

Al 合金与复合材料 LID 连接接头微观结构分析

曲文卿 张彦华

(北京航空航天大学 702 教研室 北京 100083)

王奇娟

(北京卫星制造厂 北京 100080)

文 摘 通过 SiC 颗粒增强 Al 基复合材料与 Al 合金的液相界面扩散(LID)连接试验,重点研究了连接接头区域的微观组织,并简要分析了接头中各元素的浓度分布情况。结果表明,LID 连接 Al 基复合材料和 Al 合金形成的界面明显向 Al 合金一侧偏移,并且溶质原子在界面两侧分布存在明显的不对称现象。研究结果为异种材料的连接提供了重要的科学依据。

关键词 异种材料,液相界面扩散连接,中间层,微观结构

Microstructure Analysis of LID Bonds of Al-alloy and Composite Material

Qu Wenqing Zhang Yanhua

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics Beijing 100083)

Wang Qijuan

(Beijing Satellite Manufacturing Factory Beijing 100076)

Abstract Microstructure of LID bonding area and concentration profile of the bonds are studied through the LID bonding tests of SiC particle reinforced Al-based composite and aluminium alloy. Experimental results show that the bond interface departs from original central line to aluminium alloy in the LID bonds of Al-based composite and aluminium alloy, and solute atoms distribute fairly asymmetrically around the joint area. The study provides a scientific basis for bonding of the dissimilar materials.

Key words Dissimilar material, LID bonding, Interlayer, Microstructure

1 引言

近年来,异种材料复合结构以其综合性能好的优势在航空航天、空间技术、微电子、石油化工等高新技术中得到了日益广泛的应用^[1],但是异种材料的连接由于材料物化、力学性能方面的差异存在许多问题:(1)严重的冶金不相容性;(2)接头性能较差,难以达到使用要求;(3)焊后容易产生严重的残余应力和应力集中等问题^[2]。近年来,随着特种连

接技术如扩散焊、电子束焊、激光焊、液相界面扩散(LID)连接等的发展,为异种材料的连接提供了良好的基础^[3]。

本研究主要进行了 Al 基复合材料与 Al 合金的 LID 连接试验,重点分析了异种材料连接界面区域的微观结构,并讨论了异种材料液相界面扩散连接的不对称现象。

2 试验材料及方法

收稿日期:2002-05-13;修回日期:2002-07-11

曲文卿,1972 年出生,博士研究生,主要从事焊接质量评定与接头完整性分析、异种材料界面连接力学失配性以及异种材料的钎焊、扩散连接和 ILP 连接等方面的研究

试验材料以 Al 合金为基体,添加了含量为 15 % (体积分数)、尺寸为 20 μm 的 SiC 颗粒作为增强体,增强 Al 基复合材料和 Al 合金,试件尺寸均为 22 mm \times 90 mm \times 2 mm。

LID 连接是在低于母材和中间层熔点的温度下,利用中间层熔化或中间层与母材发生低熔点共晶产生液相,然后通过扩散形成接头。该方法具有焊接温度低、时间较长、不需或只需很小压力等特点,是一种适合于异种材料连接的方法。从连接机理上讲,LID 连接方法也可以称之为过渡液相 (ILP) 扩散连接方法^[4~7],主要分为四个阶段:中间层的熔化、液相的均匀化、等温凝固、接头区的均匀化。

LID 连接不需要严格的表面处理,连接前,用机械清理的方法去除氧化层,然后用丙酮清除表面油污、残屑等杂质。本研究采用的连接工艺参数:中间层为铜箔,厚度为 30 μm ;连接温度为 565 ;真空度为 1×10^{-3} Pa \sim 3×10^{-3} Pa;连接时间为 3 h、6 h 和 9 h。LID 连接试验后,对试件进行剪切试验,并应用 SEM 和 EDS 技术对复合材料与 Al 合金的 LID 连接接头进行界面微观结构观察和成分分析。

