

文章编号: 1004- 0609(1999)03- 0474- 03

铜/钢反向凝固复合实验研究^①

于九明 王群骄 孝云祯 陈金英 闫谷丰 吴法宇

(东北大学 材料与冶金学院, 沈阳 110006)

摘 要: 反向凝固复合技术是生产双金属复合材料的一种新方法, 具有高效、低耗、短流程特点。以包铜钢线为研究对象, 介绍了反向凝固复合工艺特点, 系统地研究了各工艺参数对包复比的影响, 并对实验结果作了理论分析。

关键词: 反向凝固; 包铜钢线; 包复比

中图分类号: TB 331

文献标识码: A

80年代以来, 冶金工业技术的发展以节能、降耗、提高效益为中心, 促进生产过程的连续化和短流程化。反向凝固复合技术是生产双金属复合材料的一种新方法^[1,2], 与目前广泛采用的爆炸复合、轧制复合^[3,4]相比, 具有高效、低能、短流程特点。利用包铜钢线代替纯铜线缆, 不仅能节约大量的贵重金属铜, 而且具有许多优良的综合性能^[5~7]。本文介绍了包铜钢线反向凝固复合新工艺, 系统研究了铜液温度、液面高度、走线速度等工艺参数对复层厚度的影响。这对于合理选择工艺参数、准确控制包复层厚度具有重要指导意义。

1 反向凝固复合实验研究

1.1 实验材料与设备

本实验研究所采用的材料为99.99%的电解铜和普通低碳钢丝。实验所使用的设备为自行设计和制造的反向凝固复合机组, 主要构成有熔化炉、结晶器、表面处理装置、预热装置、冷却装置和放/收线装置等, 如图1所示。电解铜由加料口加入熔化炉, 熔融的铜由下方流入结晶器; 钢丝经表面净化处理并预热到一定温度后, 由下而上连续穿过结晶器, 与熔融的铜相接触。依靠钢丝与铜液间的热流传输, 使

钢丝表面的液态铜的温度迅速降低, 伴随着液态铜在钢表面的浸润、附着、凝结, 实现铜和钢界面良好的冶金结合, 并获得一定复层厚度的包铜钢丝^[8]。由于铜液的结晶凝固过程是由钢芯向外进行的, 所以称之为反向凝固。

1.2 实验研究

在反向凝固复合过程中, 许多工艺参数, 如铜液温度、液面高度、钢芯线预热温度、走线速度、表面处理方法等, 都将影响铜/钢界面结合质量和复层厚度。本实验选择两种钢丝直径(2.8 mm, 3.5 mm), 采用两种温度制度(1120℃, 1150℃), 系统研究了钢丝浸入时间(液面高度和走线速度的综合指标)对包复层厚度的影响。为了便于实验结果的比较, 包复层厚度以包复比 A 表示, $A = (D - d)/d$, 其中 D 为复合线直径, d 为钢丝直径。实验结果如图2所示。结果表明, 浸入时间长短对包复比有直接影响。随浸入时间增加, 初始包复比迅速增加, 逐步达到最大值; 此后, 随浸入时间继续增加包复比反而降低。结果还表明, 铜液温度对包复比有较大影响。铜液温度升高, 包复比随浸入时间变化的曲线下移, 即同一浸入时间包复比降低。此外, 铜液温度不等但包复比随浸入时间的变化规律相同, 只是达到最大包复比对应的浸入时间略有差别; 铜液

① 国家自然科学基金资助项目 59671035 收稿日期: 1998- 08- 08 于九明(1944-), 男, 教授

温度高, 达到最大包覆比所需浸入时间短。比较图 2(a) 和(b) 可见, 钢丝直径的变化几乎未对包覆比随浸入时间的变化规律产生影响。

2 实验结果分析

2.1 浸入时间对包复比的影响

根据热传导原理, 当钢丝浸入铜液中时, 由于钢丝的温度较低, 铜液与钢丝界面的温度梯度较大, 促使热流从铜液流向钢丝。此时钢芯线表面铜液温度迅速降低, 伴随着液态铜的浸润、生核、结晶、扩散等界面反应的进行。当钢丝表面的铜液温度降低到凝固点时, 铜液在钢丝表面凝结, 从而实现铜/ 钢界面良好的冶金结合。随着热流不断传输, 结晶前沿由钢

