

TiC/Al复合材料在锌液中均匀化机理分析

王 香¹ 于德志² 连晓明¹ 李庆芬¹

(1 哈尔滨工程大学机电工程学院, 哈尔滨 150001)

(2 青岛华威风力发电有限公司, 青岛 266061)

文 摘 采用自蔓延高温合成 (SHS) 法制备高 TiC 颗粒含量的 TiC/Al 复合材料。利用自制的实验装置研究复合材料中 TiC 颗粒在静止锌液中的均匀化过程。结果表明: 当锌液温度低于铝的熔点时, TiC/Al 复合材料置于锌液后, 锌向其内部扩散, 引起复合材料表层内液相线温度降低, 当表层内 Al-Zn 合金的液相线温度等于或低于锌液温度时, Al-Zn 合金便处于熔融状态, TiC 颗粒随其一起从 TiC/Al 复合材料块上脱落, 并不断地向锌液内部传输, 最终均匀分布在锌液中; 而当锌液温度高于铝熔点时, TiC/Al 复合材料置入后, 锌和铝同时进行扩散, 但是当复合材料表面温度达到铝熔点时, 铝开始熔化, 铝的熔化导致 TiC 颗粒的脱落, 脱落下来的 TiC 颗粒不断向锌液内部传输, 最终均匀分布在锌液中。

关键词 TiC/Al 复合材料, 锌合金, 均匀化过程

Uniformity Mechanism of TiC/Al Composites in Zinc Melt

Wang Xiang¹ Yu Dezhi² Lian Xiaoming¹ Li Qingfen¹

(1 College of Mechanical and Electrical Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001)

(2 Qingdao Huawei Wind Power Co., Ltd., Qingdao 266061)

Abstract TiC/Al composites with high TiC particle content is prepared by SHS (Self-propagating High-temperature Synthesis) process. The uniform distribution process of TiC particles in the stationary zinc melt is studied and analyzed by using self-made experimental equipment. The results show that zinc diffuses into the TiC/Al composites after they are placed in the zinc melt at temperatures below the melting point of aluminum, which leads to the decrease of the liquidus temperature of Al-Zn alloy in the surface layer of TiC/Al composites. When the liquidus temperature of Al-Zn alloy is equal to or below the temperature of zinc melt, Al-Zn alloy melts and TiC particles drop with it from the composites and then transfer into the zinc melt and finally they are distributed uniformly in it; while zinc diffuses into the TiC/Al composites as well as aluminum into the zinc melt after the TiC/Al composites are placed in the zinc melt at temperatures upon the melting point of aluminum. When temperature of the TiC/Al composites surface layer reaches to the aluminum melting point, aluminum melts and TiC particles drop together with it from the TiC/Al composites and then transfer into the zinc melt and they are finally distributed uniformly in it.

Key words TiC/Al composites, Zinc alloy, Uniformization process

收稿日期: 2005-04-11; 修回日期: 2005-11-10

基金项目: 哈尔滨工程大学基础研究基金项目 (HEUFT04011)

作者简介: 王香, 1972 年出生, 博士, 主要从事金属基复合材料的开发与研究工作

1 引言

颗粒增强铝基复合材料由于在硬度、模量、耐磨性及尺寸稳定性等方面均优于铝合金,在轴承、模具等一些耐磨件方面具有广泛的应用前景^[1-2],但由于其研究工作起步较晚,还缺乏比较系统的基础研究。在众多的制备方法中,自蔓延高温合成(SHS)法是近几年兴起的制备颗粒增强金属基复合材料的方法^[3-4]。由这种方法所制备的复合材料增强相和基体之间的界面结合良好,且颗粒尺寸一般较小,是较为理想的复合材料的制备方法^[5-6]。但该法中含有增强粒子的复合材料在液态金属中的均匀化是一个比较复杂的物理过程,均匀化的好坏直接影响到颗粒能否在基体中均匀分布,进而影响材料的性能,目前对这种行为的研究未见报道。本文旨在通过 TiC/Al 复合材料在锌液中的均匀化实验来探讨 TiC/Al 复合材料在锌液中的均匀化机理。

2 实验

将高纯的钛粉(99.2%, 45 μm)、铝粉(99.6%, 29 μm)和炭黑(99.8%, <0.05 μm)按一定的配比干混 24 h,冷压成致密度为 50%~60%的预制块,并将其置于真空自蔓延加压装置中反应生成 TiC/Al 复合材料。然后将 TiC/Al 复合材料试样在不同工艺条件(温度、时间)下在静止锌液中进行均匀化实验。实验后随炉冷却,待锌液完全凝固后取出,并沿 TiC/Al 复合材料试样的纵向整体剖开,进行电子探针、能谱分析。

