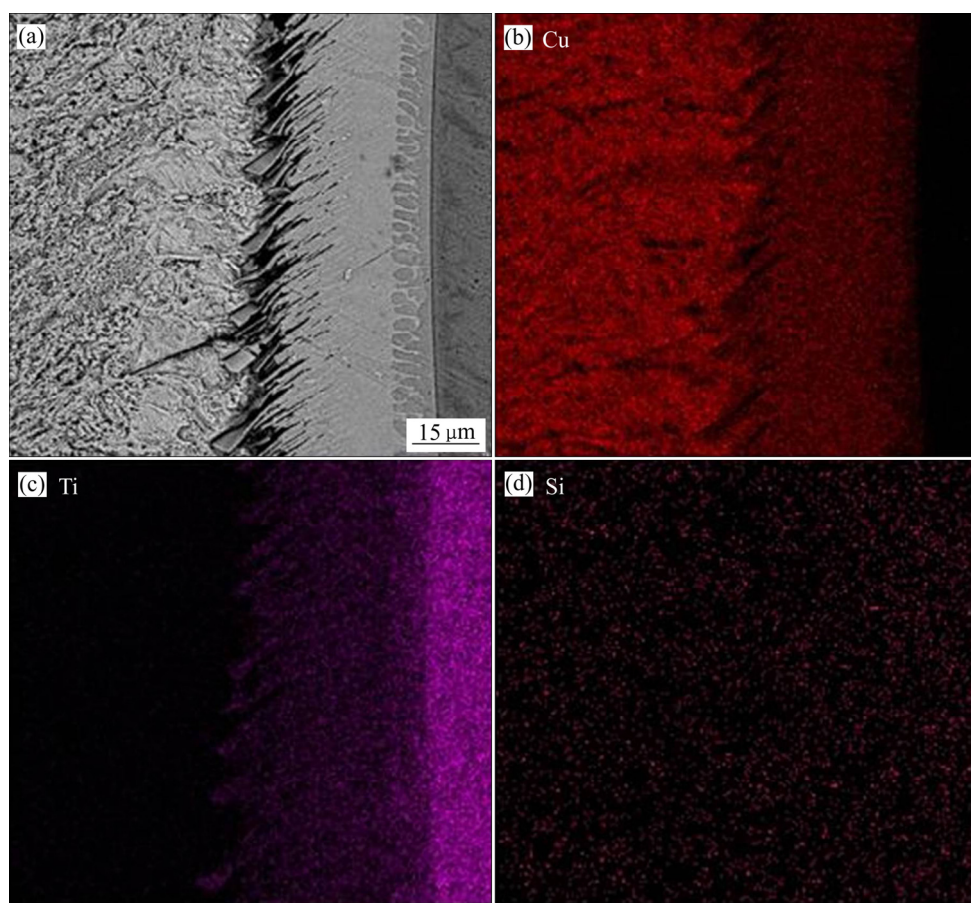


图 7 钛/铜焊接接头连接界面形貌及元素面扫描图

Fig. 7 Morphology and element scanning maps of cross-section of titanium and copper welding joint: (a) SEM image; (b) Cu; (c) Ti; (d) Si

2.4 焊接接头力学性能分析

用 UMT4303 型万能拉伸试验机对钛/铜焊接接头的抗拉强度进行了测试, 加载速率为 2 mm/min, 焊接接头拉伸曲线如图 8 所示。测试结果表明, 钛/铜焊接接头的平均抗拉强度为 171 MPa, 约为铜母材抗拉强度的 80%。拉伸试样在邻近钛母材的金属间化合物层发生断裂, 如图 9 所示。

为深入分析钛/铜对接接头的断裂行为, 采用 HVS-1000A 型显微硬度计对焊接接头不同区域显微硬度进行了测试, 铜侧预加载荷为 0.98 N, 焊缝和钛合金侧预加载荷为 4.9 N, 显微硬度测试结果如图 10 所示。可以看出, 焊缝金属显微硬度明显高于铜母材, 这是由于少量的合金元素 Ti、Si 等溶入了铜基体中, 形成了铜基固溶体, 提高了焊缝金属显微硬度。靠近钛母材侧组织, 即界面连接层金属间化合物层显微硬度达到了 350.8 HV, 焊缝中铜基固溶体与界面反应层金属间化合物的强度和塑

