

## 铜包钢 6A 冷拔断丝原因分析和工艺改进

李 皓 郭慧英 张 宇  
(沙钢钢铁研究院, 张家港 215625)

**摘 要** 铜包钢 6A (C: 0.03 ~ 0.06%, Si: 0.02 ~ 0.05%, Mn: 0.15 ~ 0.25%, P ≤ 0.015%, S ≤ 0.015%, Al: 0.02 ~ 0.05%) 冶金生产流程为铁水脱硫-120 t BOF-LF-140 mm × 140 mm 方坯连铸-连轧至 Φ6.5 mm 盘条-退火。运用扫描电镜分析了 Φ6.5 mm 铜包钢 6A 盘条冷拔至 Φ0.45 mm 的断丝。结果表明, Φ0.45 mm 钢丝断口附近的中心线位置存在粗大球化渗碳体团, 在拉拔过程中, 珠光体较铁素体硬度高, 珠光体端部萌生细小的孔隙, 随着拉拔道次的增加, 逐渐扩大成了横向 Y 形裂纹并最终导致断丝。通过将钢中碳和锰含量分别从 0.05% 和 0.23% 降至 0.03% 和 0.17%, 中间包钢水过热度从 35 °C 降至 25 °C, 电磁搅拌由 250 A, 1.2 Hz 优化成 400 A, 1.2 Hz, 改善了盘条中心位置的珠光体团聚现象, 冷拔断丝率从吨钢 1.0 次降低至 0.2 次。

**关键词** 铜包钢 6A 冷拔 断丝 裂纹 珠光体 渗碳体

## An Analysis on Wire Breaking of Copper-Clad steel 6A during Cold-Drawing and Process Improvement

Li Hao, Guo Huiying and Zhang Yu  
(Institute of Research of Iron and Steel, Shasteel, Zhangjiagang 215625)

**Abstract** The metallurgical production flowsheet of copper-clad steel 6A (C: 0.03 ~ 0.06%, Si: 0.02 ~ 0.05%, Mn: 0.15 ~ 0.25%, P ≤ 0.015%, S ≤ 0.015%, Al: 0.02 ~ 0.05%) is hot metal desulphurization-120 t BOF-LF-140 mm × 140 mm billet casting-continuous rolling to Φ6.5 mm coil- annealing. The breaking wire of copper-clad steel 6A during cold-drawing process from Φ6.5 mm cold-drawing to Φ0.45 mm wire has been analyzed by scanning electron microscope. Results show that there are coarse spheroidized cementite clusters at center line near the fracture of Φ0.45 mm wire. During cold-drawing process due to the hardness of pearlite higher than that of ferrite, the fine cavities initiate at tip of pearlite and with increasing drawing passes the cavities evolve as transverse Y- shape cracks finally led to wire breaking. With decreasing carbon and manganese content in steel respectively from 0.05% and 0.23% to 0.03% and 0.17%, decreasing overheating extent of liquid in tundish from 35 °C to 25 °C and optimizing electromagnetic stirring parameters from 250 A, 1.2 Hz to 400 A, 1.2 Hz, the phenomenon of pearlite clusters at coil center is improved and the cold-drawing wire breaking ratio decreases from 1.0 times per ton steel to 0.2 times per ton steel.

**Material Index** Copper-Clad Steel 6A, Cold-Drawing, Wire Breaking, Crack, Pearlite, Cementite

铜包钢线因其既有钢的高强度, 又有铜的优异导电性和抗腐蚀性及良好的可塑性、可焊接性和磁性能而得到广泛应用<sup>[1-2]</sup>, 如电子元器件引线、二极管、电容器接脚线等。铜包钢 Φ6.5 mm 的盘条经过粗拉-退火-镀铜-精拉-退火-镀锡等工序制成 Φ0.45 mm 的钢丝。拉拔过程中的断丝率严重影响产品的质量<sup>[3-4]</sup>, 拉拔断丝的原因可分为原始盘条的质量优劣以及拉拔工艺的匹配与否及生产设备状态是否稳定等多个方面<sup>[5-6]</sup>。

