

[文章编号] 1004-0609(2002)S1-0142-05

电磁搅拌法制备复合材料过程的工艺优化^①

张秋明, 曹志强, 金俊泽, 郭志芳

(大连理工大学 铸造工程研究中心, 大连 116024)

[摘 要] 分析比较了电磁搅拌法制备复合材料工艺中 3 种颗粒加入方式对铸锭宏观组织的影响, 提出了在旋转熔体中加入挡板来改进工艺的方法。3 种颗粒加入方式中, 底部加入法使得颗粒和合金液之间的剪切力最大, 强的剪切力有利于混合过程的进行。利用工程计算软件 ANSYS 模拟了旋转磁场作用下的流场, 分析了不同挡板形状、倾斜角度对流场的影响, 设计了一种复合挡板, 获得了最佳工艺参数。加入挡板能限制旋涡的产生, 并在轴向上产生强烈的流动。倾斜角度呈 60° 时, 效果最佳。利用复合挡板和底部加入法, 制得了组织致密、颗粒分布均匀的铝/电气石复合材料。

[关键词] 电磁搅拌; 数值模拟; 复合材料; 流场

[中图分类号] TG 249.7

[文献标识码] A

目前, 金属基复合材料的制备工艺有多种, 其中研究比较深入、应用比较多的是液体搅拌法^[1~3]。文献[4, 5]采用电磁搅拌工艺, 取代传统的机械搅拌, 将铝和含硼硅酸盐晶体 TM 颗粒复合在一起, 制备了一种具有红外辐射能力的功能复合材料, 但气孔率较高。作者提出利用工程计算软件 ANSYS 对坩埚中的熔体流动进行模拟, 研究不同的挡板结构对流场的影响, 从而探索最佳的工艺参数。

铝/电气石复合材料是一种具有中、远红外线辐射能力的功能复合材料, 它的主要特性有: 1) 在 4~14 μm 红外线频谱范围内具有强辐射能力; 2) 抗菌; 3) 可用于蔬菜、水果保鲜; 4) 除臭; 5) 防霉; 6) 节能^[4, 5]。

1 实验方法

实验装置如图 1 所示, 用电磁搅拌和外加挡板的方法来替代普通搅拌铸造中的螺旋桨。

实验时, 在采用氩气保护的石墨坩埚中配置 6063 铝合金(Mg 0.9%, Si 0.6%, 其余为 Al), 过热一定温度后将其浇入位于搅拌器的坩埚中, 通电使液体金属产生旋转运动。经过预处理的 TM 颗粒(直径约 50 μm) 则通过振动加料器以一定的速度均匀加入铝液旋涡或液流中, 底部加入时, 首先将经预处理的 TM 颗粒平铺于坩埚底部, 然后再浇入铝

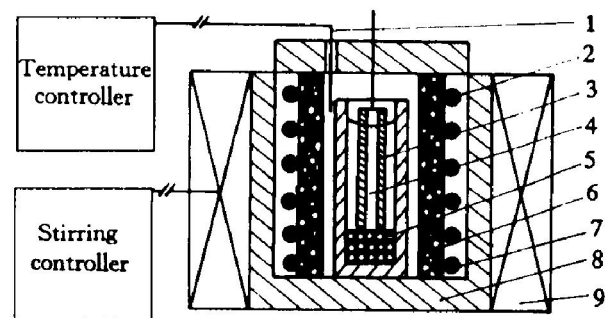


图 1 电磁搅拌设备结构简图

Fig. 1 Electromagnetic stirring apparatus

1—Thermocouple; 2—Crucible; 3—Baffle; 4—Metal melt; 5—Reinforced particles; 6—Refractory porcelain tube; 7—Resistance wire; 8—Heat insulating material; 9—Stirrer

液。全部加入后搅拌一定时间, 迅速将其倒入金属模中, 凝固得到铸锭。搅拌时磁感应强度 40 mT, 搅拌时间 30 min, 保温温度 700 °C。

2 颗粒加入方式的比较

2.1 顶部加入

顶部加入法, 是参考了旋涡搅拌法的颗粒加入方式^[6], 利用旋转磁场搅动液体金属, 使其强烈流动形成旋涡, 依靠旋涡的负压抽吸作用, 颗粒逐渐混合进入金属熔体中。

