

采用 Ti-15Cu-15Ni 钎料的 TiAl/42CrMo 钢接头组织及形成机理

陈波, 熊华平, 毛唯, 程耀永, 叶雷, 吴欣

(北京航空材料研究院, 北京 100095)

摘要: 采用 Ti-15Cu-15Ni 钎料对 TiAl 基合金与 42CrMo 钢进行真空钎焊连接。利用扫描电镜、能谱等分析方法研究 TiAl/42CrMo 钢接头的组织及成分分布。结果表明, TiAl/42CrMo 钢接头中分别在 TiAl 基合金母材和 42CrMo 钢附近形成过渡反应层区, 钎缝中出现 TiAl/TiCu(Ni), TiFe 等相。简单阐述接头的形成机理。

关键词: TiAl/42CrMo 钢; 钎焊; 组织

中图分类号: TG454

文献标识码: A

文章编号: 1005-5053(2006)03-0317-02

TiAl 基合金具有密度低、高温强度高特点, 是很有发展前途的高温结构材料, 可望在航空航天、汽车及军工领域得到广泛应用, 并希望部分取代传统的高温合金。本研究利用真空钎焊方法实现 TiAl 基合金与 42CrMo 钢的连接, 为将来的实际应用提供技术储备^[1,2]。

1 试验材料及方法

试验用 Ti-48Al-2Cr-2Nb 合金经真空熔炼后, 在 1200 °C/4h 氩气保护条件下进行热等静压处理, 确保铸态合金组织均匀, 合金成分示于表 1。42CrMo 钢为普通的商用材料。以 Ti-15Cu-15Ni 金属混合粉为钎料, 经测试, 该钎料液相线温度在 970 °C 左右, 所以钎焊工艺最好选为 1000 °C 以上, 本试验中钎缝预制间隙为 50 μm。焊后的金相试样经打磨、抛光和腐蚀后在 HITACHI-3500N 扫描电镜下观察, 同时用 Inca 能谱仪进行物相成分分析。

表 1 TiAl 基合金的化学成分 / wt%

Table 1 Chemical composition of the TiAl based metal

Al	Cr	Nb	Ti	Fe	C	O	N	H
31.55	2.63	4.85	Bal.	0.11	0.010	0.070	0.008	0.014

2 结果与讨论

图 1 给出了 1000 °C/5 min 条件下 TiAl 与 42CrMo 钢接头组织的二次电子像。从图可以看出, 接头界面结合良好, 接头宽度比预制间隙宽。TiAl

与钎缝之间的过渡反应层方向与母材板条组织方向一致, 表现为平行于钎缝方向。靠近 TiAl 侧的单一相区大约占据钎缝一半, 组织表现为均匀分布的单一组织。靠近 42CrMo 钢的枝状晶区占据钎缝的另一半, 形貌呈枝叶状, 表现为从 42CrMo 钢结晶之后向钎缝中心生长的枝状晶形状, 说明母材成分对接头组织形成有重要影响。

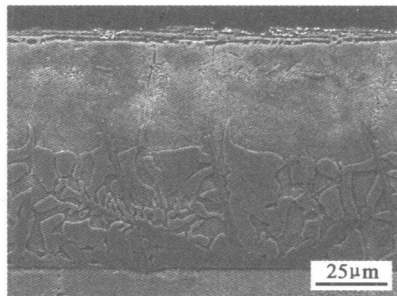


图 1 1000 °C/5 min 条件下的钎缝组织

Fig 1 Microstructure of the joint at 1000 °C for 5 min

表 2 给出了图 1 中特征点的成分和可能存在的相。从成分分布看, Al 和 Ti 在钎缝中分布较均匀, 只是在枝状晶顶端分布略减少; Fe 扩散到整个钎缝中, 并且在枝状晶顶端分布较多; Ni 和 Cu 分布情况类似, 都在靠近 42CrMo 钢的一侧的枝状晶中分布较多。通过这些钎缝特征区域的成分分布情况分析, 可以看到在钎焊的过程中钎料与两种母材均发生反应, 各元素向钎缝中扩散形成相应的物相。根据二元合金相图以及相关参考文献^[3], 在钎缝中可能形成了 TiAl/TiFe 以及 TiCu(Ni) 等相, 正是这些相的存在, 决定了钎缝组织特征。

