

[文章编号] 1004-0609(2002)S1-0188-04

半连续铸造法制备 AlCu/Al 梯度材料^①

张卫文, 李元元, 龙雁, 吴苑标, 邵明

(华南理工大学机电工程学院, 广州 510640)

[摘要] 提出了一种制备梯度材料的双流浇注连续铸造新方法, 采用该方法在自制的半连续铸造装置上进行了 AlCu/Al 梯度合金的探索试验。分析了制备合金的组织 and 性能特点。结果说明: 采用半连续铸造方法在 Al-Cu 系合金中可以实现合金成分随铸件横截面的连续梯度变化; 合金的成分、显微组织和力学性能之间有良好的对应关系。

[关键词] 半连续铸造; AlCu/Al; 梯度材料

[中图分类号] TG 249.7

[文献标识码] A

在连续和半连续铸造过程中, 分别浇注不同成分的两种金属熔体, 通过有效地控制熔体的流动, 可以实现合金成分在铸件横截面上的连续梯度分布^[1~3]。这是一种制备梯度材料的新方法, 有着广阔的应用前景^[4]。

在铝合金中, Al-Cu 系列合金是一类应用非常广泛的结构材料, 但这类材料的耐腐蚀性能欠佳, 目前工业生产中主要采用包覆铝或表面处理的办法提高其耐腐蚀性能。本文作者以 Al-Cu 合金系为对象, 研究这类合金通过半连续铸造实现成分梯度分布的可能性, 试图探索出一条制备表面耐腐蚀性好、内部强度高的新型 AlCu/Al 梯度材料的途径。

1 实验方法及其基本原理

图1是自行设计制作的双流浇注半连续铸造装置示意图。利用该装置生产梯度材料的基本原理是: 在传统的半连续铸造基础上增加一个内浇包及其导流系统, 内、外浇包分别容纳不同成分的两种熔体。流经外浇包的金属液体经流出口后直接进入结晶器中, 受激冷而首先凝固成具有一定厚度的薄壳, 当内浇包的熔体脱离内导管口时则被凝固薄壳和富含籽晶和熔断枝晶的残余外部金属液包围, 通过调整铸造时的工艺参数, 可以控制内、外浇包中两种液体的凝固时间差, 促进结晶器内熔体由外向内顺序凝固, 实现两种液体的部分混合。

在本工作中, 外浇包采用工业纯铝, 内外浇包采用 Al-5% Cu (质量分数, %) 合金。内导管与 d

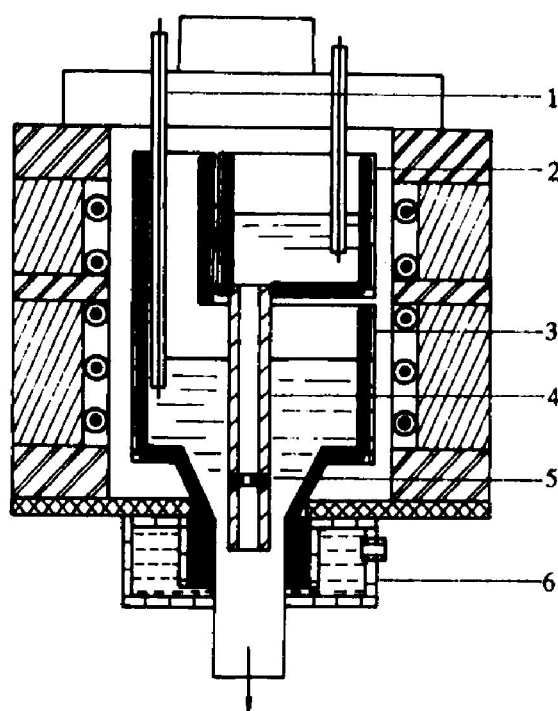


图1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

- 1—Thermal couple; 2—Inside tundish;
3—Outside tundish; 4—Entry nozzle;
5—Embedded gate; 6—Mould

65 mm 的石墨结晶器同心配置, 采用常规的铝合金熔炼措施。

硬度测量采用 HD8-187.5 型光学布洛维硬度计, 取 d 1.588 mm 的钢球和 600 N 的载荷。成分分析在 JEOL-733 电子探针上进行, 每个成分点对应的面扫描面积约为 1 mm^2 。

① [基金项目] 国家自然科学基金资助项目(59905007)及广东省自然科学基金资助项目(994250)

