

# Ti-Ni 合金对 SiC<sub>p</sub>/Al MMCs 等离子弧 原位焊接焊缝性能的影响

雷玉成, 聂加俊, 张 振, 陈希章  
(江苏大学 材料科学与工程学院, 江苏 镇江 212013)



雷玉成

**摘 要:** 以 Ti-Ni 合金作为添加材料, 采用氦氩混合等离子气对 SiC<sub>p</sub>/Al 基复合材料进行等离子弧原位焊接。结果表明, 添加 Ti-Ni 合金进行等离子弧原位焊接, 在焊缝组织中生成了新的增强颗粒 TiN, TiC, AlN, Al<sub>3</sub>Ti 和 Al<sub>3</sub>Ni; 未发现明显的针状相生成, 有效的抑制了脆性相 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, 并且接头组织致密, 结合较好。Ni 元素的添加, 降低了 SiC 溶解程度, 使得熔池中的结晶热显著提高, 改善了熔池的流动性。同时在焊缝组织中形成了新的增强相 AlN, Al<sub>3</sub>Ni, 从而有效地提高接头的力学性能。采用 Ti-Ni 合金进行等离子弧原位焊接, 接头的抗拉强度为 215.4 MPa, 达到母材强度的 67.3%。

**关键词:** SiC<sub>p</sub>/Al 基复合材料; 等离子弧; 原位焊接; Ti-Ni 合金

**中图分类号:** TG456      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0253-360X(2008)10-0013-04

## 0 序 言

SiC<sub>p</sub>/Al 基复合材料由于具有优异的物理、力学综合性能, 而广泛应用于航天、航空、汽车和制造业等领域, 被认为是一种具有广泛潜在应用前景的新结构材料。同其它结构材料一样, SiC<sub>p</sub>/Al 基复合材料在实际中的应用, 也往往受制于二次加工工艺性能的限制<sup>[1-3]</sup>。SiC<sub>p</sub>/Al 基复合材料的颗粒 SiC 与 Al 元素容易发生界面反应生成 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>。Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> 是一种脆性相, 它的产生严重损害了材料的力学性能。在焊接过程中, 以钛片为填充材料, 对 SiC<sub>p</sub>/Al 基复合材料进行等离子弧原位焊接, 在熔池冶金反应中, 钛优先与碳结合形成高稳定的碳化物从而抑制了脆性相 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> 的生成。但在焊缝中仍然存在未熔合、气孔、裂纹等缺陷<sup>[4,5]</sup>, 为了更好地改善材料的界面反应和焊缝的性能, 以 Ti-Ni 合金为填充材料, 选择不同成分组成(第一种是钛的质量分数为 40%, 镍的质量分数为 60%, 第二种是钛的质量分数为 60%, 镍的质量分数为 40%), 以氦、氮混合气体作为等离子气, 在相同的焊接工艺条件下, 对复合材料进行原位焊接, 以期改善焊缝组织, 提高接头的性能。

## 1 试验方法

试验材料为挤压铸造法制造的以 SiC 为增强相的 6061Al 基复合材料(SiC<sub>p</sub>/Al MMCS), 其中强化相颗粒直径为  $\phi 6\mu\text{m}$  左右, 体积百分数为 10%, 在基体中分布不均匀。其化学成分见表 1。拉伸试验测定其断裂强度为 320 MPa, 材料厚度为 3.5 mm。显微组织如图 1 所示。

表 1 基体材料的化学成分(质量分数, %)  
Table 1 Chemical composition of aluminum alloy

Cu	Mg	Mn	Ni	Si	Ti	Al
0.35	0.89	≤0.15	<0.05	0.65	<0.05	余量

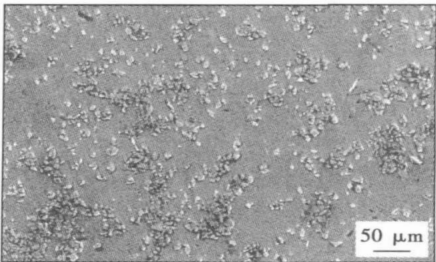


图 1 SiC<sub>p</sub>/6061Al MMCs 显微组织

Fig. 1 Microstructure of SiC<sub>p</sub>/6061Al MMCs

试验所用填充材料 Ti 和 Ni 元素是按质量配比

收稿日期: 2007-09-18  
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50475126); 先进焊接技术江苏省重点开放研究基金课题(JSAWT-07-04); 江苏大学科技创新团队资助项目

