

钴对钛基钎料钎焊 Ti3Al 的影响

Effect of Cobalt on Ti Base Solder Ti3Al

北京航空航天大学材料科学与工程学院 李能 朱颖 曲平 康慧

[摘要] 研究了 Co 的添加对 Ti-Zr-Ni-Cu 钎料的性能,以及对 Ti3Al 基合金钎焊接头的显微组织和机械性能的影响。研究表明:采用添加 Co 的钎料,具有良好的润湿性和流动性,可显著提高钎焊接头的拉伸强度。

关键词: Ti3Al 真空钎焊 钛基钎料

[ABSTRACT] The effects of addition element Co on the properties of Ti-Zr-Ni-Cu brazing filler metal are studied. Microstructure and mechanical property of Ti3Al brazed joints with Ti-Zr-Ni-Cu brazing filler metal are also influenced by the addition element Co. The results show that the wettability and fluidity of Ti-Zr-Ni-Cu-Co brazing filler metal are well improved. Addition element Co can significantly enhance the tensile strength of brazed joints.

Keywords: Ti3Al Vacuum brazing Ti-based filler metal

Ti3Al 基合金具有耐高温、抗氧化、密度低的特性,而且弹性模量、抗蠕变性能均优于钛合金,密度只有镍基合金的 1/2^[1],因此,它被认为是一种理想的富有开发应用前景的航空、航天、军事及高技术领域的新型高温结构材料,并已被广泛应用于航空发动机中。

但是,由于 Ti3Al 基合金的力学性能对显微组织敏感、热膨胀系数低、在连接时易产生较大的内应力,并且极易生成脆性金属间化合物,使接头性能降低^[2-4]。目前国内外对 Ti3Al 基合金的钎焊研究较多,主要采用 Ti 基、Ag 基、Ni 基钎料真空钎焊 Ti3Al 基合金。本文选用较为常用的 Ti-Zr-Ni-Cu 系钎料钎焊 Ti3Al 基合金。由于 Ti-Zr-Ni-Cu 系钎料中的 Cu、Ni 元素对 Ti3Al 基合金属于活性的 β 稳定元素,钎焊时能使钛合金的共析速度加快,在共析转变后会生成脆性的金属间化合物(γ),从而使接头性能降低,因此,在 Ti-Zr-Ni-Cu 系钎料中加入了能降低共析转变速度的惰性的 β 稳定元素 Co,以改善钎料的性能,从而提高钎焊接头的强度^[5]。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

试验用母材为 Ti3Al 基合金,其主要化学成分见表 1。本试验配置了 2 组钛基钎料,其中 1# 钎料为常用的 Ti-Zr-Ni-Cu 钎料,2# 钎料以 Ti-Zr-Ni-Cu 为基并加入了合金元素 Co。钎料以纯度大于 99.95% 的海绵钛、电解纯铜、电解纯镍、纯钴为原料,用氩气保护

表 1 Ti3Al 的主要化学成分

元素	Ti	Al	Nb
含量 w/%	59	14	27

非自耗电弧炉熔炼而成。

1.2 试验方法

(1)润湿性铺展试验:将母材加工成尺寸为 20mm×20mm×2mm 的润湿性试片,用砂纸打磨试片表面,去除合金表面的氧化膜,并用丙酮清洗试片及钎料。将处理好的 250mg 钎料放置于试件中央,在真空钎焊炉中按照规定的工艺进行润湿性试验。

(2)填缝性能的测定试验:将尺寸为 40mm×7mm×1.2mm 的 2 种母材组成倒 T 字形,一端装配间隙为零,另一端垫起 0.5mm,将 20mg 钎料置于试件零间隙端,放入真空钎焊炉中加热保温。

(3)接头性能测试采用如图 1 所示的搭接方式进行试件进行装配,试验均在热壁式真空钎焊炉中进行,在真空钎焊炉中加热至规定温度进行保温。钎焊后的

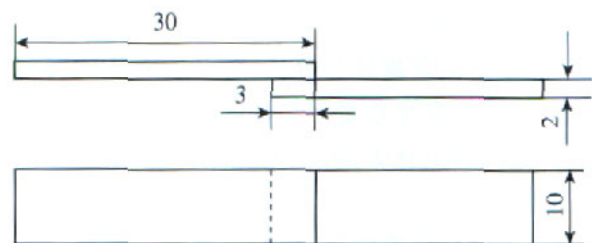


图 1 试件尺寸

Fig.1 Size of test specimen

接头在 AG-10TA 自动控制电子万能试验机上进行常温拉伸试验,得到接头的剪切强度。

以上试验每组做 3 个试样,求其平均值。钎料和钎焊接头金相试件经金相砂纸打磨后进行机械抛光、腐蚀。采用扫描电镜(SEM,S-360)、电子探针(EPMA, JXA-8600)和 X 衍射分析仪(XRD, JDX-3530M)等分析方法对钎焊接头进行分析评价。