3 结果分析

3.1 锌液温度在铝熔点以下

图 1 为 TiC/Al 复合材料置于 620 的锌液中保温 35 min,凝固后复合材料与锌合金接触界面处的 SEM 照片。可以看出, TiC/Al 复合材料与锌合金之间存在明显的界面。对图中的位置 1 至位置 10 进行各元素含量的微区能谱分析,各分析面的面积均为 250 μm \times 350 μm 。图 2 为根据能谱分析结果计算的 Al、Zn 和 Ti 的相对含量,尽管能谱分析不能精确地测得各元素的含量,但可以半定量地表征各元素含量的变化趋势。

由图 2 可以看出,锌扩散进入 TiC/Al 复合材料中,形成了较厚的扩散层,而铝在锌合金中的扩散层

较薄。

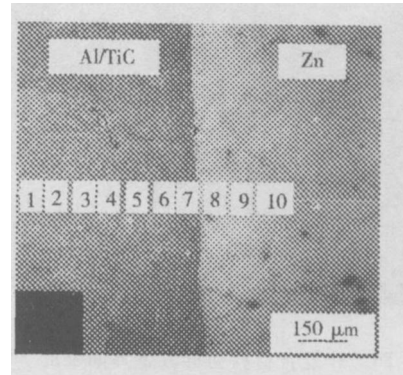


图 1 TiC/Al 复合材料与锌合金界面处的 SEM 照片

Fig 1 SEM image for interface of TiC/Al composites and zinc alloy

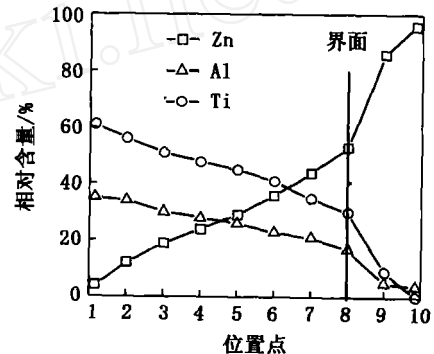


图 2 图 1 中的不同位置点 Al、Zn 和 Ti 相对含量变化

Fig 2 Curves of Al, Zn and Ti relative content of area from 1 to 10 in Fig 1

图 3 为 TiC/Al 复合材料置于 620 的锌液中保温 3 h,凝固后复合材料与锌合金接触界面处的 SEM 照片。可以看出, TiC/Al 复合材料与锌合金之间的界面已经变得比较模糊,并且在界面的前沿存在脱落下来的 TiC 颗粒的聚集区(图中 3 区)。对图 3 中的位置 1 至位置 13 进行微区能谱分析。各分析面的面积均为 150 μm \times 250 μm 。图 4 是根据能谱分析计算出 Al、Zn 和 Ti 的相对含量结果。从图 4 可以看出,从位置 1 至位置 6, Al、Zn 和 Ti 的含量单调变化,但从位置 7 开始,三种元素含量均呈现高低交错的变化,这表明在 TiC/Al 复合材料与锌合金接触界面附近存在熔化的铝和脱落下来的 TiC 颗粒的聚集层。

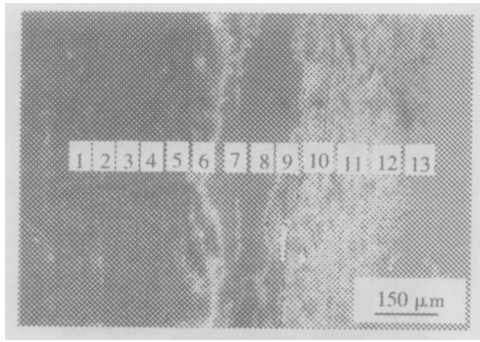


图 3 TiC/Al复合材料与锌合金界面处的 SEM 照片
Fig 3 SEM image for interface of TiC/Al Composites and zinc alloy