[收稿日期] 2001-09-23; [修订日期] 2001-12-10

[作者简介] 张卫文(1969-)男, 副教授, 博士。

2 实验结果

2.1 合金的宏观形貌

图 2(a) 是所示 AlCu/Al 梯度合金横截面的宏观形貌, 从中可以分辨出内外两层的组织差别。图 2(b) 所示是 AlCu/Al 梯度合金纵截面的宏观形貌, 从图中不仅可以分辨出内、外两层的不同合金组成, 还能看出内部金属的一些流动特征。

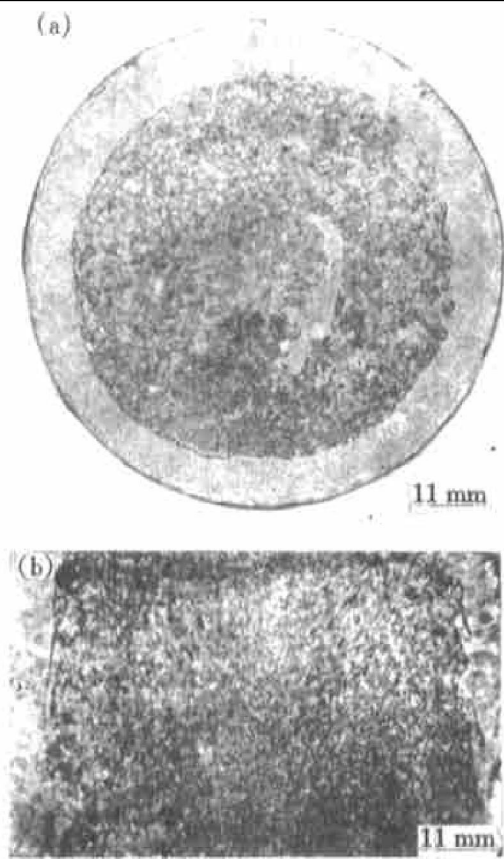


图 2 AlCu/Al 梯度合金的宏观形貌图

Fig. 2 Macrostructures of AlCu/Al gradient alloy
(a) —Cross section; (b) —Vertical section

2.2 合金的显微组织

图 3 所示为合金横截面上不同位置的显微组织形貌。图中黑色相为 $\theta(\text{Al}_2\text{Cu})$, 图 3(a) 至图 3(d) 所示分别对应着试样从中心到表面的显微组织变化。从图中可见, $\theta(\text{Al}_2\text{Cu})$ 相从试样外部向中心逐渐增多。

2.3 合金的成分和硬度分布

图 4 所示为合金横截面上的成分分布。从外向内, 铜含量逐渐增加。图 5 所示为合金横截面上的硬度分布。从外向内, 硬度的变化趋势也是逐渐升高。这些变化趋势反映了硬度和成分之间的对应关系。