3 结果与分析

剪切试验结果表明,复合材料与 Al 合金的 LID 连接接头平均剪切强度为 40 MPa,最高达到了 69 MPa,说明两种材料已经形成了有效的连接。

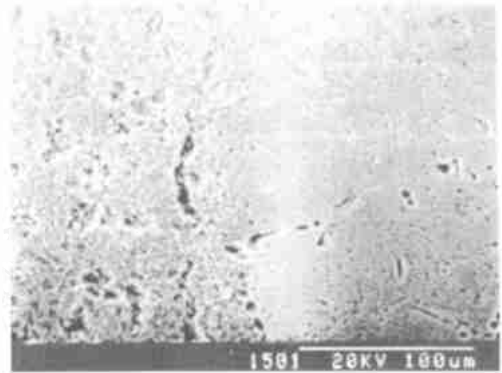
3.1 接头微观组织形貌

图 1 给出了连接温度为 565 、连接时间分别为 3 h 和 6 h 工艺条件下的复合材料与 Al 合金 LID 连接接头的组织形貌。

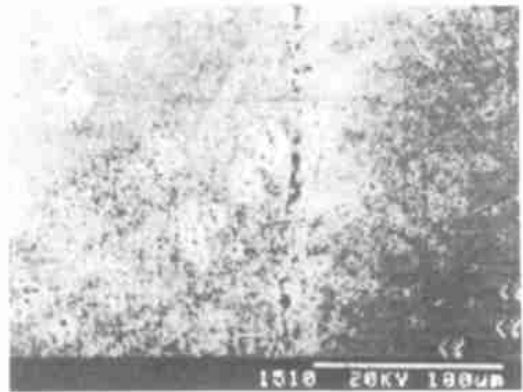
从图中可以看出,在 SiC 颗粒增强 Al 基复合材料与 Al 合金 LID 扩散连接接头区域,界面两侧组织明显不同,说明中间层已经和两侧母材发生共晶反应,完全扩散到两侧母材中,并且形成了一个连接界面;另外从接头外观上观察,连接界面明显向 Al 合金一侧偏移,并且偏移量达到了 40 μm 左右。

为了更清楚地比较界面两侧材料的组织差别,图 2 和图 3 给出了连接时间为 9 h 复合材料与 Al 合金 LID 连接接头远离界面 (1 mm 以外) 的 Al 合金和复合材料的金相组织。图中可以清楚地看到,Al 合金与复合材料母材均没有发现过烧现象。图 2 (Al

合金一侧) 中存在 4 个晶粒,晶界也非常明显,而图 3 (复合材料一侧) 中没有明显的晶粒和晶界的存在, SiC 颗粒和 Al 合金基体弥散混合在一起。



(a) 连接时间 3 h



(b) 连接时间 6 h

图 1 Al 合金与复合材料 LID 连接接头的微观组织
Fig. 1 LID bond microstructure of aluminium alloy with composite

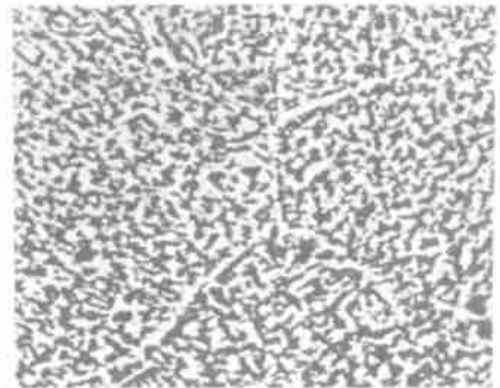


图 2 LID 连接接头的 Al 合金微观组织 800 \times
Fig. 2 Microstructure of aluminium alloy far from the interface

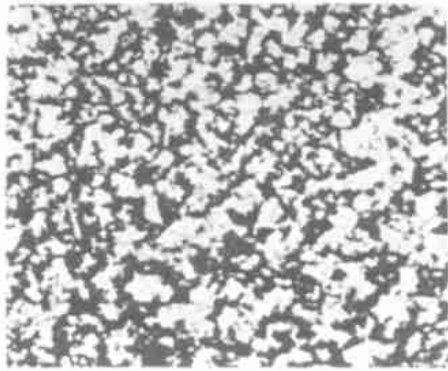


图3 LID 连接接头的复合材料组织 800 ×

Fig. 3 Microstructure of composite material far from the interface

3.2 微观组织成分测定

为了确定连接界面的复合材料一侧的组织成分,图4给出了连接界面附近(20 μm ~ 100 μm)复合材料一侧的微观组织。微观组织中存在着白色和黑色两种组织成分,通过 EDS 对其进行了成分测定,结果见表1。