搅拌 30 min 后, 将坩埚取出空冷, 铸锭宏观组

① [基金项目] 国家自然科学基金资助项目(59901001; 59995442); 国家重点基础研究发展规划项目(G1998061500)

[收稿日期] 2001-08-07; [修订日期] 2001-10-15

[作者简介] 张秋明(1976-), 男, 硕士研究生。

织如图 2(a) 所示。这种方式在吸入颗粒的同时, 也吸入大量气体, 在熔体内部形成空洞。气体包裹在颗粒周围, 使加入的颗粒仍然聚集成团。漂浮的粒子团被气体裹挟, 随流动的液体金属一起运动, 粒子与液体金属的界面剪切速率很小, 所以实际分散进入液体的颗粒较少。

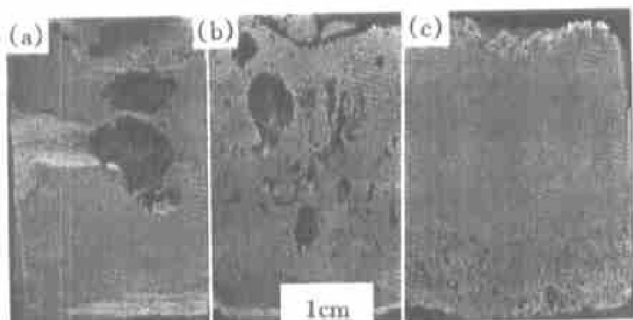


图 2 颗粒加入方式对其在熔体中分布的影响

Fig. 2 Effect of adding methods on particle distribution in melt

(a) —Top adding; (b) —Medium adding;
(c) —Bottom adding

2.2 中部加入

中部加入法是借鉴了喷射分散法^[7]的颗粒加入形式, 即在将铝合金液倾倒入坩埚的同时, 将增强颗粒喷射在金属浇注流上, 随着旋转磁场的不断搅拌, 颗粒在坩埚中将逐步均匀分布。

搅拌 30 min 后的铸锭宏观组织如图 2(b) 所示。喷射需要特殊装置, 固体粉末喷射流的大小、方向难于控制, 同时, 喷射流裹入了更多的气体, 使得气孔现象更为严重。

2.3 底部加入

底部加入法, 即将预处理后的颗粒平铺于坩埚底部, 在其上浇入铝液, 开启旋转磁场, 搅拌混合^[8~10]。颗粒随熔体的旋转运动而逐渐进入熔体中, 和基体结合较紧密, 气体含量较少, 团聚现象也大大减少了。搅拌 30 min 后的宏观组织如图 2(c) 所示。但颗粒主要分布在底部熔体中, 这可能是由于轴向流动不强造成的。因此有必要采取措施提高底部加入法的混合效率。