2 试验结果与分析

2.1 Co对钎料润湿性能和填缝性能的影响

润湿性能是衡量钎料可焊性的一个重要标准。钎焊时,液态钎料对固态母材的润湿是最关键的过程。要获得优质的焊接接头,必须保证液态钎料能良好地润湿母材。润湿铺展试验结果如图 2 所示。从图 2 可见,2 种钎料在 Ti3Al 上的润湿铺展性都比较好,无块状残留,在 Ti3Al 上熔化钎料四周有一光亮的润湿环,但 2# 钎料的润湿性要好于 1# 钎料。由表 2 也可以看出,2# 钎料在 Ti3Al 上的铺展面积大于 1# 钎料。

钎料填缝性能的试验结果如表 3 所示,从表 3 中可知添加 Co 的 2# 钎料元素的添加有利于钎料的填缝,填缝长度大于 1# 钎料。其原因是,Co 在 Ni 中有一定的溶解度,适量加入 Co 元素可增进钎料与母材的

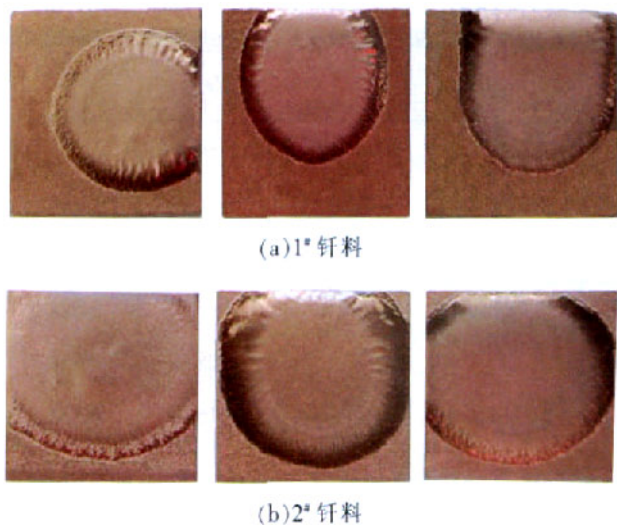


图 2 钎料的润湿性能

Fig.2 Wettability of brazing filler metals

表 2 钎料的铺展面积

钎料	铺展面积/cm ²			平均面积/cm ²	铺展结果
1#	2.015	2.207	2.301	2.174	熔化,润湿性良好
2#	3.801	3.525	3.798	3.708	熔化,润湿性良好

表 3 钎料的填缝长度

钎料	填缝长度/mm			平均值/mm
1#	15.27	16.55	12.45	14.75
2#	18.73	19.62	21.32	19.89

相互作用,钎料中添加一定量的 Co 元素后,钎料中的元素向母材扩散和母材中元素向钎料溶解性能加大,有助于钎料在母材上的润湿和填缝。

2.2 Co对钎焊接头显微组织和性能的影响

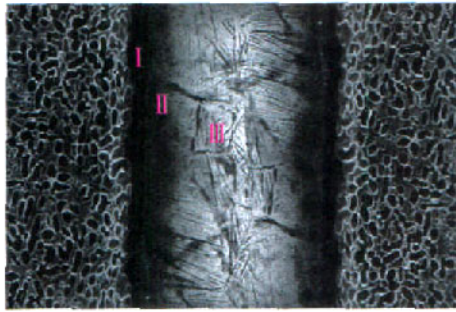
由于采用不同的钎料,其接头的界面微观组织明显不同。接头界面组织结构是影响连接性能的关键因素,不同的界面组织结构及生成相所决定的结合强度是不同的。表 4 为 1# 和 2# 钎料(a、b、c 表示 3 个试件)钎焊接头拉伸强度。由表 4 可以看出添加 Co 元素的 2# 钎料钎焊接头强度有较大的提高,比 1# 钎料提高了 40.2MPa。

表 4 钎焊接头拉伸强度

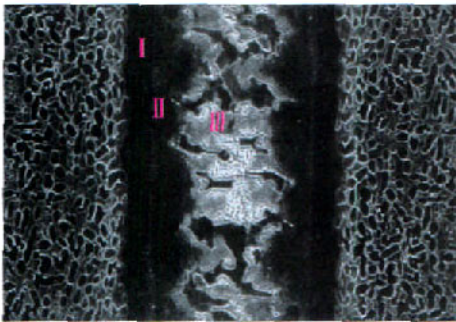
钎料	拉伸强度/MPa			平均强度/MPa
	a	b	c	
1#	271.3	262.5	223.2	252.3
2#	282.3	279.8	315.6	292.5

