

铜包钢线连续挤压包覆模拟实验及机理研究^①

闫琳, 钟毅, 张志豪

(昆明理工大学材料与冶金工程学院, 云南昆明 650093)

摘要 采用模拟实验装置模拟了 CONFORM 连续挤压包覆双金属工艺, 结果表明模拟实验是可行的, 并得出了具有冶金结合界面的 Cu/Steel 复合线材. 根据实验参数, 采用数值模拟的方法研究了 Cu/Steel 双金属连续挤压包覆的成形极限图.

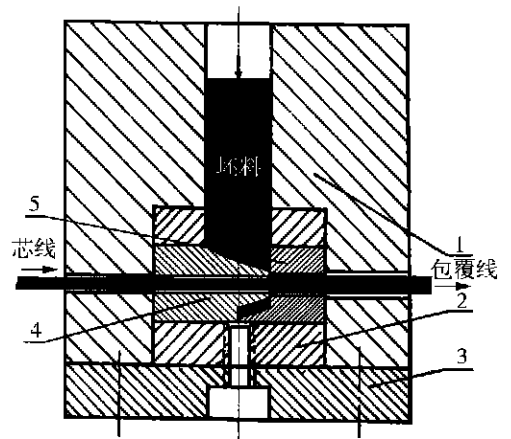
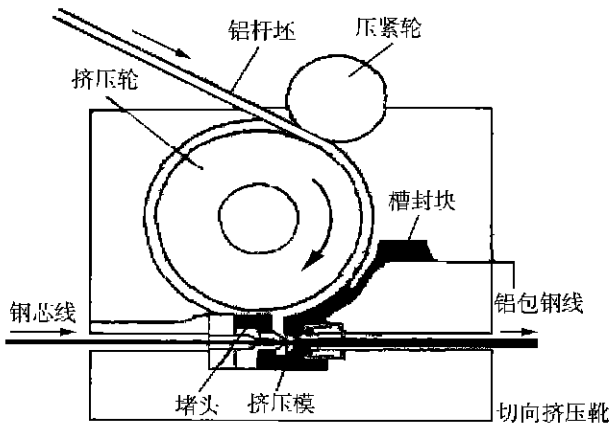
关键词: 连续挤压; 铜包钢复合线材; 成形极限图

中图分类号: TB331 文献标识码: A 文章编号: 1007- 855X(2001)03- 101- 05

0 前言

开发 Cu/Steel 复合材料具有广泛的意义: 首先是为了解决铜市场价格和供应量不稳定的问题, 使其成为节约铜的代用材料; 其次是由于它综合了两种金属的优越性能而具有特殊用途. 铜包钢线根据所用钢芯牌号不同可分为软态和硬态, 软态铜包钢线是用低碳钢作芯体, 而硬态则是用高碳钢. 前者主要用于微电子工业领域, 具有较好的变形性能; 后者主要适用于要求有支承功能的用途. 铜包钢线的主要用途: 铜包钢绳索、电话线、同轴电缆、电键导线、CP 钢丝等^[1].

目前铜包钢线的生产方法主要有: 机械包覆法、熔铜浸渍法、凝结镀膜法和电镀法等. 但是, 这些方法存在着某些缺点, 如熔铜浸渍法生产的 Cu/Steel 复合线材结合界面性能不好. 而采用 CONFORM 连续挤压包覆工艺生产 Cu/Steel 复合线材还未见报道. 基于此, 本文采用模拟实验来模拟 CONFORM 连续挤压包覆工艺并对其机理进行研究.



1- 外挤压筒; 2- 内挤压筒; 3- 固定挡板;
4- 挤压凸模; 5- 挤压凹模

图1 CONFORM 连续挤压包覆双金属的原理图^[2]

图2 CONFORM 连续挤压包覆双金属模拟实验结构原理图

① 收稿日期: 2001- 02- 19;

基金项目: 本文为国家自然科学基金(59705013)和云南省自然科学基金重点项目(98E03Z)资助;

第一作者简介: 闫琳(1976~), 女, 硕士, 主要研究材料学.

