

水平连续铸造技术制备 Cu/Al 复层圆铸坯

接金川, 付莹, 陈航, 王同敏, 曹志强, 李廷举

(大连理工大学材料学院, 辽宁大连 116024)

摘要: 目前复层材料由于其突出的优点在工业应用中越来越重要。本文自行设计石墨结晶器、浇注系统、引锭头等装置, 成功制备直径为 88 mm 的铜包铝层状复合铸坯。对铜包铝铸坯界面的组织结构、元素分布以及界面结合强度等情况进行了研究。试验结果表明: 通过水平连续铸造技术所制得的铜包铝层状复合铸坯界面结合良好, 没有明显的铸造缺陷。在铜一侧首先生成 AlCu 相, AlCu 层厚度约为 10 μm , 然后有大量的 Al_2Cu 相生成, 整个金属间化合物过渡层厚度约为 200 μm 。

关键词: 层状复合材料; 连续铸造; Cu/Al; 凝固

Copper Clad Aluminum Ingots Prepared by Horizontal Continuous Casting Process

JIE Jin-chuan, FU Ying, CHEN Hang, WANTG Tongmin, CAO Zhiqiang, LI Ting-ju

(School of Material Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning)

Abstract: The graphite mold, pouring system, drawing system were self-designed during developing the technology of copper clad aluminum horizontal continuous casting, and the copper clad aluminum ingot of 88 mm in diameter was prepared successfully. The solidification structure, element distribution and conditions of interface-bonding intensity were studied. The results indicate that for the copper clad aluminum ingot prepared in this condition, the first phase is AlCu in the copper side, and the width of AlCu phase layer is about 10 μm . And then, there is a considerable amount of Al_2Cu phase. The IMCs layer is about 200 μm .

Keywords: clad composite materials; continuous casting; Cu/Al; solidification

金属层状复合材料又称层金属复层材料是将两种或两种以上金属材料通过一定加工工艺复合在一起的一种新型复合材料, 该类材料通过扬长补短, 可以满足特殊环境下对材料的要求^[1-2], 例如其中某些层状复合材料具有高强度、高硬度、高刚度和低的密度以及较好的断裂韧性已成为航空航天领域最有应用潜力的轻质高性能复合材料之一^[3-5]。

目前导线在国民经济中应用越来越广泛, 单纯的铜导线成本较高, 而单一的铝导线其强度及导电率较低, 因而铜包铝复层导线具有铜线的高电导率, 同时又有较高的强度, 因而可能在工业应用中占据一席之地。目前铜包铝导线大部分采用连续挤压方法制备, 成本较高, 因此低成本地制备铜包铝导线具有重要的意义。连续铸造技术由于生产成本较低, 效率高等在钢铁冶金及有色合金制备方面占据了重要的地位。

本文研究了铜铝层状复合材料短流程水平连铸技术, 自行优化设计了石墨结晶器、引锭装置、浇注系统等相关装置, 研究了铜铝界面凝固特征, 最终制备出界面结合良好的铜包铝复层圆铸坯。

1 试验方法

铜包铝水平连续铸造工艺与通常的铜管坯水平连续铸造基本相似, 所不同的是将石墨芯子加工成中空结构用于浇注内层铝熔体。石墨结晶器与水冷铜套紧密配合并同时安装在一冷区域, 由于一

基金项目: 得到国家自然科学基金项目 51271042 和 51134013 及大连理工大学科研启动经费项目资助。

作者简介: 接金川, 讲师, E-mail: jiejc@dlut.edu.cn。

冷装置的冷却作用，一部分进入到石墨模具的铜液会发生凝固并包裹住牵引头，此时开启牵引装置由于保温炉内的铜液面保持了一定的压头，所以铜液会源源不断的流入石墨结晶器之中，在一冷装置的作用下，一冷区域的铜液会发生凝固形成铜管坯，当所形成的铜管坯前端移至二冷区前端时，开启二冷水，二冷水直接喷射到所形成的铜管坯上，管坯温度会迅速下降至某一温度范围内，二冷水开启后即可提高拉速，并开始浇注铝液，铝液从流槽经过石墨导管、中空石墨芯子最后与铜管坯接触，将铜管坯空腔填满，液态铝熔体与固态的铜管通过熔合及元素扩散形成冶金结合，最终实现铜包铝的水平连续铸造。