2 种钎料钎焊接头微观组织形态如图 3 所示:(a)为 Ti-Zr-Ni-Cu 钎料钎焊 Ti3Al 接头微观组织形态;(b)为 Ti-Zr-Ni-Cu-Co 钎料钎焊 Ti3Al 接头微观组织形态。从界面处可以观察到:母材与钎料连接的界面结合紧密,无气孔、裂纹等缺陷,界面组织良好。为了便于分析,把接头界面显微组织划分为 3 个区域:Ⅰ区为靠近母材的黑色条状区域;Ⅱ区为深灰色区域,介于钎料和Ⅰ区之间;Ⅲ区为焊缝钎料组织。

对比分析 2 种钎料钎焊接头的显微组织形态可以看出:图 3(a)1# 钎料钎焊接头扩散层Ⅰ区黑色条状相和Ⅱ区深灰色区域都较窄,Ⅲ区为典型的片状组织;添加 Co 元素的 2# 钎料钎焊接头形貌发生了很大的变化,如图 3(b)所示,接头中Ⅰ区和Ⅱ区厚度增加,Ⅲ区钎料的形貌也由片状组织变为黑色块状组织和白色花纹,残留钎料Ⅲ区的厚度变窄。由此可见,钎料中添加一定量的 Co 元素后,钎料中 Ti、Cu、Ni、Zr 元素向母材的扩散和母材中元素向钎料的溶解性能加强,基体与钎料形成较厚的扩散层,这是接头拉伸强度得到提高的原因之一。



(a)1# 钎料



(b)2# 钎料

图3 钎焊接头的微观组织形态
Fig.3 Microstructures of brazed joints

由能谱分析得到两种钎料钎焊接头不同区域的组织成分,见表5。结合三元相图分析可知^[9],Ti3Al母材保留了其原始的细小组织,由初生的黑色的 α_2 相和针状的 β 转变组织构成^[7]。1#钎料钎焊Ti3Al的反应层如图3(a)所示,I区中钎料中的Ti、Ni、Cu、原子首先沿着母材 α_2 相和 β 相之间进行扩散,母材中的Al、Nb同时向钎料中溶解,因此在反应层I区中主要由Ti2Ni、TiCu化合物相组成;II区灰色组织中除了Ti2Ni、TiCu化合物相,还生成了TiNi2Cu化合物相;残留钎料的反应层III区中,由于Cu元素含量的减少和Ti元素含量的增加,III区片状组织主要是Ti基固溶体,其中也含有一定量的Zr元素。

2#钎料钎焊Ti3Al的反应层如图3(b)所示,由于钎料中添加了Co元素,加速了Al、Ti、Ni、Cu元素之间的扩散与溶解,反应层I区和II区的厚度增加;反应层III区中黑色组织主要是Ti、Ni和Cu元素产生的TiNi2Cu化合物相,大块的白色相均是Ti基固溶体。

形成这种差异的主要原因是:钎料中Co元素的添加促进了母材与钎料中元素的扩散,进而影响了各元素在接头中的分布。通过比较接头组织特征及能谱分析,可以明显地看出,在2#钎料钎焊接头的微观组

表5 2种钎料钎焊接头各层的化学成分

w/%

元素		Al	Ti	Ni	Cu	Nb	Zr	Co
1# 钎料	I	2.206 7	61.574 4	8.766 8	16.268 9	9.601 4	1.534 5	—
	II	21.256 3	24.539 8	19.169 2	28.660 8	3.125 7	3.148 2	
	III	0.361 5	54.024 7	16.231 5	19.651 2	1.324 4	8.359 1	
2# 钎料	I	4.890 5	62.790 1	4.463 1	7.284 4	15.740 1	2.878 5	1.524 8
	II	19.816 7	21.365 1	14.587 9	35.616 7	3.729 1	3.728 9	0.934 7
	III	0.375 2	61.856 3	10.986 2	17.358 6	0.941 6	7.915 2	0.362 5

织形貌中,靠近Ti3Al母材的扩散区厚度增加,残留钎料中Ti固溶体增多,金属间化合物相减少,从而有效地提高了接头的强度。

元素向母材的扩散,提高了钎焊接头的强度。

3 结论

(1)Ti-Zr-Ni-Cu-Co钎料提高了与母材的润湿性能和流动性,使钎料在母材上的铺展面积和填缝长度有一定的增大。

(2)钎料中Co元素的加入改变了母材与钎料间元素地溶解与扩散行为,有效的抑制和减少了Cu、Ni

参 考 文 献

- [1] 茵斯 C, 特尔斯 M. 钛与钛合金, 陈振华, 译. 北京: 化学工业出版社, 2005: 45.
- [2] 蔡建明, 李臻熙, 马济民. 航空发动机用 600℃ 高温钛合金的研究与发展. 材料导报, 2005(1): 50.
- [3] 何鹏, 冯吉才, 周恒. 不同钎料对 Ti3Al 基合金钎焊接头强度及界面微观组织的影响. 中国有色金属学报, 2005, 15(1): 24.
- [4] Baeslack W A. Joining of α_2 Titanium Aluminides. Pro-

ceedings Symposium Weldability of Materials, ASM Fall Meeting, Detroit, Sept 1990: 247-258.