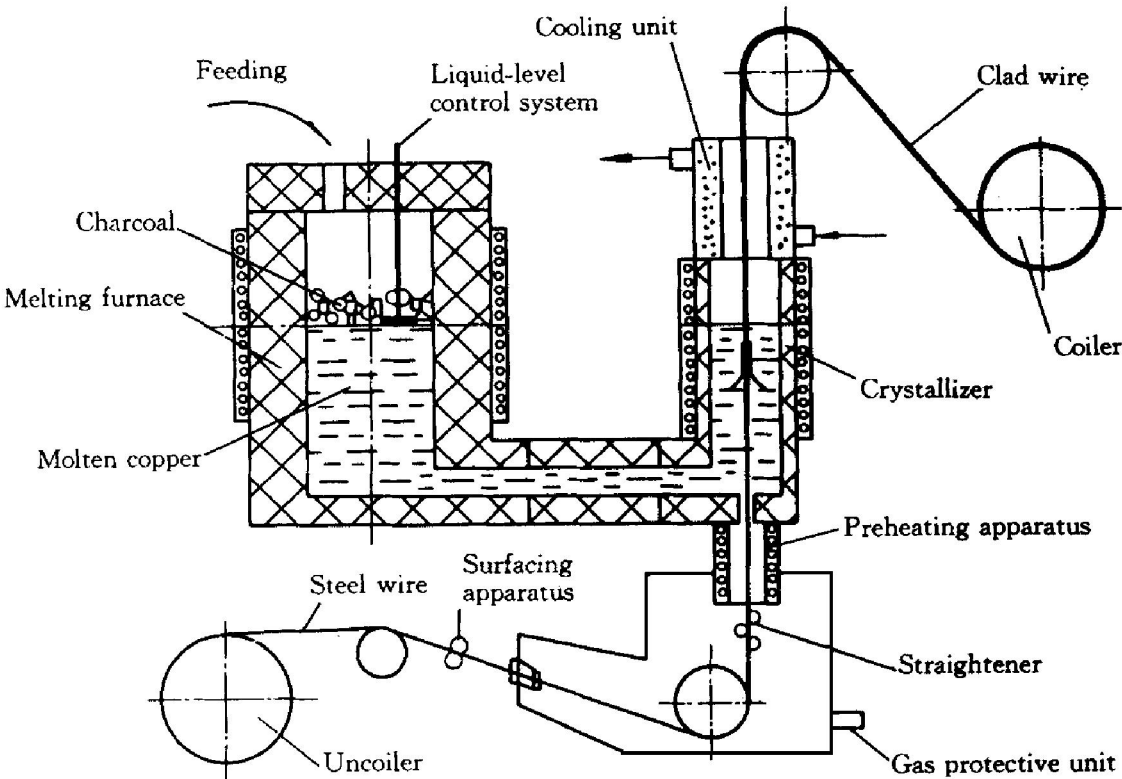


图 1 反向凝固复合设备示意图

Fig. 1 Inversion casting bonding instrument illustration

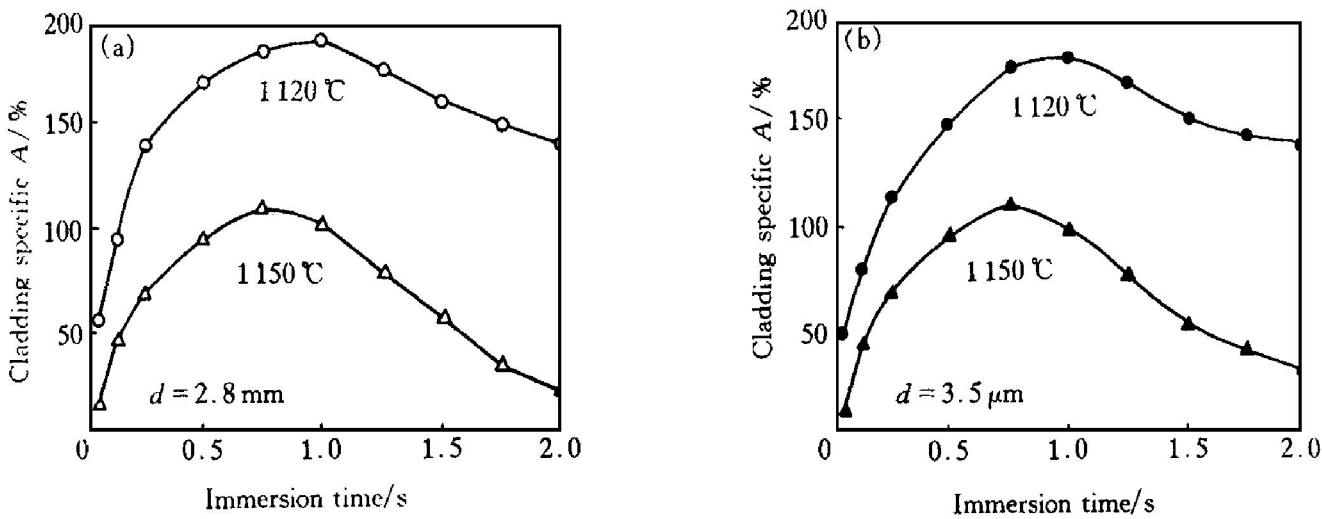


图 2 包复比随浸入时间的变化

Fig. 2 Relation between immersion time and bonding ratio

芯向外迅速推移,使包复层厚度逐渐增大。由于碳钢比铜的导热系数大约低90%,所以铜液的凝结速度处于钢的热扩散控制中。当界面热流传输达到平衡时,包复比达到最大值。此后,随着浸入时间继续增加,当结晶前沿从铜液中吸收的热量大于向钢芯线中扩散的热量时,已结晶的固态铜将会因热平衡逆转重新熔解,从而导致包复比下降。因此,掌握包复比随浸入时间的变化规律,对于合理选择工艺参数、准确控制包层厚度有实际指导意义。

2.2 铜液温度对包复比的影响

由于反向凝固的特点是通过铜和钢间的热交换实现界面的结合以及复层厚度的变化,所以铜液温度对包复比的影响实质是铜液过热度不同产生的结果。这是因为钢丝吸收的热量一部分用来降低铜液的温度至熔点,一部分用于平衡相变潜热,使熔融的铜在钢芯周围凝结。如果铜液的温度较高,则钢丝能够吸收的热量将较多地用于降低钢丝周围铜液的过热度,同时也要平衡相变潜热,因此熔融的铜在钢丝周围凝结的量相对减少。所以,比较相同浸入时间,铜液温度高低不同,复合线包复比大小不等,然而包复比随浸入时间变化的规律是相同的。液态铜过热度较大,钢丝芯体温度较快升高并以较短的时间达到铜的熔点温度,界面达到热平衡,即在较短时间内达到最大包复比。因此,正确设定和准确控制铜液的过热度,可有效地调节包复比和准确控制复层厚度。

3 结论

(1) 复合线包复比随钢丝浸入时间而变化。当界面达到热平衡时,包复比达到最大值;浸入时间过长,会因热平衡逆转而发生重熔,使包复比减小。

(2) 铜液温度对包复比有较大影响。对于相同浸入时间,铜液过热度越大,包复比相对越小,越有利于获得包复比小的包铜线;反之,越有利于获得包复比大的包铜线。

REFERENCES

- 1 Pleschiutchnigg F-P *et al.* Steel Times, 1995, June. 228~ 229.
- 2 Wan Tianyi(万天一). Copper Forming(铜加工), 1992, 47(3): 24~ 28.
