

Ti₂AlNb 合金的钎焊试验研究Experimental Research on Ti₂AlNb Alloy Brazing

中航工业北京航空制造工程研究所
航空焊接与连接技术航空科技重点实验室

侣好学 静永娟 岳喜山 高兴强

[摘要] 采用箔带状 Ti-15Cu-15Ni 钎料合金对 Ti₂AlNb 合金开展钎焊试验研究。随着钎焊温度的升高,钎料合金在基体材料上的润湿角逐渐减小,直至 965℃ 完全润湿基体材料。当钎焊工艺为 975℃ /10min 时,钎焊接头室温抗拉强度可达 855MPa,达到基体强度的 80%。钎焊界面为冶金结合界面,未见焊接缺陷,界面中心存在 10μm 宽的钎料元素富集区。该工艺条件下, Ti₂AlNb 合金的室温拉伸断口为脆性解理断口,钎料元素富集区处产生了大量的二次裂纹。研究结果为 Ti₂AlNb 合金钎焊构件的制造技术提供了理论基础。

关键词: Ti-15Cu-15Ni 钎料 Ti₂AlNb 合金 钎焊

[ABSTRACT] The foils solder of Ti-15Cu-15Ni for Ti₂AlNb alloy brazing is studied. With increasing of the brazing temperature, the wetting angle for the substrate material decreases. Until 965℃, it is not fully wetting on the substrate materials. When the brazing process is 975℃ /10min, the tensile strength of brazing joint at room temperature is up to 855MPa, which is equal to 80% of the substrate material. The interface microstructure is metallurgical bonding interface without welding defects. There exists the region in the center of the interface in which solder elements are rich. The fracture of Ti₂AlNb alloy at room temperature is brittle cleavage. The solder element enrichment region makes a large amount of secondary cracks. The research results of Ti₂AlNb alloy brazing can provide the theoretical basis for the component manufacturing technology.

Keywords: Ti-15Cu-15Ni solder Ti₂AlNb alloy Brazing

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.S1.001

钎焊是一项精密焊接技术,在航空航天、汽车、机械、电子和家电等领域得到了广泛应用^[1-2]。钎料作为钎焊的必备材料,是一种高科技材料产品,尤其是箔带状钎料的出现和发展,更适应了生产向高效益、低成本、高质量、自动化发展的趋势。钛基钎料主要应用于钎焊

钛合金和钛-铝金属间化合物材料^[3-4],其中 Ti-15Cu-15Ni 箔带具有成本低、生产效率高的优势。

静永娟^[5-6]、高勇^[7]等针对钛合金及钛-铝合金的钎焊工艺优化和界面组织演变开展了系列研究。本文采用 Ti-15Cu-15Ni 钎料合金,以 Ti₂AlNb 合金为待焊母材,开展钎料性能及 Ti₂AlNb 合金可焊性方面的试验研究,以期 Ti₂AlNb 合金钎焊构件的制造技术提供理论基础。

1 试验方法

采用同步热分析仪(STA-449C)进行差热分析,以 20℃ /min 加热速度加热至 1200℃,得出钎料合金的熔化曲线。参考熔化曲线,采用 VAF-30 高温润湿角测量仪对该钎料进行熔点附近温度下润湿角的测量。采用 X 射线衍射仪对该钎料进行物相分析,确定该快速凝固钎料的结晶状态。使用该钎料,参考熔化曲线及其对基体材料的润湿情况,制定钎焊工艺为 975℃ /10min,对 Ti₂AlNb 合金进行钎焊,分析界面组织和断裂特征。

2 试验结果

2.1 Ti-15Cu-15Ni 箔带的熔化特性

钎焊利用液态钎料在母材表面润湿、铺展,以及在母材间隙中润湿、毛细流动、填缝与母材相互溶解和扩散来实现零件间的连接。衡量液体对母材润湿能力的大小,可用液相与固相接触时润湿角 θ 来表示。钎焊时钎料的润湿角应小于 20°。

表 1 为主熔融峰温度参数的试验结果。试验发现, Ti-15Cu-15Ni 钎料在 945℃ 左右开始熔化,温度升到 955℃ 时开始润湿,随温度升高钎料在基材表面快速铺展,如图 1 所示,图中箭头与水平面之间的夹角为润湿角。当温度达到 965℃ 时,钎料对基体实现完全润湿,润湿角为 0°。进一步提高钎焊温度,钎料的润湿角保持在 0° 不变。