[5] 秦优琼,孙凤莲. Ti3Al 基合金钎焊技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2003.

[6] Mmaterials Park. Handbook of Ternary Alloy Phase Diagrams. ASM International, 1994: 4121.

[7] 潘晖,毛唯. Ti15Cu15Ni 钎焊 Ti3Al 接头组织研究. 第十一次全国焊接会议论文集,2005. (责编 悠然)

(上接第 65 页)

[2] 蔡宗淡,李小宁. 制造执行系统的生产管理控制研究. 计算机工程与应用,2006,16(07):184-187.

[3] 周丹晨,殷国富,龙红能,等. 基于 WEB 的制造信息集成化管理系统. 计算机集成制造系统,2003,9(2):96-100.

[4] 陈金亮,何卫平,董蓉,等. 支持快速扩散制造的制造执行系统研究. 计算机工程与应用,2007,43(18):207-210.

[5] 周海涛. 基于 Web 的设备管理信息系统的研究与实现[D]. 西安:西北工业大学,2006.

[6] 段婷婷,何卫平,张维,等. 基于 WEB 全生命周期设备管理系统. 计算机应用研究,2008,25(2):625-627.

(责编 晓霖)

(本刊记者 依然)

中国航空工业国际峰会 2008 在上海隆重召开

在中国商用飞机有限责任公司、亚太航空协会等国内外权威机构的支持下,“中国航空工业国际峰会”于 2008 年 12 月 3 日至 12 月 4 日在上海证大丽笙酒店举行。本次会议由上海市航空学会和全球领袖研究院联合主办,由全球领袖研究院承办。

中国航空工业国际峰会是这样平台:让行业内部人士能够在一起交流分享各自的信息与观点,甚至达成合作协议。

这次峰会在国际相关机构的支持下,荟萃了全球航空工业及相关行业的决策人,包括全球顶尖的飞机制造商、航空公司和航空科研公司等领导和高层管理者以及金融投资与信息咨询机构。重点探讨全球商用飞机的市场发展,全球飞机制造企业在中国的市场战略,以及航空工业的现代化解决方案等。这次会议是一次致力于合作交流、共同发展的高层盛会。

《航空制造技术》征稿启事

总体要求

文章要求内容准确,论点明确,论据充分,篇幅一般不超过 6 000 字。论文包括题名、作者姓名、作者单位、摘要、关键词、正文、参考文献。另请在稿件首页脚注处写明论文所属课题或基金项目类型及其批准号。请提供 Word 格式电子文件。

具体要求

1. 中英文题名,中文题名一般不超过 20 个字符。
2. 中英文摘要,摘要应具独立性和自明性,不用“本文”、“作者”等词。一般在 100 字左右。
3. 3-5 个中英文关键词。
4. 正文与标题,正文为 5 号宋体。文中标题一律左顶格排版,序号后空一个字再接排标题。引言编号为“0”,可省去编号和“引言”二字。一级标题“1,2,3,…”为小 4 号黑体;二级标题“1.1,1.2,…”为 5 号黑体;三级标题“1.1.1,1.1.2,…”为 5 号楷体。
5. 量和单位,文中技术词语、计量单位与符号应符合国家公布的标准,符合 GB 规定的量和单位名称、符号和书写规则。应注意外文字母的正斜体、黑白

体、大小写和上下角标的表示。

6. 插图(图题需提供中英文),图中如有外文要译成中文,插图精度为原大不小于 300dpi,插图格式为.tiff,.dwg 或矢量格式。

7. 表格,建议用三线表。给出表序和中文表题,表中有外文的要译成中文。

8. 参考文献,只列出已经公开出版、且在文中直接引用的主要文献。参考文献按文中出现的先后顺序编号。各类文献的著录格式请参阅《GBT 7714-2005 文后参考文献著录规则》。

9. 请勿一稿多投,稿件投递 90 天内未收到本刊稿件接受通知的,作者可自行处理,无论刊登与否恕不退稿,请作者自留底稿。

10. 请务必注明第一作者或联系人的详细通讯地址、邮政编码、办公电话、手机、传真、email 等联系方式,以便及时与作者沟通。

电话:010-85700465

传真:010-85700466

Email:ed@amte.net.cn

通信地址:北京市 340 信箱杂志社(100024)