1 CONFORM 连续挤压包覆双金属的原理

CONFORM 连续挤压包覆双金属的原理如图 1 所示. 其原理为: 芯线穿过堵头、挤压模及挤压靴的进料孔. 挤压靴上安有防止金属泄漏的槽封块, 槽封块与旋转的挤压轮进料槽组成一个动态的挤压容室, 包覆层杆坯料由挤压轮的进料槽, 通过摩擦力进入挤压容室, 挤压力由包覆料与挤压轮之间的摩擦来形成, 包覆料进入模腔后与芯线复合, 从而形成双金属复合材料^[2].

2 CONFORM 连续挤压包覆双金属的模拟实验

2.1 实验装置

CONFORM 连续挤压包覆 Cu/Steel 的实验装置的结构原理如图 2 所示. 该实验装置利用压力机提供挤压力, 迫使金属通过挤压模孔挤出, 在压力机上实现对 CONFORM 连续挤压包覆双金属过程的模拟.

该模拟实验装置主要由外挤压筒、内挤压筒、固定挡板和挤压模(挤压凸模、挤压凹模)四个部分组成. 其中, 外挤压筒的作用是: 安装及固定内挤压筒, 限制金属向四周流动, 安装锭坯及挤压杆; 内挤压筒的作用是: 安装及固定挤压模; 固定挡板的作用是: 将内、外挤压筒压紧, 防止金属从内、外挤压筒之间的间隙中流出; 挤压模的作用是: 使坯料在一定的挤压力作用下, 通过挤压模, 形成一定形状和尺寸的双金属复合材料.

2.2 模拟实验的可行性

双金属连续挤压模拟实验的基本原理为: 芯线穿过内挤压筒、挤压模及出料孔. 包覆层杆坯料由外挤压筒的进料孔, 通过压力机的挤压力进入挤压容室, 在压力机的压力作用下, 使包覆料进入模腔后与芯线复合, 从而形成双金属复合材料.

对比 CONFORM 连续挤压包覆双金属的基本原理和模拟实验的基本原理可知, CONFORM 连续挤压与模拟实验在原理上是类似的, 其最主要的区别只是提供挤压力的方式不同: CONFORM 连续挤压包覆双金属的挤压力是由覆层材料与挤压轮的摩擦力来提供, 而模拟实验中的挤压力是由压力机的压力来提供, 所以用模拟实验对 CONFORM 连续挤压包覆双金属过程进行模拟是可行的.

2.3 试样

覆层材料为 99.5% 的工业纯铜, 试样为铸态, 其直径为 $\phi 30\text{mm}$, 长度为 50mm, 抗拉强度为 350MPa. 芯线为钢, 其直径为 $\phi 2.0\text{mm}$, 抗拉强度为 700MPa.

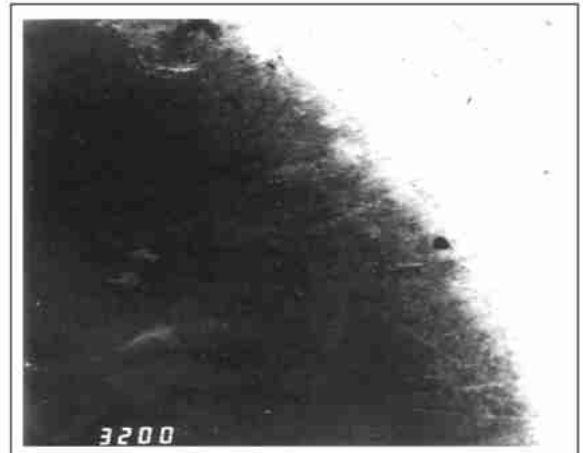
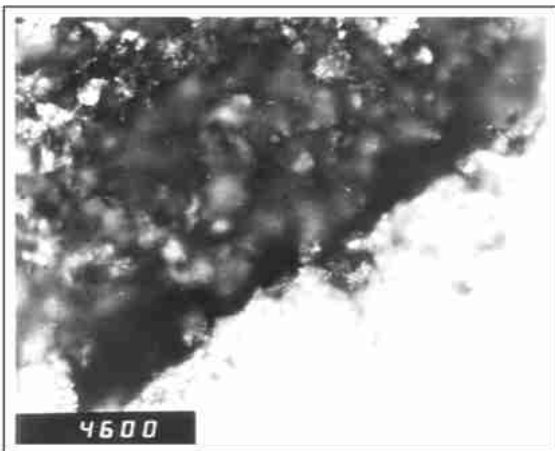