为 4: 6 和 6: 4 放入高真空吸铸系统真空熔炼而成的 Ti-Ni 合金。

试验使用钨极氩弧焊机 AC/DC TIG 500 GP 和 HPT-8 等离子焊枪进行焊接。焊前在基体中间开 V 形坡口, 用 150 号砂纸进行打磨以去除氧化膜, 然后用丙酮进行清洗。焊完后在试件的横断面(与焊接方向垂直面)上制取金相试样, 用 3% ~ 5% 的 keller 溶液腐蚀后用 S-570 线性扫描电子显微镜(SEM)观察焊缝的显微组织, 用 D<sub>max</sub>-1B 旋转阳极 X 射线衍射仪(XRD)观察焊缝组织结构。拉伸试验在美国 Instron 公司生产的万能试验机上进行, 拉伸速度为 0.5 mm/min, 按照国家标准 GB/T 228-2002 进行拉伸试验。用扫描电镜观察拉伸试样的断口并拍摄 SEM 电镜照片。相关焊接工艺参数见表 2。

表 2 焊接工艺参数  
Table 2 Welding parameters

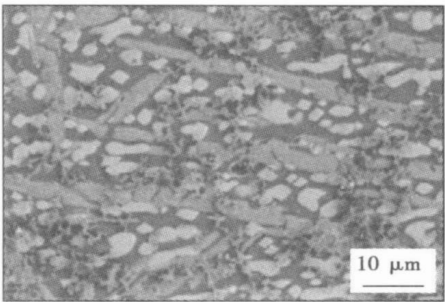
保护 气流量	离子 气流量	氩氮 体积比	焊接 速度	焊接 电流
$Q_2/(L \cdot \min^{-1})$	$Q_1/(L \cdot \min^{-1})$	$V_1: V_2$	$v/(mm \cdot \min^{-1})$	$I/A$
5 ~ 15	2 ~ 5	5:1	80 ~ 150	80 ~ 130

## 2 试验结果及分析

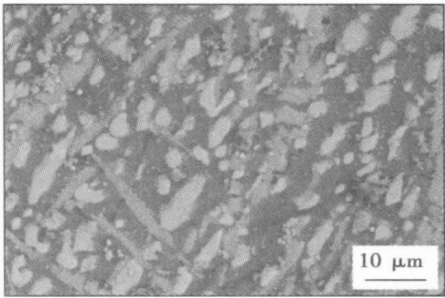
### 2.1 焊接接头组织观察

图 2a 为填加 Ti-40Ni 合金(60%Ti, 40%Ni)对 SiC<sub>p</sub>/Al 基复合材料进行等离子弧原位焊接时焊缝中心区的微观组织形貌, 可以看出, 焊缝组织结构致密, 焊缝中物质之间的界面分明, 颗粒分布比较均匀, 没有发现气孔和裂纹等缺陷, 在焊缝中存在着灰色条状物质, 结合 XRD 组织图分析, 灰色的条状物质是 Al<sub>3</sub>Ti, 细小块状是 TiC, 同时在焊缝中分布着一些不规则的颗粒, XRD 图像分析表明, 这些不规则的新生相颗粒为 TiN, AlNi 和 Al<sub>3</sub>Ni。另外, 在局部还有黑色块状物质。这些黑色物质零散分布于焊缝中, 成分分析可以得出黑色物质是母体增强相 SiC 溶解析出了 Si 单质, 在焊缝区的组织中未发现明显的针状脆性相 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> 的存在。

图 2b 为填加 Ti-40Ni 对 SiC<sub>p</sub>/Al 基复合材料合金进行等离子弧原位焊接时熔合区的微观组织形貌, 和焊缝中心区相比较, 熔合区的颗粒小些, 灰色的条状物质减少, 同时未发现像焊缝中心区析出黑色物质 Si 单质。总体看来熔合区中组织结构致密, 颗粒分布比较均匀。在其中也未发现针状脆性相 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> 存在。