收稿日期: 2006-02-20; 修订日期: 2006-03-29

作者简介: 陈波 (1979-), 硕士。

表2 1000 /5m in条件下接头的特征点成分 / a%

Table 2 Composition of the characteristic points of the joint at 1000 for 5m in

	Al	Ti	Cr	Fe	Ni	Cu	Nb	Mo	Deduced phases
Zone a	11.30	66.84	0.35	6.03	7.04	9.47	0.88	0.09	Ti-Al, Ti-Cu(Ni)
Zone b	7.97	51.53	0.77	13.08	13.22	13.33	0	0.09	Ti-Fe, Ti-Al, Ti-Cu(Ni)
Zone c	10.29	67.76	0.72	3.25	6.62	10.46	0.90	0	Ti-Al, Ti-Cu(Ni)

选用 1000 /5m in 规范来钎焊性能试样, 接头拉伸强度平均值为 95.1 MPa(表 3)。复杂的枝状晶组织在一定程度上影响接头性能。

表3 使用 Ti-15Cu-15Ni 获得接头的拉伸强度

Table 3 Tensile strength of the joints using Ti-15Cu-15Ni

Parameter	Tensile strength / MPa	
	Testing data	Average
1 [#]	99.4	95.1
2 [#] 1000 /5m in	90.7	

关于 Ti-Al/42CrMo 钢钎缝的形成机理可以简述如下: 在钎焊连接过程中, 当加热温度达到钎料 Ti-15Cu-15Ni 熔点时, 钎料发生熔化, 在毛细作用下流动并且填充整个钎缝。从热力学角度讲, 固液界面处从母材溶解下来的元素形成富集, 在整个熔化的钎料中产生浓度差, 钎缝靠近母材的地方母材成分元素浓度高, 钎缝中心母材成分元素浓度低, 但钎料本身成分浓度高, 这种浓度差的存在使母材成分与钎料成分间相互扩散, 使得各元素在整个钎缝上分布趋于均匀。在各元素扩散的过程中, 易亲和的元素发生反应, 形成相应的化合物。从二元合金相图看, Ti 易与 Al, Cu 和 Ni 等发生反应, 根据能谱得到的元素原子比例看, 这几种元素间可能形成了 Ti-Al, Ti-Cu(Ni) 等相, 在

Fe 含量高的区域(枝状晶顶端)可能形成 Ti-Fe 相。在随后的冷却过程中, 钎缝中依然存在合金元素的扩散, 那些在高温阶段处于饱和状态的元素将在冷却过程中随着溶解度的下降析出相应的相, 钎缝凝固结晶时晶粒主要沿着母材晶粒生长。以上分析说明元素的扩散决定了钎缝的组织特征。

3 结论

(1) 1000 /5m in 条件下采用 Ti-15Cu-15Ni 钎料的 Ti-Al/42CrMo 钢接头中出现了 Ti-Fe, Ti-Al 和 Ti-Cu(Ni) 等合金相, 导致出现分层组织, 接头拉伸强度平均值为 95.1 MPa。

(2) 接头中各合金元素扩散决定了钎缝的组织特征。

参考文献:

- [1] GUEDES A, PINTO A M P, VIEIRA M F. Microstructural characterization of Ti-Al joints [J]. Key Engineering Materials 2002, 230-232: 27-30.
- [2] 韩明, 康慧, 曲平. Ti-15Cu-15Ni 真空钎焊 Ti-Al 合金 [J]. 航天制造技术, 2004(4): 22-24.
- [3] 高强, 郭建亭, 刘午, 等. Ti-Al 合金与 42CrMo 扩散钎焊的界面组织及形成机理 [J]. 航空材料学报, 2003, 23(增刊): 51-54.

Microstructure and Bonding Mechanism of Ti-Al/42CrMo Steel Joints Using Ti-15Cu-15Ni Filler Metal

CHEN Ba, XIONG Hua-ping, MAO Wei, CHENG Yao-yong, YE Lei, WU Xin

(Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

Abstract Ti-15Cu-15Ni was chosen as filler metal for Ti-Al/42CrMo steel vacuum brazing. The microstructure and composition distribution of Ti-Al/42CrMo steel were examined by SEM and EDS. The results showed that the transitional intermetallic layer was formed at the interface close to Ti-Al and 42CrMo steel because of interdiffusion and interaction between the filler metal and the base metal. Ti-Al, Ti-Cu(Ni) and Ti-Fe were formed in Ti-Al/42CrMo steel joint. The bonding mechanism was discussed.

Key words Ti-Al/42CrMo steel; brazing; microstructure