表 1 主熔融峰温度参数的试验结果

试验质量 /mg	测量值 /℃		
	初始温度	峰值温度	终止温度
4.610	936.2	941.6	947.3

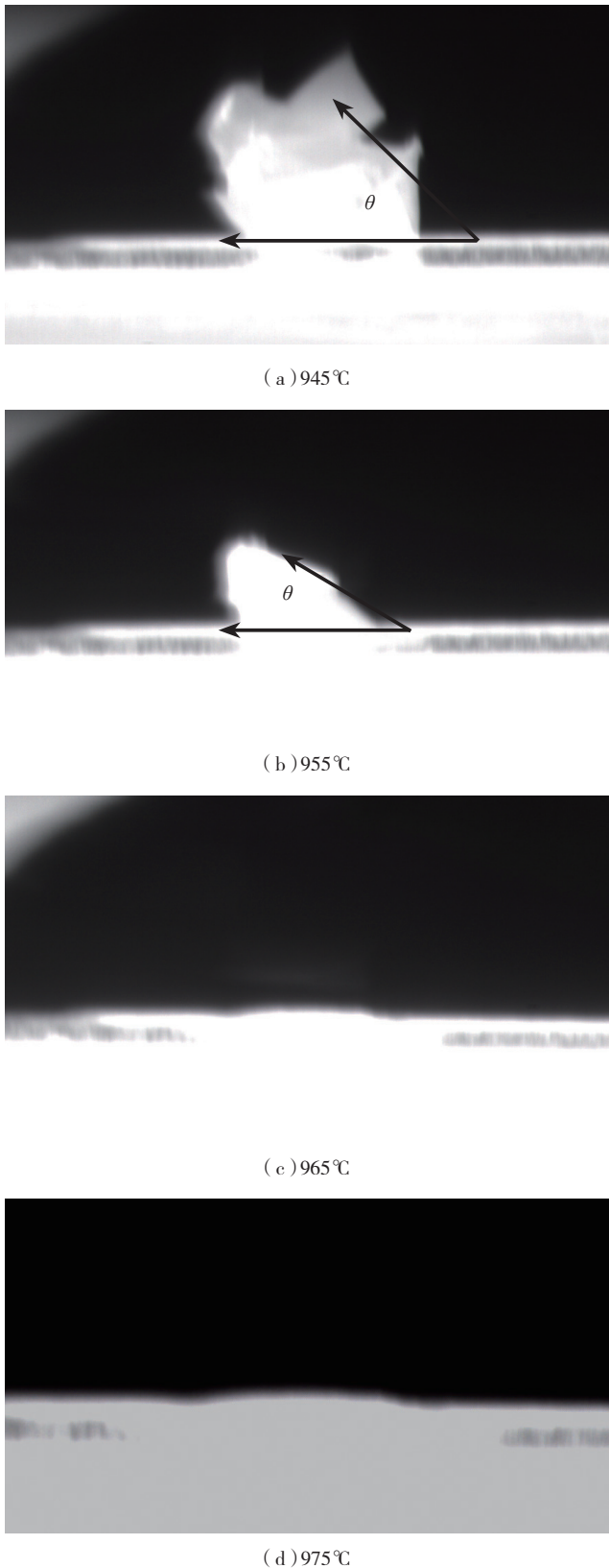


图1 在不同温度下钎料的润湿角

Fig.1 Wetting angle of solder at different brazing temperatures

2.2 Ti-15Cu-15Ni 箔带物相分析结果

通过对钎料进行 X 射线衍射,分析其衍射图谱,获

得分、原子结构或分子形态等信息。由于衍射峰为漫散峰,因此该材料晶态为非晶。反之,晶体内部原子排列是有规律的,晶面有固定的方向,晶面指数满足布拉格方程,在某个衍射角度下会形成强烈反射,图谱上显示为尖锐的衍射峰。通常,非晶材料的成分和组织非常均匀,可以在一个相当窄的熔化区间熔化,钎焊时钎料元素更容易扩散均匀。

2.3 Ti-22Al-25Nb 合金的钎焊界面

Ti-22Al-25Nb 合金组织状态为 O+B₂ 相两相组织,如图 2 所示,一定量的板条状 O 相分布于基体相 B₂ 中,O 相的增加可以使得材料的断裂韧性和强度有所增加。