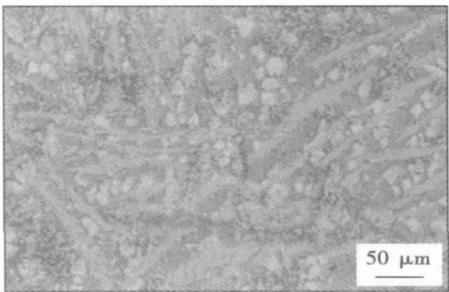
(a) 焊缝区



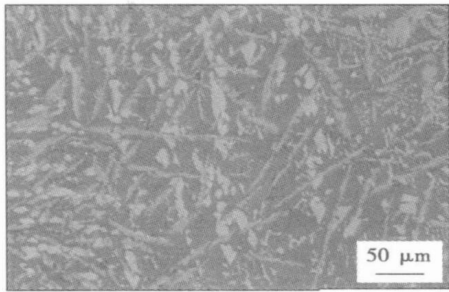
(b) 熔合区

图 2 填加 Ti-40Ni 合金时焊缝显微组织 SEM 形貌  
Fig. 2 SEM photograph of welded joint with Ti-40Ni alloy

图 3a, b 为填加 Ti-60Ni (40%Ti, 60%Ni)对 SiC<sub>p</sub>/Al 基复合材料进行等离子弧原位焊接时焊缝中心区、熔合区的微观组织形貌; 焊缝中心区也出现了灰



(a) 焊缝区



(b) 熔合区

图 3 填加 Ti-60Ni 合金时焊缝显微组织 SEM 形貌  
Fig. 3 SEM photograph of welded joint with Ti-60Ni alloy

色的条状物质是 Al<sub>3</sub>Ti 和细小块状 TiC, 同时在焊缝中分布着一些不规则的新生相颗粒 TiN, AlNi 和 Al<sub>3</sub>Ni, 但在其中发现了少量针状脆性相 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, 在熔合区可以看到颗粒变小, 针状物质变多, 颗粒的分布不太均匀。

分析比较可知, 采用 Ti-40Ni 的焊缝中心区灰色的条状物质 Al<sub>3</sub>Ti 明显变多, 同时不规则的新生相颗粒 AlNi 和 Al<sub>3</sub>Ni 在焊缝中不多, 局部产生黑色块状物质少了些; 主要是因为 Ti 元素的含量的增加使得焊缝中的含 Ti 的化合物增多, Ni 元素的减低使得产生新生颗粒 AlNi 和 Al<sub>3</sub>Ni 减少, 在熔合区颗粒的分布比较均匀, 组织结构相对致密, 并且未发现明显的针状脆性相 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, 可以看出 Ti 元素含量增加可以有效的抑制脆性相 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> 的生成。

2.2 焊缝组织及增强相

焊接过程中, 熔池内的各种元素构成一个合金体系, 熔池的流动性主要与其化学成分所决定, 而熔池具有较好的流动性, 有利于熔池中的气体的扩散逸出, 降低了气孔产生的几率, 从而得到的焊缝组织致密, 没有气孔、微观裂纹等缺陷, 对提高焊缝的力学性能有很大的帮助<sup>[9]</sup>。与以前的以钛片为填充材料的研究相比, 熔池合金体系内加入 Ni 元素, 使得熔池中的结晶热有显著提高, 改善了熔池的流动性, 从而得到良好的焊接接头。图 4 为添加 Ti-40Ni 对 SiC<sub>p</sub>/Al 基复合材料进行等离子弧原位焊接时焊缝组织 XRD 图。可以看出焊缝中存在 α-Al, TiN, TiC, AlN, Al<sub>3</sub>Ti, Al<sub>3</sub>Ni 和 AlNi 等相, 在组织中未发现脆性相 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>。这表明以 Ti-Ni 合金对 SiC<sub>p</sub>/Al 基复合材料进行等离子弧原位焊接可以抑制脆性相的生成, 同时也产生新的增强相, 提高焊缝的性能。在焊缝组织中出现的黑色的颗粒状 Si 单质在 XRD 图中衍射峰不明显, 在黑色颗粒状物质周围出现的灰色片状物质因为很少, 所以在图中未能显示出来。