图 3 双金属连续挤压法生产的 Cu/Steel 界面 ($\times 600$ 倍) 图 4 双金属连续挤压法生产的 Cu/Steel 界面 ($\times 200$ 倍)

2.4 挤压实验

挤压实验前, 预先将铜杆坯在箱式电阻炉中预热到 $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保温 2.5 小时, 并直接对挤压装置进行加热, 达到所定温度 ($450\text{ }^{\circ}\text{C}$) 后进行挤压. 包覆后材料直径为 $\phi 6.0\text{mm}$, 挤压比为 $\lambda = 28$, 挤压力为 92T.

3 实验结果

实验得到的 Cu/Steel 双金属复合线表面质量良好, 沿纵向和横向的复合层厚度均匀, 在制品长度方向上的尺寸均匀.

图3及图4是双金属连续挤压模拟实验得到的 Cu/Steel 复合界面的金相照片. 从内外层界面附近的显微组织观察表明: 界面附近无孔洞、空隙、夹杂或裂纹等缺陷的存在, 复合界面洁净平直, 界面焊合状态良好. 而用熔铜浸渍法生产的 Cu/Steel 界面附近存在很宽的裂纹缺陷, 界面的焊合状态不好, 如图5、图6.

为进一步研究界面的结合情况, 采用 EPM A1600 电子探针对上述样品作了面分析和线分析, 如图7、图8所示. 可以看出: 采用双金属连续挤压模拟实验生产的 Cu/Steel 界面为冶金结合(图7a), Cu 元素越过界面向内(钢芯)扩散(图7b). 而熔铜浸渍法生产的 Cu/Steel 的铜和钢之间存在缝隙(图8a、b), 即没有焊合, 其内外层金属仅为一般的机械复合.

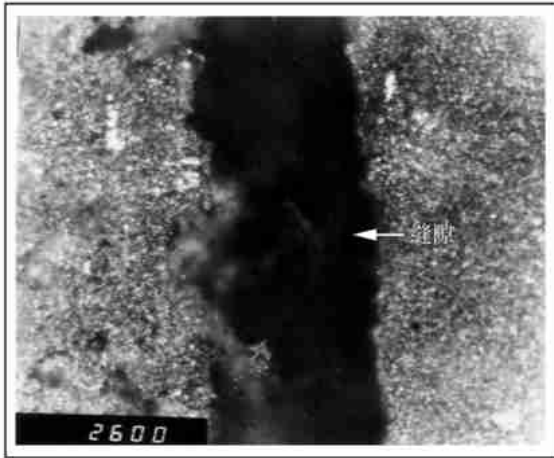


图5 熔铜浸渍法生产的 Cu/Steel 界面($\times 600$ 倍)