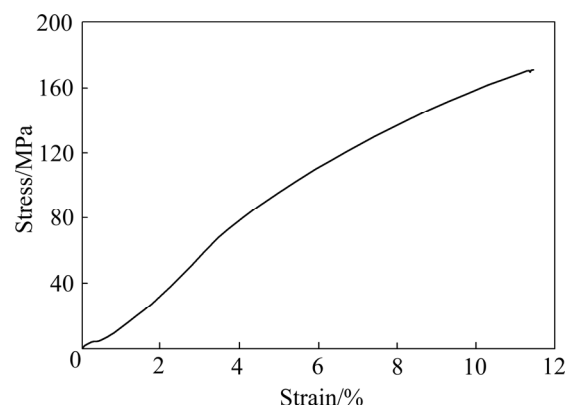


图 8 焊接接头拉伸应力-应变曲线

Fig. 8 Stress-strain curve of welding joint



图 9 焊接接头断裂宏观照片

Fig. 9 Macrograph of fractured joint

性差异较大,在拉应力作用下焊接接头极易在该过渡界面产生应力集中,当应力集中达到一定程度时接头将在该区域发生断裂。为进一步研究钛/铜焊接接头的断裂机理,用扫描电镜对焊接接头断口进行了分析,焊接接头断口形貌如图 11 所示,断口呈

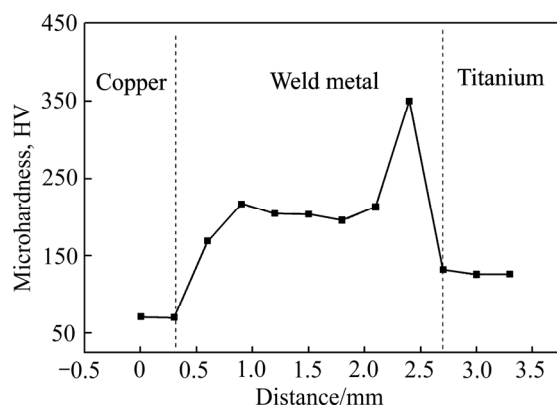


图 10 焊缝侧显微硬度分布

Fig. 10 Distribution of Vickers hardness at weld metal

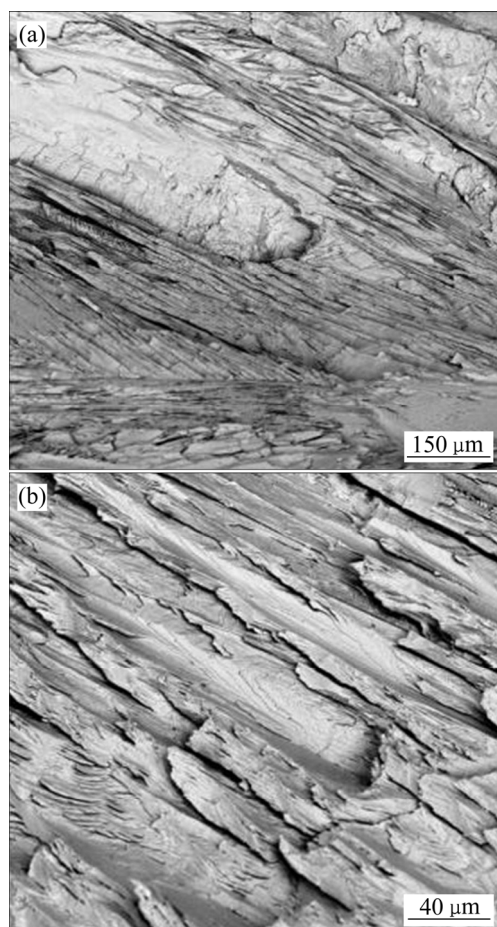


图 11 焊接接头断口形貌

Fig. 11 Fracture morphologies of welding joint: (a) Ligule-like; (b) River-like

舌状和河流状花样,属典型的脆性解理断裂。采用能谱仪对焊接接头断口表面的物相进行了定量分析,测试结果表明,断口表面存在着大量的 Ti 和 Cu,两者摩尔分数之和达到了 98%,其他合金元素的含量极少,由此可知钛/铜焊接接头主要断裂于金属间化合物层,即金属间化合物层是钛/铜焊接接头力学性能薄弱区。控制界面反应层金属间化合物的厚度,优化界面反应层物相组成,使其生成显微硬度较低的金属间化合物将进一步提升接头强度^[10-11, 19]。