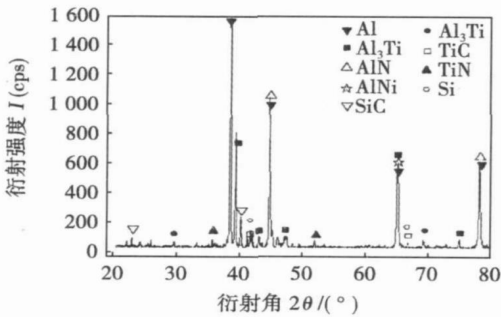


图 4 添加 Ti-Ni 合金等离子弧原位焊接接头组织 XRD

Fig. 4 XRD of welded joint adding Ti-Ni alloy

2.3 焊接接头强度分析

采用 Ti-Ni 合金为添加材料对 SiC<sub>p</sub>/Al 基复合材料进行等离子弧原位焊接, 接头的抗拉强度为 215.4 MPa, 而采用 Ti-60Ni 作为填充材料, 接头的抗拉强度为 203.6 MPa, 这是因为采用 Ti-40Ni 作为填充材料, 焊缝中产生的增强相 TiN, TiC, AlN 和 Al<sub>3</sub>Ti 明显多于 Ti-60Ni 为填充材料时焊缝增强相, 同时, Ti 元素的增加使脆性相 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> 变少, 也大大的提高了 Ti-40Ni 的力学性能。

在以前的研究中, 以纯钛片为填充材料对 SiC<sub>p</sub>/Al 基复合材料进行等离子弧原位焊接, 得到的接头的最大抗拉强度为 220 MPa, 现在采用的 Ti-Ni 合金最大抗拉强度为 215.4 MPa, 低于纯钛片的抗拉强度。这是因为虽然添加材料 Ti-40Ni 合金在焊接过程中也形成了新的增强相, 但是生成的 TiC, AlN, TiN, Al<sub>3</sub>Ti 并不多, 同时新相 Al<sub>3</sub>Ni 和 AlNi 的强度低于纯钛形成的 TiC, TiN 和 Al<sub>3</sub>Ti。图 5 为填充材料 Ti-40Ni 合金进行等离子弧原位焊接时试样拉伸断口, 气孔、裂纹等缺陷较少, 而且断口中颗粒与基体结合紧密, 表现出一定的韧性, 但总体上体现出脆性断裂形貌。

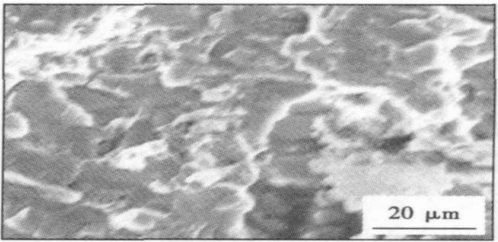


图 5 添加 Ti-Ni 合金时接头断口

Fig. 5 Fractograph of welded joint with Ti-Ni alloy

Ti-40Ni 合金为填充材料得到的焊接接头的强度只达到母材的 67.3% (母材抗拉强度 320 MPa), 在焊接过程中, 虽然焊缝中形成新的物质, 其强化效果不及颗粒 SiC, 同时焊缝组织中长条状 Al<sub>3</sub>Ti, TiC 和颗粒偏聚对焊缝的力学性能有重要的影响, 颗粒偏聚会削弱界面层而使之成为裂纹源, 降低接头的性能。长条形状的 Al<sub>3</sub>Ti 贯穿整个晶粒, 对基体的连续性有较大的破坏作用<sup>[7]</sup>, 而且母材中颗粒增强相比形成的新颗粒分布要均匀许多, 所以接头性能仍然难以达到母材的强度。

从以上可以得出结论, 添加 Ti-40Ni 合金对 SiC<sub>p</sub>/Al 基复合材料进行等离子弧原位焊接过程中, 影响接头强度的主要因素是焊缝组织中的颗粒偏聚