- 3 Zheng Zhemin(郑哲敏) and Yang Zhensheng(杨振声). Explosive Welding(爆炸焊接). Beijing: National Defense Industry Press, 1981.
- 4 Pan D, Gao K and Yu J. Materials Science and Technology, 1989, 5.
- 5 Fei Baojun(费保俊), Zhang Shaoxian(张绍先). Wire and Cable(电线电缆), 1997, 3: 17~ 21.
- 6 Tominaga H *et al.* J Jpn Inst Met, 1988, 27: 5.
- 7 Klaus K. Neue Hutte, 1987, 22(3): 103~ 107.
- 8 Takayama T, Tominaga H. Fujikura Wire Tech, 1987, 73: 5.

Experimental study of inversion casting of copper clad steel

Yu Jiuming, Wang Qunjiao, Xiao Yunzhen, Chen Jinying, Yan Gufeng, Wu Fayu

School of Materials Science and Metallurgy,

Northeastern University, Shenyang 11006, P. R. China

Abstract: Inversion casting technology is a new way for making cladding materials which have characteristics of high efficiency, low consumption and short technological process. Based on the production of copper clad steel wire, the characteristic of inversion casting is introduced, and the rule of parameter influencing cladding specific value systematically value studied. The experimental results are theoretically analyzed.

Key words: inversion casting; copper clad steel wire; cladding specific value

(编辑 彭超群)