3 加入挡板对流场的影响

3.1 挡板尺寸对横截面流场的影响

在其他条件不变的情况下, 在熔体中加入挡板可以显著提高复合效果, 但随着挡板面积的增加, 熔体流速迅速下降。流场计算结果如图 3 所示。

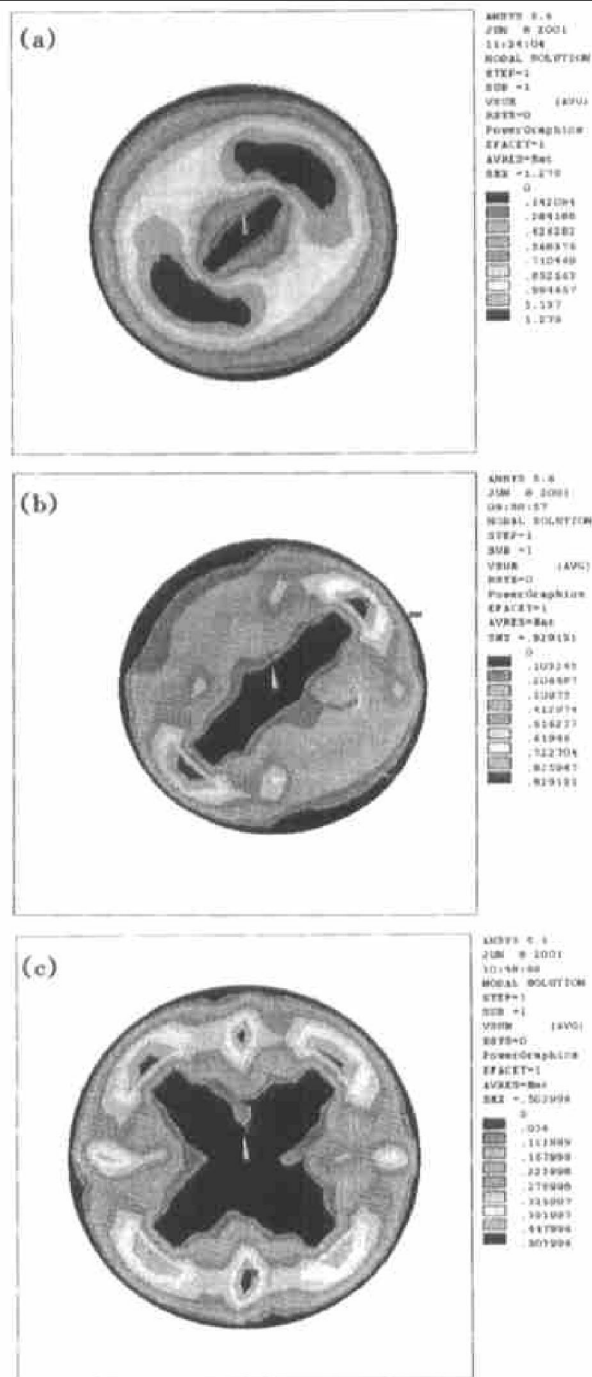


图 3 挡板尺寸对水平流场的影响

Fig. 3 Effect of baffle size on horizontal flow field

(a) —Short baffle; (b) —Long baffle;
(c) —Crisscross baffle

当挡板长度为直径 30% 时, 熔体平均转速下降约 25%; 挡板长度为直径 50% 时, 熔体平均转速下降约 75%; 对于十字形挡板, 因为其表面积更大, 熔体转速下降达 90%。在十字形挡板交角处, 液体流速几乎为零, 颗粒很容易在这个区域聚集, 而不能被液流带走。

综合分析结果表明, 相对于容易沾粘的十字形挡板, 板状挡板是旋转磁场作用下制备颗粒增强金属基复合材料的理想选择。

3.2 挡板倾角对纵截面流场的影响

图4所示分别是挡板与坩埚底面呈 90° 、 45° 、 60° 时的流场。 90° 时,挡板能在底部引起较强的径向流动,但影响的高度有限,这样的流动方式不利于颗粒与熔体之间的混合; 45° 时,能引起较强的轴

向流动。液流会沿挡板上移,造成一定的翻涌。 60° 时,挡板使熔体内部形成更强烈的冲击作用,但不太影响液体表面的平稳。由此可见, 60° 倾角最有利于颗粒的混合,因此作者将其与底部加入法同时用来制备复合材料。

3.3 复合挡板设计

通过流速场优化,设计的具有限制涡流作用和加强轴向流动作用的复合挡板如图5所示。

图6、7所示是加入复合挡板之后的流场分布。可以看出,在坩埚顶部,挡板有效地降低了熔体的流速,抑制了旋涡的产生;而在坩埚中下部,挡板具有强烈的导向作用,使得存在于熔体中的颗粒在整个熔体中能够均匀分布。