和出现长条状的  $\text{Al}_3\text{Ti}$  相, 以及新生的颗粒增强相的强度低于  $\text{SiC}$  颗粒的强度。

#### 2.4 Ni 元素对焊缝组织性能的影响

众所周知, 对  $\text{SiC}_p/\text{Al}$  基复合材料熔化焊接存在的主要问题就是在焊接过程中生成针状的脆性相  $\text{Al}_4\text{C}_3$ , 使得焊缝的力学性能大大降低, 是抑制  $\text{Al}_4\text{C}_3$  成为  $\text{SiC}_p/\text{Al}$  基复合材料熔化焊焊接成功的关键。以前的研究工作表明, 提高母材中元素 Si 和 C 的活度可以降低  $\text{SiC}$  颗粒在焊接过程中的溶解, 填加强碳化物形成元素能够有效的抑制脆性相的生成<sup>[8,9]</sup>。

在以前的试验中已经采用了钛丝为焊接材料对  $\text{SiC}_p/\text{Al}$  基复合材料进行等离子弧焊接, 在焊缝组织中发现了比较多的单质硅和硅的化合物, 它们的产生是由于母材中颗粒增强相  $\text{SiC}$  的大量溶解所形成的。采用填充材料 Ti-Ni 合金对  $\text{SiC}_p/\text{Al}$  基复合材料进行等离子原位焊接, 焊缝组织中虽然也发现了单质硅和硅的化合物, 但是少得多, 在图 2 焊缝区中心, 黑色颗粒的单质硅零星分布, 在其周围出现的灰色片状硅的化合物也不多, 说明焊接过程中颗粒  $\text{SiC}$  的溶解少了。这是因为 Ni 元素有效的提高了 Si 元素和 C 元素的活度, 降低了  $\text{SiC}$  的溶解<sup>[10]</sup>, 但是无法完全抑制  $\text{SiC}$  的溶解, 所以还是有部分  $\text{SiC}$  颗粒溶解, 使一些碳和硅单质析出, 但是在焊缝组织中未发现碳, 同时也未发现明显的脆性相  $\text{Al}_4\text{C}_3$ , 主要是因为析出的碳单质与相对活泼金属钛发生反应生成了强碳化物  $\text{TiC}$ 。同时添加的 Ni 元素与 Al 元素发生反应生成新相  $\text{Al}_3\text{Ni}$  和  $\text{AlNi}$ , 提高了焊缝力学性能, 实现了“原位”焊接原理。

从上面可以得出 Ni 元素在对  $\text{SiC}_p/\text{Al}$  基复合材料进行等离子焊接过程中, 有降低  $\text{SiC}$  增强相溶解的作用, 同时形成了新的增强相  $\text{AlNi}$  和  $\text{Al}_3\text{Ni}$ 。

### 3 结 论

(1) 采用氮、氩混合离子气, 填加 Ti-Ni 合金对  $\text{SiC}_p/\text{Al}$  进行等离子弧原位焊接时, 随着 Ti 元素含量增加焊缝组织致密, 焊缝中未发现脆性相  $\text{Al}_4\text{C}_3$  存在, 接头整体质量较好, 焊缝中获得  $\alpha\text{-Al}$ ,  $\text{TiN}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{Al}_3\text{Ti}$ ,  $\text{Al}_3\text{Ni}$  和  $\text{AlNi}$  等相。

(2) 填加 Ti-40Ni 合金进行等离子弧原位焊接, 焊接接头最大抗拉强度达到了 215.4 MPa, 为母材强度的 67.3%。拉伸断口中有一些韧窝。

(3) 以 Ti-Ni 合金为填充材料对  $\text{SiC}_p/\text{Al}$  基复合材料进行等离子弧原位焊接, Ni 元素降低了  $\text{SiC}$  的溶解程度, 同时在焊缝组织中形成了新的增强相  $\text{AlNi}$  和  $\text{Al}_3\text{Ni}$ 。