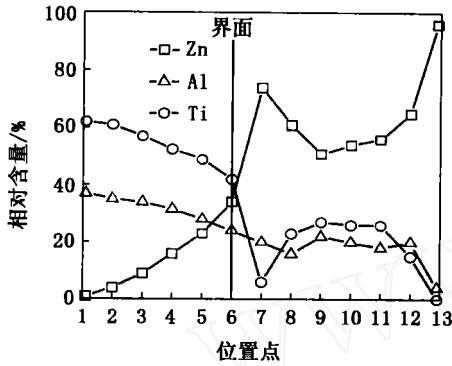


图 4 图 3 中的不同位置点 Al、Zn 和 Ti 的相对含量
Fig 4 Curves of Al, Zn and Ti relative content of area from 1 to 13 in Fig 3

通过以上的分析,可以认为在铝熔点以下时, TiC/Al复合材料在锌液中的均匀化大致为以下过程:当 TiC/Al复合材料置于锌液后,发生锌向复合材料中的扩散和铝向锌液中的扩散,但锌的扩散速率远远大于铝,在复合材料表层内形成 Al-Zn合金;随着时间的推移, TiC/Al复合材料中锌富集区内锌的浓度逐渐增大,液相线温度降低,当 Al-Zn合金的液相线温度降到等于或低于锌液温度时,便处于熔融状态,导致 TiC颗粒从 TiC/Al复合材料块上脱落。另外由于锌液处于静止状态,熔化的 Al-Zn合金只能以扩散的方式向锌液中传输,固相 TiC颗粒在锌液中的传输速度必然很慢,所以熔化的铝和脱落的 TiC颗粒在复合材料与锌液的接触界面附近形成堆积层。堆积层的一侧边缘直接与锌液接触,故锌和铝的互扩散和 TiC颗粒的传输进行得远比其他地方充分,所以此处 TiC颗粒将优先分散开,周而复始,最终 TiC颗粒均匀分布在锌液中。

3.2 锌液温度在铝熔点以上

图 5 为 TiC/Al复合材料置于 680 的锌液中保温 15 min,凝固后复合材料与锌合金接触界面处的 SEM 照片。可以看出, TiC/Al复合材料与锌合金之间存在明显的界面。对图中的位置 1 至位置 10 进行各元素含量的微区能谱分析,各分析面的面积均为 $250 \mu\text{m} \times 350 \mu\text{m}$ 。图 6 为根据能谱分析计算出 Al、Zn 和 Ti 的相对含量结果,可以看出,锌扩散进入 TiC/Al复合材料中,形成了较厚的扩散层,而铝在锌合金中的扩散层较薄。

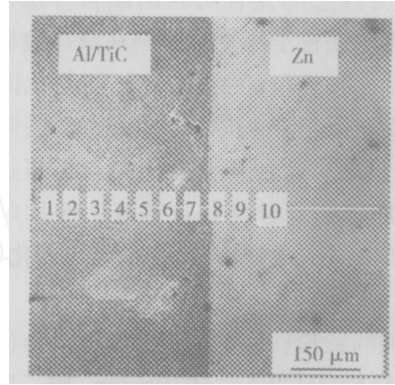


图 5 TiC/Al复合材料与锌合金界面处的 SEM 照片
Fig 5 SEM image for interface of TiC/Al Composites and zinc alloy

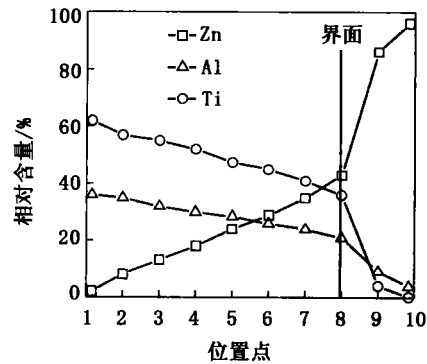


图 6 图 5 中的不同位置点 Al、Zn 和 Ti 的相对含量
Fig 6 Curves of Al, Zn and Ti relative content of area from 1 to 10 in Fig 5

图 7 为 TiC/Al复合材料置于 680 的锌液中保温 1 h,凝固后复合材料与锌合金接触界面处的 SEM 照片。可以看出, TiC/Al与锌合金之间的界面已经变得比较模糊,并且在界面的前沿存在脱落下来的 TiC颗粒的聚集区。对图 7 中的位置 1 至位置

10进行微区能谱分析。各分析面的面积均为 $250 \mu\text{m} \times 350 \mu\text{m}$ 。图 8是根据能谱分析计算出 Al、Zn和 Ti的相对含量,可以看出,从位置 1至位置 6,Al、Zn和 Ti的含量单调变化,但从位置 7开始,三种元素含量均呈现高低交错的变化,这表明在 TiC/Al复合材料与锌合金接触界面附近存在熔化的铝和脱落下来的 TiC颗粒的聚集层。