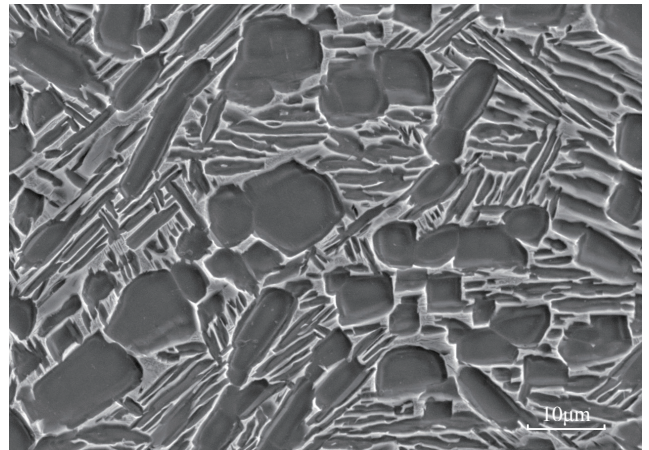


图2 基体材料组织

Fig.2 Microstructure of matrix

基于 2.1 节试验结果,即该钎焊材料在 965 °C 以上对待焊基体材料的润湿角为 0°,属于完全润湿。为提高钎焊过程中钎焊材料的扩散能力,采用 975 °C 为钎焊温度,对 Ti₂AlNb 材料进行焊接。钎焊界面如图 3 所示。

钎焊界面结合良好,未见焊接缺陷,界面宽约 100µm。界面组织分为 2 个区域,位于钎焊界面中心的区域,宽度低于 10µm,为衬度较大的灰白色区域,其内 Cu、Ni 元素含量较高,是原子量较大、原子半径较大的元素的富集区域,不连续地分布在界面中心位置。该区域可能对接头性能产生影响。另一个区域为靠近母材的区域,单侧宽度在 40~50µm,其内基体和钎焊材料相互扩散程度较大。

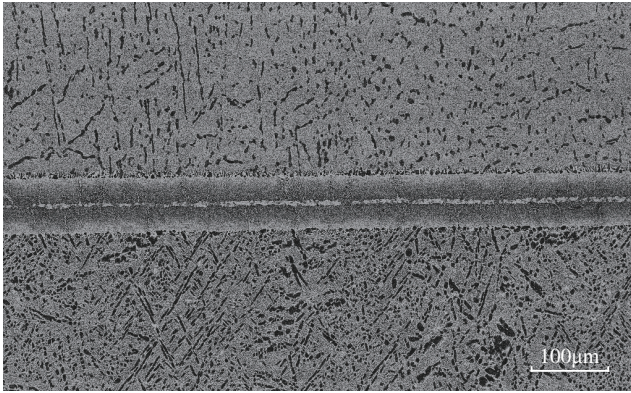
2.4 钎焊接头的拉伸断口分析

对钎接头进行室温拉伸强度测试,发现可达 855MPa。断口如图 4 所示,断口主要由裂纹起源区和裂纹扩展区组成,最后断裂区不明显,如图 4 (a) 圈中所示为裂纹起源区。断口上存在大量二次裂纹,二次裂纹可分为 2 种类型。一种二次裂纹是沿晶二次裂纹,晶界附近明显可见细小晶粒,尺寸在 10µm 以内,如图 4 (b),与界面中心处钎料元素聚集区的宽度近似。分

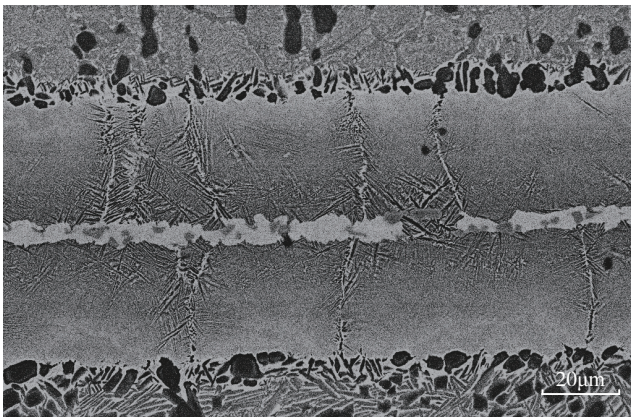
析认为,在应力作用下钎料元素富集区处产生了大量的二次裂纹。另一种二次裂纹为解理二次裂纹,属于 Ti_2AlNb 合金的典型断裂特征,见图 4 (c)。