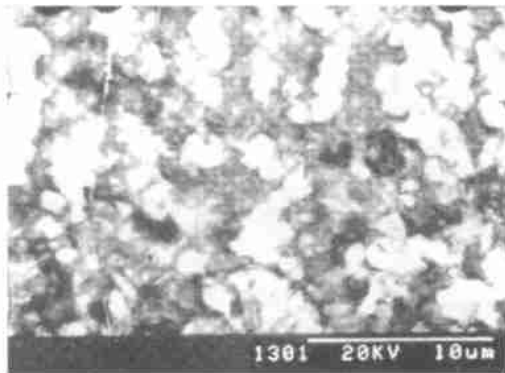


图4 LID 连接界面附近复合材料一侧的微观组织

Fig. 4 Microstructure of composite near the interface

表1 微观组织中白色、黑色两相的成分分析

Tab.1 Content analysis of white and black phases

| 元素 | 白色部分 | 黑色部分 |
|----|-------|-------|
| O | 15.95 | 3.70 |
| Mg | 0.36 | 1.15 |
| Al | 45.88 | 86.28 |
| Si | 18.50 | 3.94 |
| Cu | 19.31 | 4.93 |

由表1可知,白色、黑色两相主要成分(O、Al、Si和Cu)差异巨大,白色组织中O、Si和Cu三种元素含量明显高于黑色组织;而黑色组织中主要由Al元

素构成,说明该组织可能为Al合金基体构成,由于Cu元素在该组织中扩散能力较差,造成Cu元素含量较少;而在白色组织中Cu元素含量高,说明Cu在该组织中的扩散速度大。从扩散理论中可知,溶质原子在晶界的扩散远远大于在晶粒中的扩散,并且Si元素含量很高,表明该组织可能主要由SiC颗粒与类晶界组织构成。

3.3 界面微观结构观察

图5给出了连接时间为9h的复合材料与Al合金LID连接接头的微观组织。图6是图5中界面区域的组织性貌,其界面宽度约为12 μm,界面结构中分布着大量的小于10 μm的微裂纹。

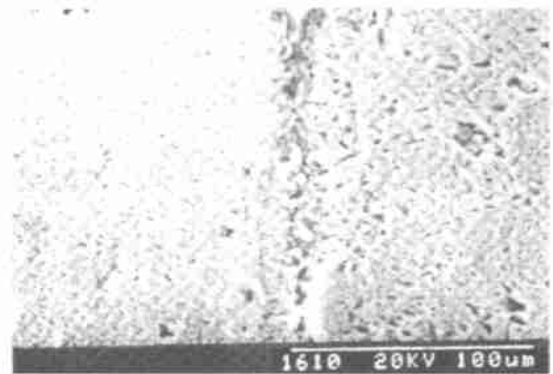


图5 复合材料与Al合金连接接头的微观组织

Fig. 5 LID bond microstructure of aluminium alloy with composite

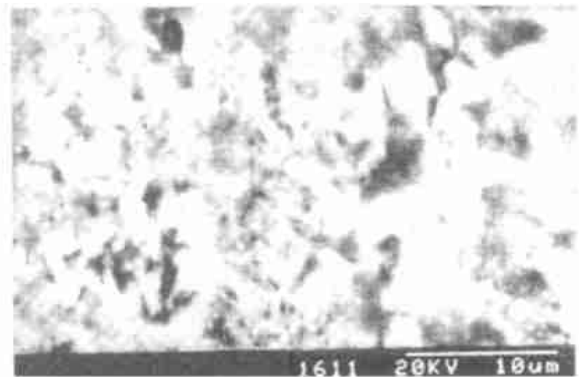


图6 复合材料与Al合金的界面微观组织

Fig. 6 Microstructure of LID bonding interface between composite and aluminium alloy

3.4 溶质原子浓度分布

图7和图8给出了在不同连接时间下Al合金与复合材料的LID连接接头区域Cu原子与Si原子的浓度分布情况。

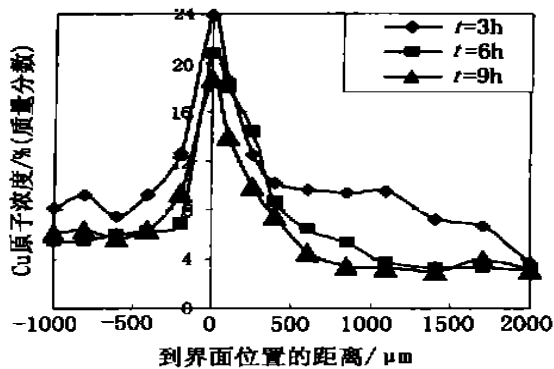


图7 不同连接时间下LID连接区Cu原子浓度分布
Fig.7 Concentration profile of copper element in LID bonded area under different bonding time