图8、9所示是利用复合挡板和底部加入法制出的复合材料铸锭的宏观和微观组织。可以看出,其组织致密,颗粒分布均匀,且与基体之间结合紧密。

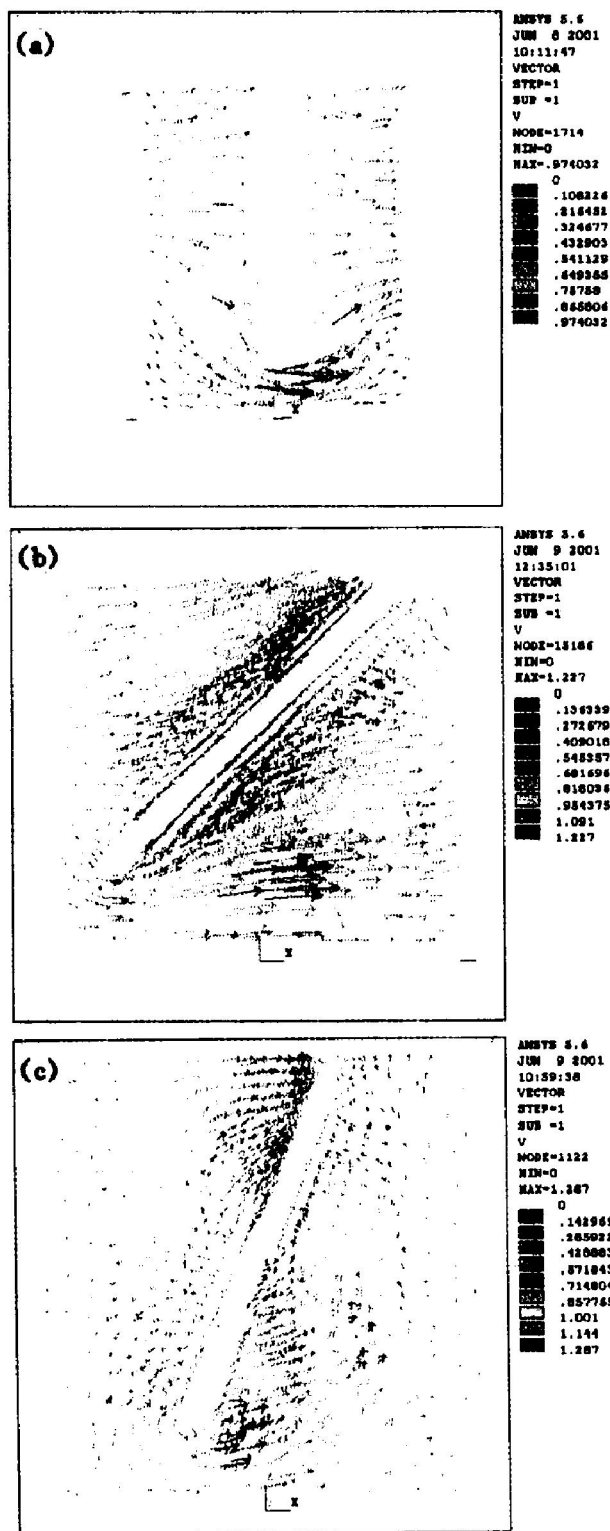


图4 挡板倾角对纵截面流场的影响

Fig. 4 Effect of inclination angle of baffle on longitudinal flow field

(a) -90° inclined angle; (b) -45° inclined angle;
(c) -60° inclined angle

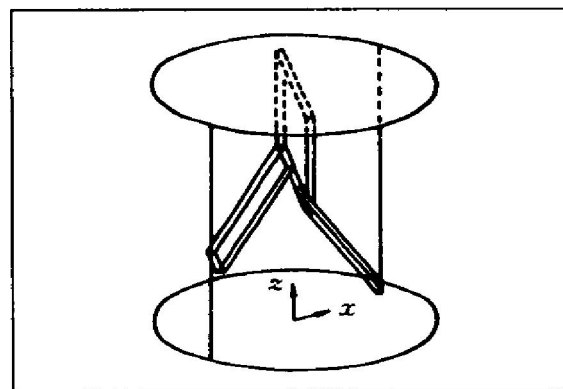


图5 复合挡板示意图

Fig. 5 Schematic of complex baffle

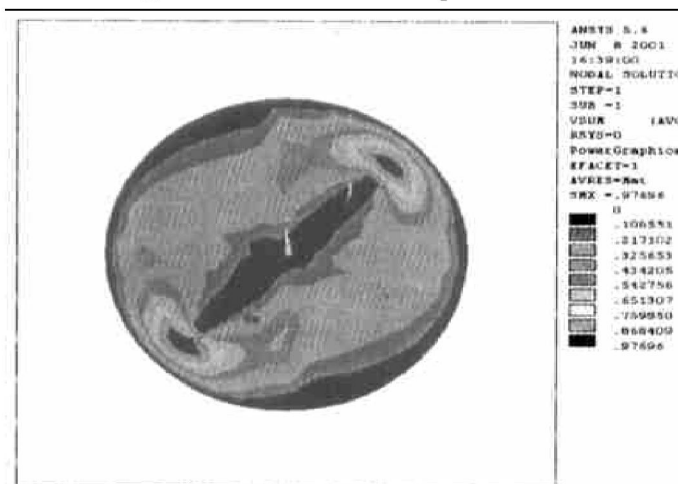


图6 复合挡板对坩埚顶部流场的影响

Fig. 6 Effect of complex baffle on top flow field