3 结论

(1) 随着钎焊温度的升高,钎料合金在基体材料上



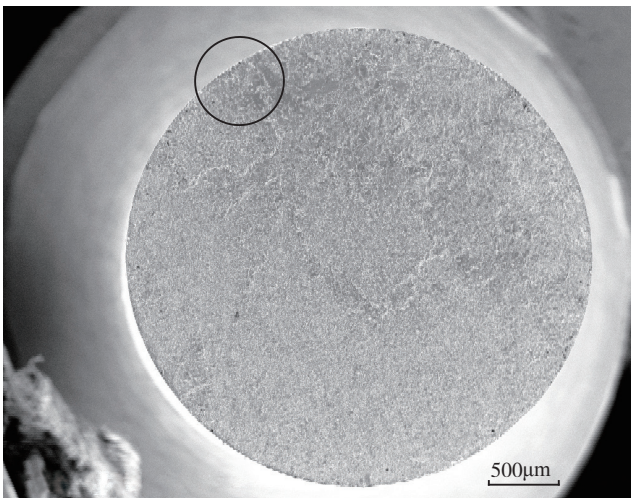
(a) 低倍下的界面组织



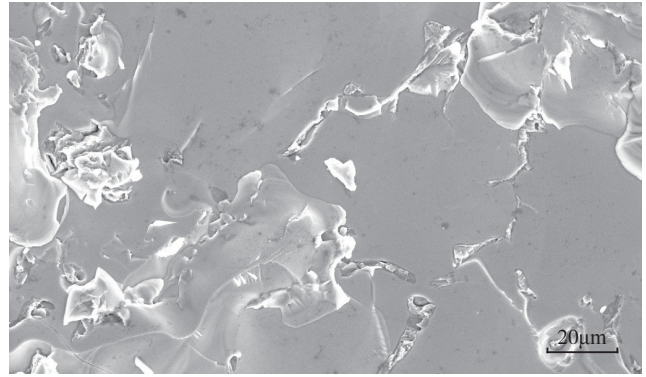
(b) 高倍下的界面组织

图3 Ti_2AlNb 合金的钎焊界面组织

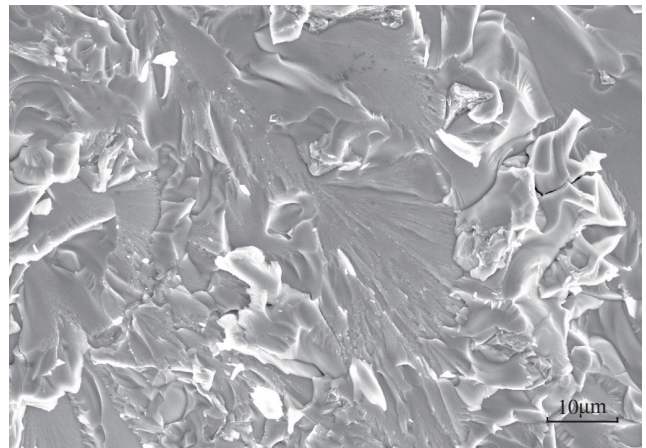
Fig.3 Brazing interface microstructure of Ti_2AlNb alloy



(a) 裂纹起源区



(b) 沿晶二次裂纹



(c) 解理二次裂纹

图4 Ti_2AlNb 合金钎焊接头的拉伸断口

Fig.4 Fracture surface of tensile specimens for Ti_2AlNb alloy

的润湿角逐渐减小,直至 $965^{\circ}C$ 完全润湿基体材料。(2) 当钎焊工艺为 $975^{\circ}C/10min$ 时,所得 Ti_2AlNb 合金同质钎焊界面为冶金结合界面,界面中心的钎料元素富集区,导致大量二次裂纹产生。(3) Ti_2AlNb 合金同质钎焊接头室温抗拉强度可达 $855MPa$,达到基体强度的 80% 。

参考文献

- [1] 吴昌忠,陈静,陈怀宁,等. 钛合金高温钎焊接头的组织性能及影响因素. 宇航材料工艺,2005(3):17-20.
- [2] 赵树萍,吕双坤. 钛合金在航空航天领域中的应用. 钛工业进展,2002(6):18-21.
- [3] 宁兴龙译. 焊接钛合金在俄罗斯航空中的应用. 钛工业进展,1998(1):22-26.
- [4] 马天军,康慧,曲平. 非晶态 $Ti-Zr-Cu-Ni$ 基钎料性能的研究. 焊接技术,2005,34(1):47-50.
- [5] 静永娟,李晓红,岳喜山. $TC1$ 钛合金蜂窝夹层结构的钎焊工艺研究与分析. 航空制造技术,2012(13):137-139.
- [6] 静永娟,李晓红,侯金保,等. Ti_3Al 基合金 TLP 扩散连接界面的组织演变研究. 焊接学报,2013,34(2):71-74.
- [7] 高勇,夏志东,张王龙. 钛基非晶钎料真空钎焊 $TA15$ 钛合金的研究. 材料科学与工艺,2012,20(3):66-69.

(责编 亿霖)