#### 参考文献:

- [1] Yan Jiuchun, Xu Zhiwu, Wu Gaohui, *et al.* Interface structure and mechanical performance of TIP bonded joints of  $\text{Al}_2\text{O}_3/6061\text{Al}$  composites using Cu/Ni composite interlayers[J]. *Scripta Materialia*, 2004, 51(2): 147—150.
- [2] Ellis M B D. Joining of aluminum based metal matrix composites[J]. *International Material Reviews*, 1996, 41(2): 41—58.
- [3] 袁为进. 合金化填充材料 Ti 及工艺参数对  $\text{SiC}_p/6061\text{Al}$  等离子弧焊焊缝组织及性能的影响[D]. 镇江: 江苏大学, 2005.
- [4] 雷玉成, 袁为进, 朱 飞, 等. 等离子弧焊接  $\text{SiC}_p/\text{Al}$  基复合材料焊缝“原位”合金化分析[J]. *焊接学报*, 2005, 26(12): 13—16.
- [5] 雷玉成, 李 贤, 陈 刚, 等.  $\text{N}_2$  在等离子弧原位焊接  $\text{SiC}_p/\text{Al}$  基复合材料中的作用[J]. *中国有色金属学报*, 2007, 4(97): 567—570.
- [6] 黄恢元. 铸造手册: 铸造非铁合金[M]. 北京: 机械工业出版社, 1983.
- [7] 赵玉厚, 严 文, 周敬恩.  $\text{Si}$ ,  $\text{Mg}$  对原位铝基复合材料中增强体  $\text{Al}_3\text{Ti}$  形貌的影响[J]. *兵器材料科学与工程*, 2001, 24(2): 34—37.
- [8] 陈永来, 尚敏佳, 于利根, 等.  $\text{SiC}_p/6061\text{Al}$  金属基复合材料焊缝“原位”合金化激光焊接研究[J]. *应用激光*, 1999, 19(5): 289—292.
- [9] Wang H M, Chen Y L, Yu L G. “In-situ” weld-alloying laser beam welding of  $\text{SiC}_p/6061\text{Al}$  MMC[J]. *Materials Science and Engineering* 2000, 293(3): 1—6.
- [10] 陈永来, 于利根, 王华明. 合金化填充材料 Ni 对  $\text{SiC}_p/6061\text{Al}$  复合材料激光焊接焊缝显微组织影响[J]. *复合材料学报*, 2000, 17(4): 63—65.

作者简介: 雷玉成, 男, 1962 年出生, 博士, 教授, 博士生导师。主要从事焊接工艺及设备、焊接过程控制及模拟、先进连接技术等方面的研究与开发。发表论文 70 余篇。

Email: yclei@uj.sjtu.edu.cn

## MAIN TOPICS, ABSTRACTS & KEY WORDS

### Interface structure of $N_2$ -shielded furnace brazing of Al foam and its mechanical properties

WANG Hui, HE Deping, CHU Xuming, HE Siyuan (School of Materials Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China). p1—4, 8

**Abstract:**  $N_2$ -shielded furnace brazing of Al foam was studied experimentally and the microstructure of brazing interface and elements distribution were analyzed by SEM, EDS and optical microscope. Furthermore, morphology of brazing zone was observed by scan model of X-CT and the 3D image of interface was reconstructed. The mechanical properties and the relationship between joint strength and porosity of Al foam were also investigated. The results show that the brazing method does not change the pore structures of Al foam in brazing zone. The brazing interface consists of the intersection points between cell walls of two Al foams and the microstructure in the middle of brazing zone is Al-Si eutectic while near the interface is the  $\alpha_{Al}$  dendrite. The tensile strength of joint closes to that of the base. Brazed area of interface increases with increasing of the Al foam plateau amount, which matches well with the theoretic calculation results when the porosity is over 88%.