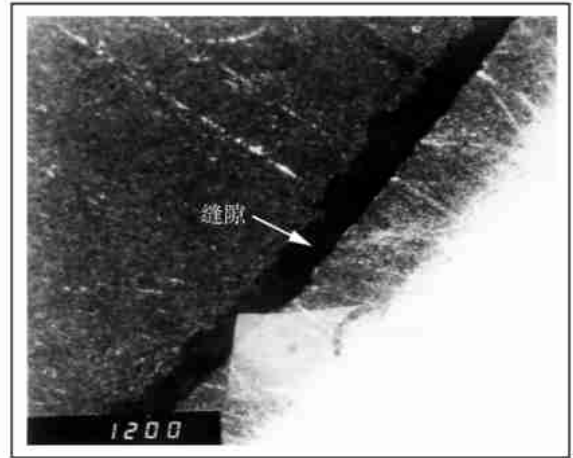
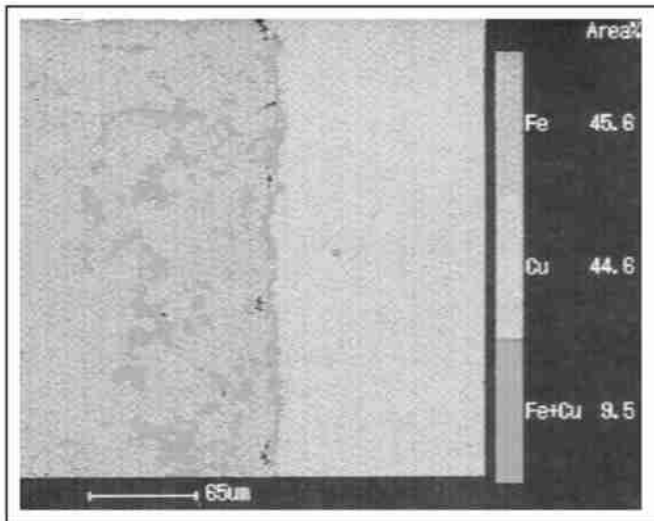
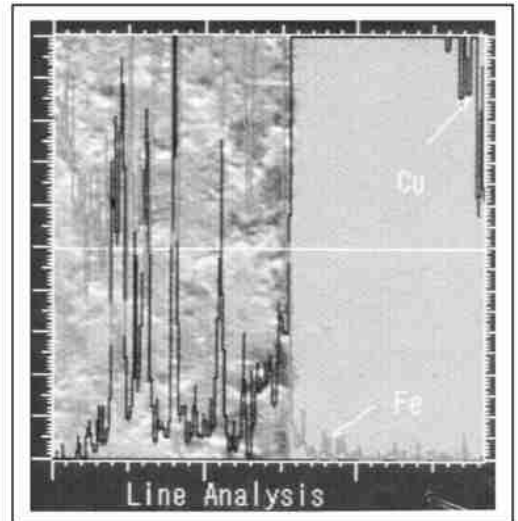


图6 熔铜浸渍法生产的 Cu/Steel 界面($\times 200$ 倍)