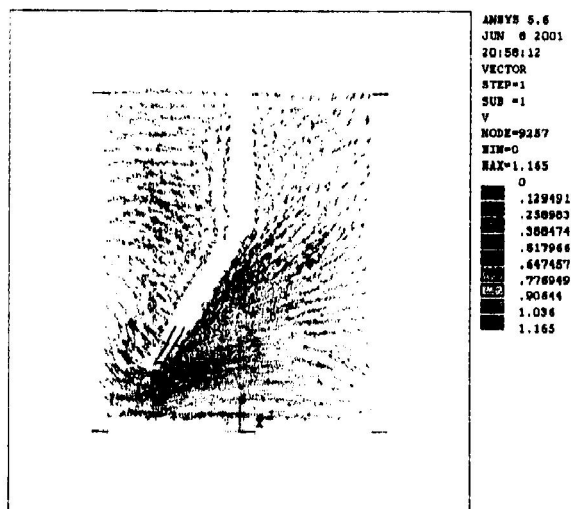


图 7 复合挡板一侧纵剖面的流场

Fig. 7 Side flow field of longitudinal section of complex baffle

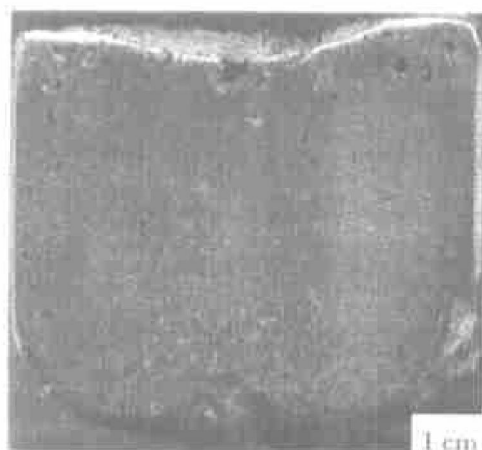


图 8 复合挡板工艺铸锭宏观组织

Fig. 8 Macrostructure of composite manufactured by complex baffle

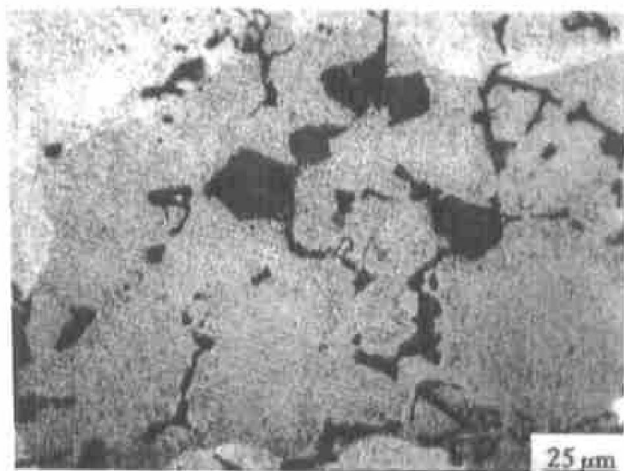


图 9 复合挡板工艺铸锭微观组织

Fig. 9 Microstructure of composite manufactured by complex baffle

4 结论

讨论了电磁搅拌法制备铝/电气石复合材料的 3 种不同颗粒加入方式, 模拟分析了不同挡板结构对坩锅中流场的影响, 观察了铸锭的宏观和微观组织, 得到以下结论:

1) 3 种颗粒加入方式中, 底部加入法使得颗粒和合金液之间的剪切力最大, 强的剪切力有利于混合过程的进行。

2) 加入挡板能限制涡旋的产生, 并在轴向上产生强烈的流动。倾斜角度呈 60° 时, 效果最佳。

3) 采用复合挡板制得了组织致密、颗粒分布均匀、并与基体结合紧密的铝/电气石复合材料。

[REFERENCE]

- [1] 吴锦波. 铝基复合材料的发展与现状 [J]. 材料科学与工程, 1992, 10(1): 6-12.
WU Jirbo. Status and development of aluminum matrix composites [J]. Mater Sci and Eng, 1992, 10(1): 6-12.
- [2] Vives C. Elaboration of metal matrix composites from thixotropic alloys slurries using a new magnetohydrodynamic caster [J]. Metall Trans, 1993, 24B: 493-504.
- [3] Vives C, Bas J. Fabrication of metal matrix composites using a helical induction stirrer [J]. Mater Sci and Eng, 1993, A173: 239-242.
- [4] 李 治. 铝/电气石红外功能复合材料的性能与制备研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 1998.
LI Zhi. Research on manufacture and properties of tourmaline/aluminum matrix infrared function composites [D]. Dalian: Dalian University of Technology 1998.
- [5] 李 治, 金俊泽, 曹志强. 电磁搅拌作用下 TM 颗粒-Al 红外功能复合材料的研究 [J]. 大连理工大学学报, 1999, 39(4): 523-526.
LI Zhi, JIN Junze, CAO Zhiqiang. Study on TM-Al infrared function composite by electromagnetic stirring [J]. Journal of Dalian University of Technology, 1999, 39(4): 523-526.
- [6] Hoover W R. Recent advances in castable metal matrix composites [A]. Masounave J, Hamel F G. Fabrication of Particulate Reinforced Metal Composites [C]. Materials Park, OH: ASM International, 1990. 115-123.
- [7] Caron S, Masounave J. Fabrication of MMCs by a bottom mixing composites [A]. Masounave J, Hamel F G. Fabrication of Particulate Reinforced Metal Composites

- [C]. Materials Park, OH: ASM International, 1990. 107– 113.
- [8] 李 昊, 桂满昌, 周彼德. 搅拌铸造金属基复合材料的热力学和动力学机制 [J]. 中国空间科学技术, 1997, 1: 9– 16.
- LI Hao, GUI Man-chang, ZHOU Bi-de. Thermodynamics and dynamics of stirring cast process for metal matrix composites [J]. Chinese Space Science and Technology, 1997, 1: 9– 16.
- [9] Hanumanth G S, Irons G A. Particle incorporation by melt stirring for the production of metal-matrix composites [J]. J Mater Sci, 1993, 28: 2459– 2465.
- [10] Flemings M C. Behavior of metal alloys in the semisolid state [J]. Metall Trans B, 1991, 22B: 269– 293.

Technology optimum on electromagnetic stirring method for composite fabrication

ZHANG Qiu-ming, CAO Zhi-qiang, JIN Jun-ze, GUO Zhi-fang

(Research Center of Foundry Engineering, Dalian University of Technology,
Dalian 116024, China)

[Abstract] Macro- and microstructures of composite made by different particle transport methods and electromagnetic stirring were observed and contrasted, and the effect of different baffle shape and obliquity was studied by simulating the flow field of electromagnetic stirring on the basis of ANSYS. As a result, a new kind of technique to reform the flow field was presented. Among three particle adding methods, bottom-adding method is the most efficient, strong shearing force between particles and alloy melt is beneficial to the mixed process. The use of baffle can restrain the vortex and can result in a strong axial flow. While the inclined angle is 60° , the most efficient results are yielded. A new composite baffle was designed and the optimum technology parameters were given. As a result, the aluminum matrix / TM particulate composite with compact structures and well-proportioned grains was fabricated by composite baffle and the bottom adding method.

[Key words] electromagnetic stirring; numerical simulation; composite; flow field

(编辑 吴家泉)