3 结论

1) 钛/铜异种金属钨极氩弧焊焊接接头连接界面生成了厚度约 50 μm 的金属间化合物,该金属间化合物层由钛侧条棒状金属间化合物 CuTi、中间层块状和枝晶状金属间化合物 Cu₂Ti、沿着枝晶状化合物 Cu₂Ti 边缘分布的化合物 Cu₄Ti₃ 组成。

2) 合金元素 Ti 向焊缝金属中的溶解和扩散量极少,同时合金元素 Cu 也未向钛母材发生扩散,钛/铜焊接接头界面反应层化合物的生成以液相扩散反应为主。

3) 利用常规的钨极氩弧焊实现了 TA2 纯钛和 T2 紫铜异种金属对接焊,焊接接头抗拉强度达到了 171 MPa,约为铜母材抗拉强度的 80%。

4) 钛/铜钨极氩弧焊焊接接头拉伸试样在邻近钛母材的金属间化合物层发生断裂,断口为典型的脆性解理断裂,金属间化合物层是焊接接头力学性能的薄弱区。

REFERENCES

- [1] DAI J J, ZHU J Y, CHEN C Z, et al. High temperature oxidation behavior and research status of modifications on improving high temperature oxidation resistance of titanium alloys and titanium aluminides: A review[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2016, 685: 784-798.
 - [2] 郭学益, 田庆华, 刘咏, 等. 有色金属资源循环研究应用进展[J]. 中国有色金属学报, 2019, 29(9): 1859-1901.
- GUO Xue-yi, TIAN QING-hua, LIU Yong, et al. Progress in research and application of non-ferrous metal resources recycling[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals,

- 2019, 29(9): 1859–1901.
- [3] 冯秋元, 佟学文, 王 俭, 等. 低成本钛合金研究现状与发展趋势[J]. 材料导报, 2017, 31(9): 128–134.
- FENG Qiu-yuan, TONG Xue-wen, WANG Jian, et al. Status quo and development tendency on the research of low cost titanium alloy[J]. Materials Reports, 2017, 31(9): 128–134.
- [4] 李 周, 肖 柱, 姜雁斌, 等. 高强导电铜合金的成分设计、相变与制备[J]. 中国有色金属学报, 2019, 29(9): 2009–2049.
- LI Zhou, XIAO Zhu, JIANG Yan-bin, et al. Composition design, phase transition and fabrication of copper alloys with high strength and electrical conductivity[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2019, 29(9): 2009–2049.
- [5] 刘兴军, 王翠萍, 甘世溪, 等. 高性能铜合金热力学数据库的开发及其在材料设计中的应用[J]. 中国有色金属学报, 2011, 21(10): 2511–2522.
- LIU Xing-jun, WANG Cui-ping, GAN Shi-xi, et al. Development of thermodynamic database for copper base alloy systems and its application in material design[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2011, 21(10): 2511–2522.
- [6] GUO Shun, ZHOU Qi, PENG Yong, et al. Study on strengthening mechanism of Ti/Cu electron beam welding[J]. Materials and Design, 2017, 121: 51–60.
- [7] AYDIN K, KAYA Y, KAHARAMAN N. Experimental study of diffusion welding/bonding of titanium to copper[J]. Materials and Design, 2012, 37: 356–368.
- [8] PAUL H, SKUZA W, CHULIST R, et al. The effect of interface morphology on the electro-mechanical properties of Ti/Cu clad composites produced by explosive welding[J]. Metallurgical and Materials Transactions, 2020, 51(2): 750–766.
- [9] 冯 振, 曹 睿, 陈剑虹. 钛合金Ti6Al4V/纯铜T2冷金属过渡搭接焊焊接接头组织与性能[J]. 机械工程学报, 2014, 50(16): 135–139.
- FENG Zhen, CAO Rui, CHEN Jian-hong. Microstructure and properties of Ti6Al4V-T2 lap welded joints by cold metal transfer technology[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(16): 135–139.
- [10] PAUL H, CHULIST R, MISZCZYK M, et al. Towards a better understanding of the phase transformations in explosively welded copper to titanium sheets[J]. Materials Science and Engineering A, 2020: 784: 139285.
- [11] PAUL H, CHULIST R, BOBROWSKI P, et al. Microstructure and properties of the interfacial region in explosively welded and post-annealed titanium-copper sheets[J]. Materials Characterization, 2020, 167: 110520.
- [12] AYDIN K, KAYA Y, KAHARAMAN N. Experimental study of diffusion welding/bonding of titanium to copper[J]. Materials and Design, 2012, 37: 356–368.
- [13] 姚 磊, 沈以赴, 李 博, 等. Cu/Ti 异种金属搅拌摩擦焊接接头组织与性能[J]. 焊接学报, 2014, 35(2): 109–112, 118.
- YAO Lei, CHEN Yi-fu, LI Bo, et al. Microstructure and properties of dissimilar materials Cu/Ti lapped joint by friction stir welding[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2014, 35(2): 109–112, 118.
- [14] CAO R, FENG Z, LIN Q, et al. Study on cold metal transfer welding-brazing of titanium to copper[J]. Materials and Design, 2014, 56: 165–173.
- [15] WANG T, HAN K, TANB Q, et al. Effect of filler metal composition on microstructure and mechanical properties of electron beam welded titanium/copper joint[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2019, 776: 357–369.
- [16] ZHAO Y, WANG W Y, YAN K, et al. Microstructure and properties of Cu/Ti laser welded joints[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2018, 257: 244–249.
- [17] TURCHANIN M A, AGRAVAL P G, ABDULOV A R. Thermodynamic assessment of the Cu-Ti-Zr system. 1. Cu-Ti system[J]. Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 2008, 47(5/6): 244–360.
- [18] 曾科军, 金展鹏. Ti-Cu 二元系液相热力学计算[J]. 稀有金属材料与工程, 1990(4): 9–12.
- ZENG Ke-jun, JIN Zhan-peng. Thermodynamic calculation for liquid phase of Ti-Cu binary system[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 1990(4): 9–12.
- [19] 郭 顺, 罗添元, 彭 勇, 等. Ti/Cu 异种金属电子束焊接界面行为[J]. 焊接学报, 2019, 40(8): 26–32, 162.
- GUO Shun, LUO Tian-yuan, PENG Yong, et al. Interface behavior and mechanical properties of Ti/Cu dissimilar metals welding by electron beam[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2019, 40(8): 26–32, 162.