(a) 面分析



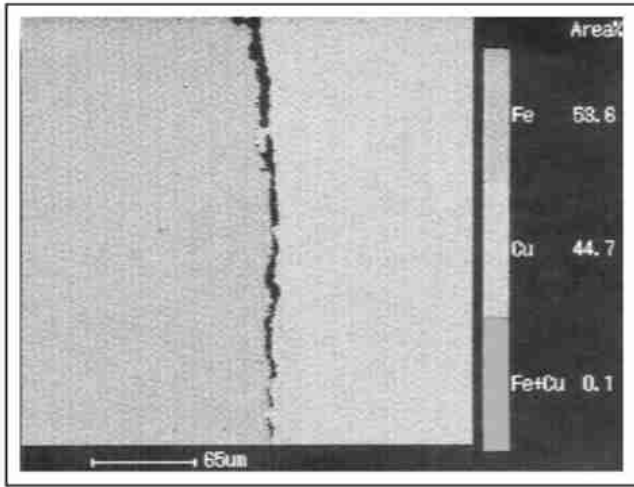
(b) 线分析

图7 双金属连续挤压包覆模拟实验 Cu/Steel 电子探针分析

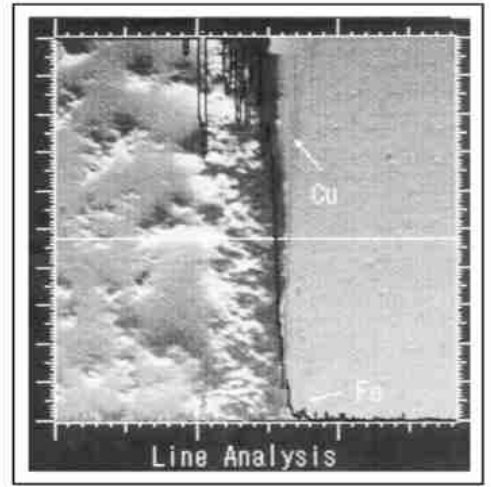
以上结果及分析表明, 在双金属连续挤压包覆模拟实验过程中, 内外层界面是在表面为新生面、无氧化、承受高温和一定压力作用下焊合的, 故可得到良好的焊合界面. 这种高性能的结合界面是用熔铜浸渍法、简单机械包覆等方法所无法实现的.

这些显微分析充分说明了双金属连续挤压包覆模拟实验的可行性, 通过此方法能够获得宏观质量和

微观质量均非常优良的 Cu/Steel 复合线材.



(a) 面分析



(b) 线分析

图 8 熔铜浸渍法 Cu/Steel 电子探针分析

4 机理研究

在双金属连续挤压包覆过程中, 决定包覆可成形性的关键因素即芯线的变形状态, 它基本上可反映连续挤压包覆所涉及的所有工艺问题. 作者等认为在双金属连续挤压包覆变形区存在速度中性点, 以此为界将包覆变形区分成死区(DH) 和静摩擦区(SH) 两段, 它们分别为产生阻碍和促使芯线运动摩擦力的两个变形段. 图 9 为包覆变形模腔中沿芯线压力分布模型, 芯线在成形过程中为自由送料, 在包覆材料作用下, 受到沿轴向分布的压应力 $p(x)$, 由于存在中性点, 覆层材料给予芯线两个方向的摩擦力, 其中 f_1 为阻

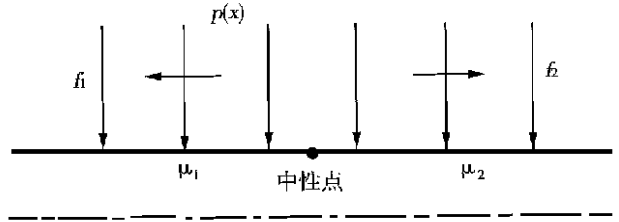


图 9 包覆变形模腔中沿芯线压力分布模型

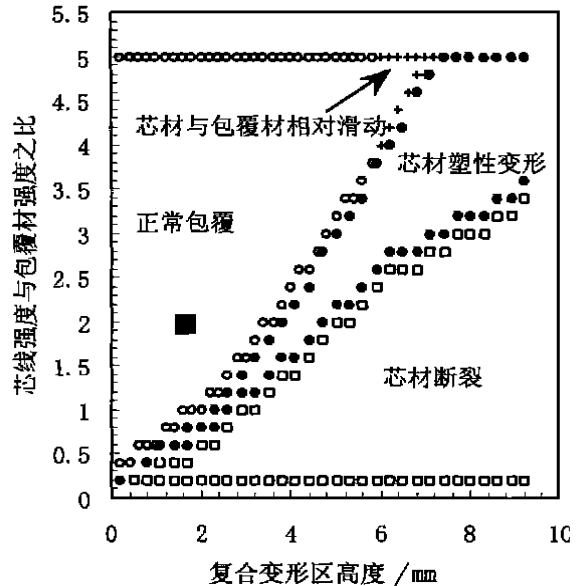
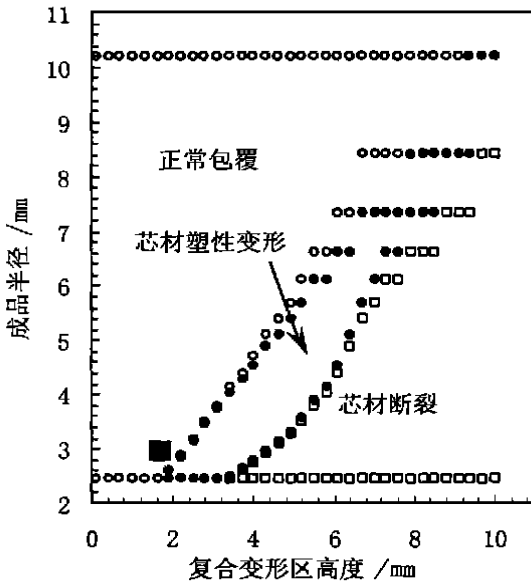