铜包铝复层管坯微观组织采用 0.5% 的 HF 酸进行腐蚀，组织形貌通过扫描电子显微镜(SEM)进行观察，不同的物相成分通过能谱(EDX)进行分析。

2 结果与分析

图 1 是通过本实验设备及参数制备出的长约 3m 的 Cu/Al 复合圆铸锭。其直径为 85mm，其中纯铝直径为 60mm，可以看到界面结合良好，没有明显的缺陷，如气孔及裂缝等。表明通过水平连续铸造技术可以成功制备出界面结合良好的铜包铝铸锭，通过后期挤压或轧制可以制备出 Cu/Al 接触导线，如果铜包铝导线外径为 10mm，则本实验所制备出的铸锭可以制备出长度为 900m 的导线。

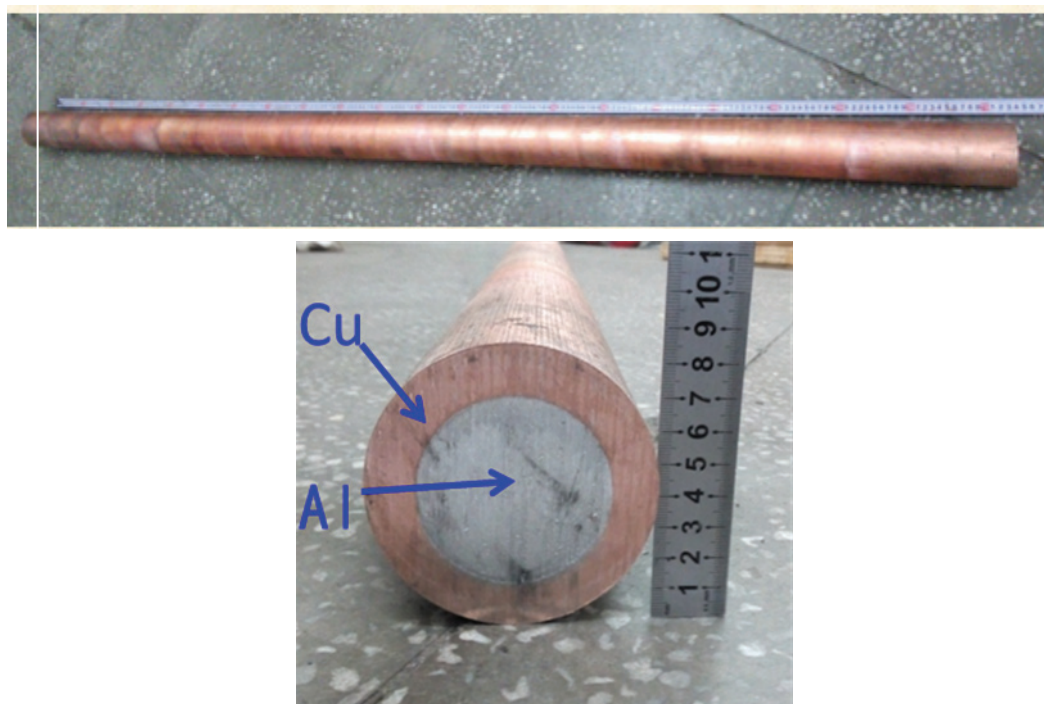


图 1 通过水平连续铸造技术制备的 Cu/Al 复层圆铸锭

图 2 为铜包铝层状复合铸锭结合界面处扫描电镜照片。图 2a 铸锭横截面宏观照片，从铸锭的顶部及底部分别取样，观察界面微观组织，得到图 2b、图 2c 界面处 500 倍背散照片，其中图 2b 有一条细长的裂纹，其原因是液态铝熔体浇注到具有一定温度铜管中以后，铜铝之间会发生一定反应生成金属间化合物，金属间化合物为脆性相，在应力的作用下很容易产生裂纹，从表 1 中的 EDS 结果可以知道靠近铜一侧也形成了 Al_2Cu 相，接下来是大量的 Al_2Cu 相和 Al 及 Al_2Cu 的共晶相。由图 2 可以看出通过水平连续铸造技术制备的 Cu/Al 复层圆铸锭界面结合良好，Cu 与 Al 之间形成了冶金结合，轧制或挤压过程中界面处的金属间化合物会破碎并分别在铜包铝导线界面上。

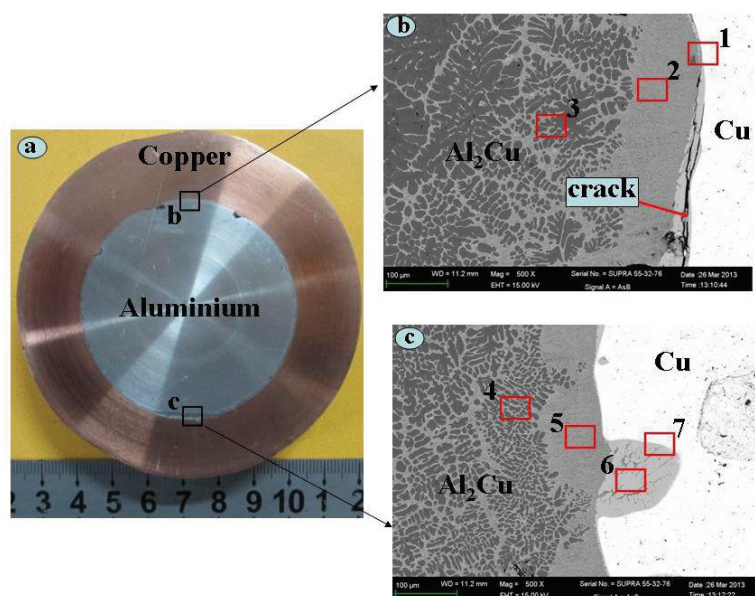


图2 铜包铝复层铸锭结合界面处 SEM 背散照片

表1 铜铝复层铸锭界面处物相成分

位置	原子分数		物相
	Al	Cu	
1	63.39	36.61	Al_2Cu