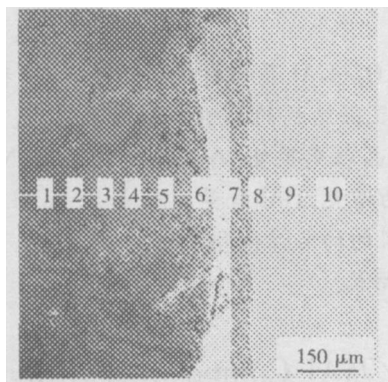


图 7 TiC/Al复合材料与锌合金界面处的 SEM照片
Fig 7 SEM image for interface of TiC/Al composites and zinc alloy

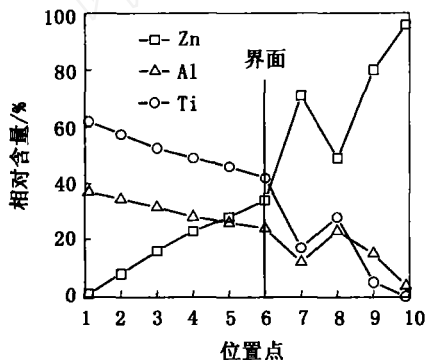


图 8 图 7中的不同位置点 Al、Zn和 Ti的相对含量
Fig 8 Curves of Al, Zn and Ti relative content of area from 1 to 10 in Fig 7

通过以上分析,可以认为,锌液温度在铝熔点以上时, TiC/Al复合材料在锌液中的均匀化过程为: TiC/Al复合材料置于锌液后,锌和铝同时进行扩散,但锌的扩散速度远大于铝,但在极短的时间内,复合材料表面的温度便达到铝的熔点,铝开始熔化;铝的熔化必定导致 TiC颗粒的脱落,在 TiC颗粒脱落之前,锌继续向 TiC/Al复合材料中扩散,引起复合材料表面锌浓度的变化,另外锌的介入必造成复合材料工艺 2006年 第 4期

合材料液相线温度的降低,这在一定程度上会加速铝的熔化速度;当 TiC颗粒之间的粘结力逐渐减小直至消失时, TiC颗粒便会从 TiC/Al复合材料块上脱落而进入锌液中;进入锌液中的 TiC颗粒同样向周围传输,但由于其传输速度很慢,所以仍会在界面前沿的液相中堆积。经过足够长的时间后均匀分散至整个锌液中。

4 结论

(1)当锌液温度低于铝熔点时, TiC/Al复合材料在锌液中的均匀化过程可分为两个阶段:第一阶段为液态锌向复合材料中浸渗而在其表层内形成 Zn-Al-TiC合金;第二阶段为 TiC/Al复合材料表层内的 Zn-Al-TiC合金脱落后进入锌液中。

(2)锌液温度高于铝熔点时,当 TiC/Al复合材料置入后,锌和铝同时进行扩散。但是当复合材料表面的温度达到铝熔点时,铝便开始熔化,铝的熔化导致 TiC颗粒的脱落。脱落下来的 TiC颗粒不断地向锌液内部传输,最终均匀分布在锌液中。

参考文献

- 1 Shama S C, Somashekar D R, Satish B M. A note on the corrosion characterization of ZA - 27/zircon particulate composites in acidic medium. *Journal of Materials Processing Technology*, 2001; (118): 62 ~ 64
- 2 Xie Xianqing, Liu Jinshui, Zhang Di. Tribology properties of TiCp/ZA43 composite under continuously lubricated sliding condition. *Advanced Composite Materials* 2002; 11 (2): 211 ~ 221
- 3 Seah K H W, Shama S C, Girish B M. Mechanical properties of as-cast and heat-treated ZA - 27/silicon carbide particulate composites. *Materials & Design*, 1995; 16 (5): 277 ~ 281
- 4 Ibrahim IA, Mohamed FA. Particulate reinforced metal matrix composites a review. *J. Mater. Sci*, 1991; 26: 1 137 ~ 1 156
- 5 Moussa Bechir, Simpson James E, Garimella Suresh V. Concentration fields in the solidification processing of metal matrix composites. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2002; 45 (21): 4 251 ~ 4 266
- 6 Villasenor G, Martinez-Flores E, Negrete J. Structure and properties of Zn - Al - Cu alloy reinforced with alumina particles. *Materials and Design*, 2003; 24 (4): 281 ~ 286

(编辑 李洪泉)