**Key words:** Al foam;  $N_2$ -shielded furnace brazing; mechanical property; porosity

### Influence of Bi on the melting point and wettability of Sn-0.3Ag-0.7Cu lead-free solder

SUN Fenglian<sup>1</sup>, HU Wengang<sup>1</sup>, WANG Lifeng<sup>1</sup>, MA Xin<sup>2</sup> (School of Materials Science & Engineering, Harbin university of Science and Technology, Harbin 150040, China; 2. Yik shing Tat Industrial Corporation limited Company, Shenzhen 518101, Guangdong, China). p5—8

**Abstract:** The influences of Bi on the melting point and wettability of Sn-0.3Ag-0.7Cu lead-free solder alloy were studied. The contrastive experiments and analysis on the melting point, wettability of Sn-0.3Ag-0.7Cu-xBi ( $x=0, 1, 3, 4, 5$ ) solders were carried out by differential scanning calorimetry and wetting balance equipment. Results show that the addition of Bi can decrease the melting point and improve the wettability of Sn-0.3Ag-0.7Cu lead-free solder alloy. But the amount of Bi should be limited. Because the excess element of Bi could increase the melting range of solder, decrease the plasticity of solder and result in the flaw of fillet lifting. Sn-0.3Ag-0.7Cu-3.0Bi lead-free solder performed an excellent comprehensive properties.

**Key words:** lead-free solder; melting point; wettability; fillet lifting

### Structure and property analysis of brazing interface of domestic ceramic and stainless steel

LI Zhuoran<sup>1</sup>, FENG Jicai<sup>1</sup>, GU Wei<sup>2</sup> (1. State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. Harbin Turbine Company Limited, Harbin 150046, China). p9—12

**Abstract:** Domestic ceramics have been chemically plated

nickel and the brazing of ceramics plated nickel with 1Cr18Ni9Ti stainless steel was realized. Interfacial structures and properties of ceramic/Ni/Sr-3.5Ag/stainless steel joint in atmosphere were analyzed by some test methods such as scanning electron microscopy (SEM), energy distribution spectrometer (EDS), X-ray diffraction (XRD), shear stress test and so on. The results show that the joint of chemical plated nickel ceramics with 1Cr18Ni9Ti stainless steel is a multilayer compound structure. Plated nickel layer generated interfacial reaction with tin based solder and the productions of interface reaction are  $Ni_3Sn_4$  intermetallic compound and tin base solution. Shear strengthen of the joint is up to 15.7 MPa when soldering temperature and time are 300 °C and 5 min respectively. This method is low cost and convenient for batch production. Thus, it broadens the use range of domestic ceramics and has certain applied value.

**Key words:** ceramics; chemical plating nickel; brazing

### Effects of Ti-Ni on properties of plasma arc “in-situ” welding for $SiC_p/Al$ MMCs

LEI Yucheng, NIE Jiajun, ZHANG zhen, CHEN Xizhang (School of Material Science and Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu, China). p13—16

**Abstract:** Plasma arc “in-situ” welding of  $SiC_p/Al$  MMCs were carried out using argon-nitrogen mixture as plasma gases with Ti-Ni alloying as “in-situ” material. The results showed that the new composite reinforced phases are produced in the seam, such as TiN, TiC, AlN,  $Al_3Ti$ ,  $Al_3Ni$ , which ensured the quality of joints, but the needle-like brittle phases  $Al_4C_3$  is not found, the metal Ni reduced the solubility of  $SiC_p$  and increased the crystallization heat greatly, which improved the fluidity of weld pool. The new reinforced phases like AlNi,  $Al_3Ni$  improve the mechanical properties of weld seam effectively. The mechanical testing results showed that the maximum tensile strengths obtained with Ti-Ni alloy as “in-situ” material are 215.4 MPa, which is about 67.3% of the base metal strength.

**Key words:**  $SiC_p/Al$  MMCs; plasma arc; “in-situ” welding; Ti-Ni alloy

### Effect of hydrogen treatment on microstructures and properties of weld metal in TA15 alloy

WANG Qing, XU Ran, SUN Dongli (School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China). p17—20

**Abstract:** In order to research the influence of hydrogen treatment on weld joints of TA15 titanium alloy, the transformations of microstructures and phase compositions in the fusion area of the weld joints at different processes of hydrogen treatment were analyzed using OP, XRD and TEM, and tensile properties of the weld joints at the room temperature were tested. The results showed that  $\delta$  hydride was formed, which has a face centered cubic structure after hydrogenising at 800 °C for 30 min. A lot of metastable phase  $\beta'(H)$  and rhombic martensite phase  $\alpha''$  were generated in the process of hydrogenization at 800 °C for 30 min. They decomposed to  $\alpha$  and  $\delta$