Microstructure and properties of dissimilar materials Ti/Cu welding joint by arc welding

LI Jie^{1,2}, ZHOU Peng¹, HUI Yuan-yuan¹

(1. School of Aeronautical Materials Engineering, Xi'an Aeronautical Polytechnic Institute, Xi'an 710089, China;

2. State Key Laboratory of Advanced Processing and Recycling of Nonferrous Metals,

Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: In order to promote the wide application of Ti/Cu dissimilar Metal welding structure, dissimilar metals of TA2 titanium and T2 copper were joined with butt joint by conventional argon tungsten-arc welding. The interfacial microstructures of the joints were analyzed by scanning electron microscopy(SEM), energy dispersive spectroscopy(EDS) and X-ray diffractometry(XRD). The results show that an intermetallic compound with a thickness of about 50 μ m forms in the interface reaction layer of Ti/Cu welding joint. The intermetallic compound layer is composed of CuTi, Cu₂Ti and Cu₄Ti₃. The rod-like CuTi is near the titanium side, the massive and dendritic Cu₂Ti distribute in the intermediate region of the interfacial reaction, and Cu₄Ti₃ distributes along the edge of the dendrite compound Cu₂Ti. The dissolution and diffusion of alloying element Ti to weld metal are very few, and the formation of interface reaction layer compound of Ti-Cu welding joint is dominated by liquid phase diffusion reaction. The tensile strength of the welding joint is up to 171 MPa, and the joint fractures in the intermetallic compound layer adjacent to the titanium base material, and the fracture is a typical brittle cleavage fracture.

Key words: arc welding; titanium-copper welding; intermetallic compounds

Foundation item: Project(2019-73) supported by the Youth Innovation Team of Shaanxi Universities of Education Department of Shaanxi Provincial Government, China; Project(20JK0700) supported by the Education Department of Shaanxi Provincial Government, China; Project(2020GY-316) supported by the Shaanxi Key Research and Development Program of Shaanxi Science and Technology Department, China; Project(19XHZK-002) supported by the Science and Technology Program of Xi'an Aeronautical Polytechnic Institute, China

Received date: 2020-11-13; **Accepted date:** 2021-03-11

Corresponding author: ZHOU Peng; Tel: +86-29-86852334; E-mail: 27917546@qq.com

(编辑 何学锋)