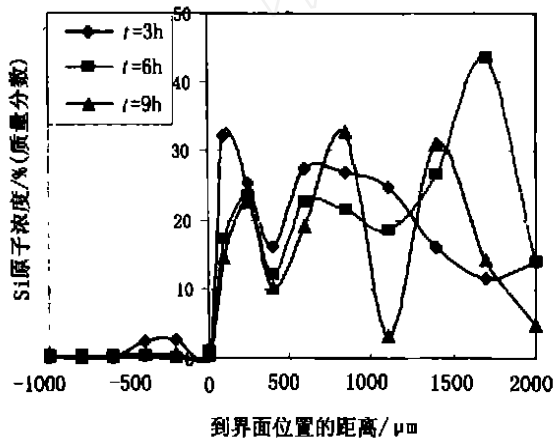


图8 不同连接时间下LID连接区Si原子浓度分布
Fig.8 Concentration profile of silicon element in LID bonded area under different bonding time

由图7可以看出,随着连接时间的增长,界面上Cu原子的浓度在逐渐降低。并且Cu在界面两侧材料中的分布存在不均匀现象,在界面两侧500 μm的区域内,界面左侧(Al合金一侧)Cu原子浓度分布稍低于界面右侧(复合材料一侧)相应位置的Cu原子的浓度分布,可能是由于溶质原子在界面两侧材料中的扩散速率的不同,导致最后形成的界面不和原始中间层中心线重合,也就是说界面两侧材料不对称。

从图8中可以观察到,从界面处开始向Al合金一侧Si原子的含量急剧降低,说明Al合金中的Si原子含量较少,而在界面右侧(复合材料一侧)Si原子的浓度非常高,并且分布并不均匀,有许多波峰波

谷的存在,这可能是由于成分测试过程中,测试点的不同而造成的,当能谱分析点落在SiC颗粒周围,则造成Si含量的升高,而落在其它区域,则Si含量降低,从而在接头区域中分布不对称。

另外,根据前面分析可知,LID连接界面偏离了原始中心线,也就是说中间层熔解和液相区均匀化过程中,中间层、Al合金以及复合材料都发生了互熔现象,形成了过渡液相;液相等温凝固过程中由于溶质原子在复合材料中扩散速率要比在Al合金中快得多,使得液固界面向Al合金一侧推进,导致各原子向Al合金一侧聚集,形成界面向Al合金一侧偏移的接头。

4 结论

利用Cu为中间层能够成功的连接SiC颗粒增强Al基复合材料和Al合金;异种材料LID连接产生的一个最重要的现象就是溶质原子在界面两侧分布极不均匀,从而造成异种材料LID连接过程的不对称现象;以Cu为中间层LID连接Al基复合材料和Al合金,最后形成的界面明显向Al合金一侧偏移,并且偏移量达到了40 μm左右。此研究结果为异种材料连接的工程化提供了依据,对于确保异种材料扩散连接质量与可靠性具有重要的工程意义。

参考文献

- 1 赵稼祥. 先进复合材料的进展与展望. 见: 第九届全国复合材料学术会议论文集(上). 北京, 1996: 21~23
- 2 何康生, 曹雄夫. 异种金属焊接. 机械工业出版社, 北京, 1986
- 3 林丽华等. 金属基复合材料焊接技术及其发展动向. 材料科学与工程, 1997; 15(3): 23~28
- 4 Duvall D S, Owczarski W A, Pauldnis D F. LID bonding: a new method for joining heat resistant alloys. Welding Journal, 1974; 53(4): 203~214
- 5 MacDonald W D, Eagar T W. Transient liquid phase bonding. Annu. Rev. Mater. Sci., 1992; (22): 23~46
- 6 MacDonald W D, Eagar T W. Isothermal solidification kinetics of diffusion brazing. Metall. Trans., 1998; 29A(1): 315~325
- 7 Tuahr Poku, Dollar M, Massalaki T B. A study of the transient liquid phase bonding process applied to Ag/Cu/Ag sandwich joint. Metall. Trans., 1988; 19A(2): 675~686

(编辑 李洪泉)