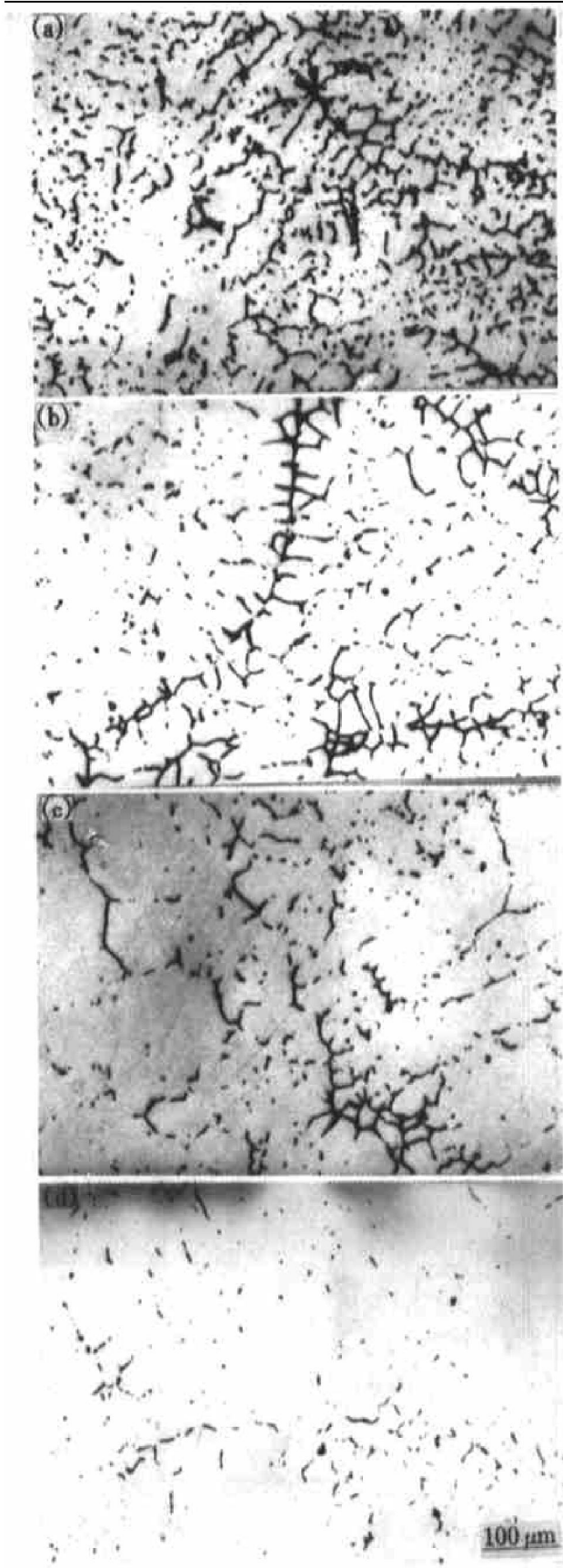


图 3 AlCu/Al 试样不同半径上的显微形貌

Fig. 3 Morphologies of AlCu/Al alloy at different radii, R , i. e. distance of sampling location to center of sample
(a) — $R=5\text{ mm}$; (b) — $R=15\text{ mm}$;
(c) — $R=20\text{ mm}$; (d) — $R=30\text{ mm}$

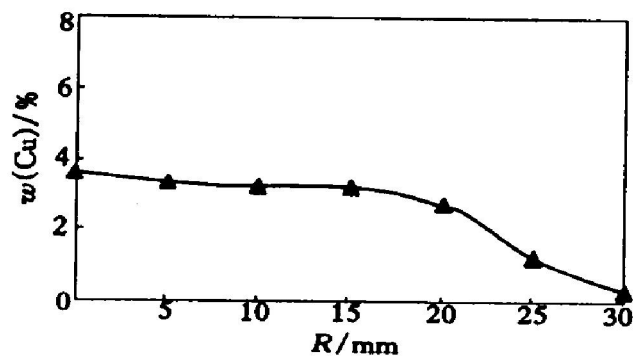


图 4 合金横截面上的成分分布

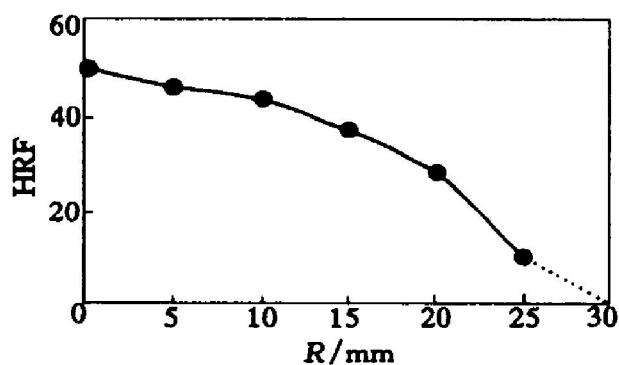
Fig. 4 Composition distribution in cross-section at different sampling radii R of alloy

图 5 合金横截面上的硬度分布

Fig. 5 Rockwell hardness (HRF) against distance (R) from center in AlCu/Al
(Dot line indicates value is beyond limit of hardness tester)

3 讨论

金属在连续铸造过程中,凝固壳由外向内顺序凝固,不同成分的两股液体由于在凝固上存在时间差,因而在铸件截面上形成成分的宏观梯度分布。在凝固区域附近,当内部金属进入主要由外层金属形成的凝壳中时,液穴中的两股熔体存在着对流和扩散,因此内部金属的成分往往与原始成分有明显的差别。在本试验中,样品横截面的中心区域,铜含量从原始成分的约 5% (质量分数) 降低到不足 4% (质量分数)。