图 10 成品半径与复合变形区高度的关系

图 11 强度比(芯线强度与包覆材强度)与复合变形区高度的关系

力, f_2 为促使芯线向前的力. 芯线在摩擦力和径向压力作用下, 所处的应力状态决定芯线的变形状态, 即

正常包覆、芯材与包覆材相对滑动、芯材塑性变形、芯材断裂. 利用芯线变形状态模型, 通过计算机数值模拟, 可得到不同参数下的包覆成形极限图.

图 10、图 11 是 Cu/Steel 连续挤压包覆的成形极限图, 从图中可以看出, 成品半径越大或芯线强度与包覆材强度之比越大, 复合变形区高度较小, 实现正常包覆的可能性越大. 图中的主要工艺参数如下:

摩擦系数 $\mu_0 = 0.2$; 包覆材强度为 350MPa; 挤压筒半径 $R = 15\text{mm}$; 芯线半径 $R_c = 1\text{mm}$; 成品半径 $R_s = 3\text{mm}$; 挤压比 $\lambda = 28$; 芯线强度与包覆材强度之比 (σ_c/σ_s) 为 2; 复合变形区高度 $h = 1.8\text{mm}$. (图 10、图 11 中“■”表示模拟实验可行工艺参数在成形极限图中的位置).

5 结 论

- (1) 本模拟实验装置对于 CONFORM 连续挤压包覆双金属工艺的模拟是可行的;
- (2) 采用模拟实验制备的 Cu/Steel 复合线材具有良好的冶金结合界面, Cu 元素越过界面向内(钢芯)扩散, 可推广应用于实际连续挤压包覆;
- (3) 从成形极限图可知: 成品半径越大或芯线强度与包覆材强度之比越大, 复合变形区高度较小, 实现正常包覆的可能性越大.

致 谢 张晓辉同学在实验中给予了热情地帮助, 昆明冶金研究院的杨家明高工协助作了电子探针分析, 昆明理工大学的苏云生老师帮助作了金相分析, 在此表示衷心的感谢.

参考文献:

- [1] 万天一. 包铜钢与包铜铝的发展现状[J]. 铜加工, 1992, (3): 24
- [2] 彭大暑. 英国 Conform 连续挤压技术近期的发展[J]. 轻合金加工技术, 1990, (1): 33

The Experimental Simulation and Mechanics of Continuous Cladding Copper / Steel

YAN Lin, ZHONG Yi, ZHANG Zhi-hao

(The Faculty of Materials and Metallurgical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract By using the experimental simulation, the technique of continuous cladding (CONCLAD) bi-metal was simulated. The results show that the experimental simulation is feasible, and Cu/Steel composite wire with metallurgical interface was obtained. The forming limit diagram of CONCLAD Cu/Steel was studied by using numerical simulation.

Key words: CONCLAD, Cu/Steel wire, forming limit diagram