2	78.74	21.26	Al_2Cu 共晶
3	97.17	2.83	Cu 在 Al 中固溶体
4	97.32	2.68	Cu 在 Al 中固溶体
5	71.36	27.73	Al_2Cu 共晶
6	63.56	36.44	Al_2Cu

3 结论

在研究铜包铝水平连铸过程中, 自行设计石墨结晶器、浇注系统、引锭头等装置, 成功制备直径为 88 mm 的铜包铝层状复合铸坯。并对铜包铝铸坯界面的组织结构、元素分布以及界面结合强度等情况进行了研究。实验结果表明, 通过水平连续铸造技术制备的铜包铝层状复合铸锭界面结合良好, 没有明显的铸造缺陷。在铜一侧首先生成 AlCu 相, AlCu 层厚度约为 $10\text{ }\mu\text{m}$, 然后有大量的 Al_2Cu 相生成, 整个金属间化合物过渡层厚度约为 $200\text{ }\mu\text{m}$ 。

参考文献:

- [1] 黄伯云, 李成功, 石力开, 邱冠周, 左铁镭. 中国材料工程大典, 第四卷: 有色金属材料工程(上)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] Davis JR. ASM Handbook Vol. 02 Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials Ohio: ASM International, 1990.
- [3] Lloyd DJ. Scripta Mater. 2013; 68: 426.
- [4] Kim E-y, Cho J, Kim H-w, Choi S-h. Mat. Sci. Eng. A 2011;530:244.
- [5] Matsumoto H, Watanabe S, Hanada S. J. Mater. Proc. Techn. 2005;169:9.