根据金属学的基本原理,成分上的差异必然会引起组织上的变化。铝铜合金在非平衡凝固时,最大固溶度会比平衡凝固时有显著偏离,因此在铜含量很低的情况下仍会出现共晶组织。假设合金凝固

时无固相扩散、液相完全混合,利用 Scheil 方程可以预测铝铜合金枝晶生长完毕后的共晶分数^[5]:

$$f_e = (C_e/C)^{k_0/(k_0-1)} \quad (1)$$

式中 f_e 为合金的共晶分数; C_e 为共晶成分; C 为合金成分; k_0 为溶质平衡分配系数。

图 6 显示了利用 Scheil 方程计算的和利用网格法测量的合金不同位置的共晶分数,实验测量值与理论计算值具有相同的变化趋势。从图中可见,AlCu/Al 梯度合金的共晶分数随其到试样中心的距离增大而降低,表现出与成分分布相同的梯度变化特征。总之,双流浇注连续铸造制备的 AlCu/Al 梯度合金成分、组织和硬度之间有很好的对应关系。

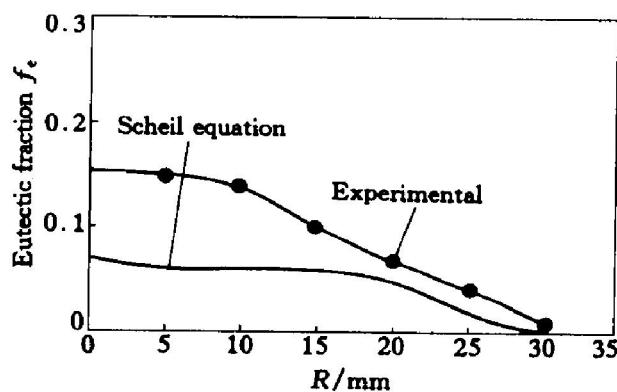


图 6 AlCu/Al 梯度合金的共晶分数随铸件横截面的变化

Fig. 6 Eutectic fraction (f_e) against distance (R) in cross-section of AlCu/Al alloy

4 结论

1) 采用半连续铸造方法在 AlCu 系合金中可以实现合金成分随铸件横截面连续梯度变化。

2) 制备的 AlCu/Al 梯度合金的成分与其显微组织和力学性能之间有很好的对应关系。

[REFERENCES]

- [1] YU Ge. Method for manufacturing gradient material by continuous and semi-continuous casting [P]. US6089309, 2000.
- [2] ZHANG Wei-wen, ZHU Cang-shan, WEI Xing-zhao, et al. The double-stream-pouring technique for production gradient materials by continuous casting [J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 34(11): 911-914.
- [3] 张卫文, 邹敢峰, 邓长宁, 等. 以连续铸造方法制备梯度材料的实验研究 [J]. 金属学报, 1998, 34(6): 610-614.

- ZHANG Wei-wen, ZOU Gar-feng, DENG Chang-ning, et al. Investigation of production of gradient material by continuous casting [J]. Acta Metallurgica Sinica, 1998, 34(6): 610–614.
- [4] 张卫文, 郁 鸽, 李元元, 等. 采用连续铸造方式制备的梯度材料[J]. 材料导报, 2000, 14(3): 24–25.
- ZHANG Wei-wen, YU Ge, LI Yuan-yuan, et al. Gradient material produced by continuous casting [J]. Mater Rev, 2000, 14(3): 24–25.
- [5] Cahn R W, Haasen P. Physical Metallurgy Fourth, Revised and Enhanced Edition [M]. Amsterdam Elsevier Science B. V, 1996, 716–217.

AlCu/Al gradient material produced by semi-continuous casting

ZHANG Wei-wen, LI Yuan-yuan, LONG Yan, WU Yuan-biao, SHAO Ming
(School of Mechano-electronic Engineering, South China University of Technology,
Guangzhou 510640, China)

[Abstract] A method of producing gradient material by continuous casting using double-stream-pouring technique was proposed. An experimental study of AlCu/Al gradient material was carried out on self-made semi-continuous apparatus. The microstructure and property of the alloy was analyzed. The results show that the continuous gradient distribution in composition across the cross section of the ingot can be realized in Al-Cu alloy system using the proposed method, and the microstructure, Rockwell hardness and the composition of the alloy are in good accordance with each other.

[Key words] semi-continuous casting; AlCu/Al; gradient material

(编辑 朱忠国)