### 1 铜包钢 6A 生产流程和断丝分析

沙钢铜包钢 6A (表 1) 生产工艺为: KR 脱硫站-120 t BOF-120 t LF 精炼-140 mm × 140 mm 方坯连铸-高线轧制。连铸机为 6 机 6 流弧形连铸机, 配有电磁搅拌和二冷配水, 高线轧机为斯太尔摩线。

#### 1.1 断口形貌

观察 Φ0.45 mm 钢丝拉拔断丝样品断口, 呈

表 1 铜包钢 6A 的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of copper-clad steel 6A / %

C	Si	Mn	P	S	Al
0.03 ~ 0.06	0.02 ~ 0.05	0.15 ~ 0.25	≤ 0.015	≤ 0.015	0.02 ~ 0.05

现笔尖状, 与拉拔方向约成 45° 夹角。断口附近掰断后, 同样呈现笔尖状。使用扫描电镜观察断口横截面, 笔尖尖端在中心位置附近, 见图 1。

Φ0.45 mm 钢丝断丝的裂纹呈现 3 种形态分布: 独立分布的裂纹; 部分连接的裂纹; 扩展并完全连接的裂纹。裂纹与拉拔方向约为 45° 夹角, 最大的裂纹宽度超过 200 μm, 呈现横向 Y 形特征, 见图 2。

#### 1.2 金相组织

观察 Φ0.45 mm 钢丝拉拔断丝样品的纵剖面组织形貌, 组织为细长的铁素体和球化渗碳体, 见图 3(a, b)。中心位置出现大量的粗大的球化渗碳

体团,该组织沿拉拔方向变形量较小,部分渗碳体团仍然保留了珠光体的形貌特征,在组织的端部存在横向 Y 形的孔隙,见图 3(c,d)。

### 1.3 原始盘条

使用金相显微镜观察断丝炉次的  $\Phi 6.5$  mm 盘条纵剖面,发现沿中心线位置存在断续分布的黑点,使用扫描电镜观察,发现为沿晶界分布的珠光体,珠光体首尾相连形成团状分布,宽度在  $4 \sim 8 \mu\text{m}$ ,见图 4。

盘条沿中心线位置分布的连续团状珠光体,因为其硬度较周围的铁素体高,即珠光体的变形能力较铁素体小,导致铁素体先沿拉拔方向被拉长,而团状珠光体由于变形能力小从而与其相邻的铁素体在界面处分离,形成横向 Y 形的细小孔隙,随着拉拔的进行,

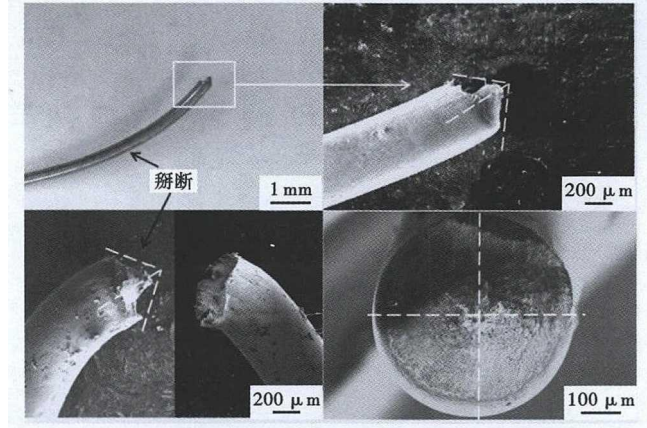


图 1 铜包钢 6A  $\Phi 0.45$  mm 钢丝的断口形貌  
Fig.1 Morphology of fracture of copper-clad steel 6A  $\Phi 0.45$  mm wire

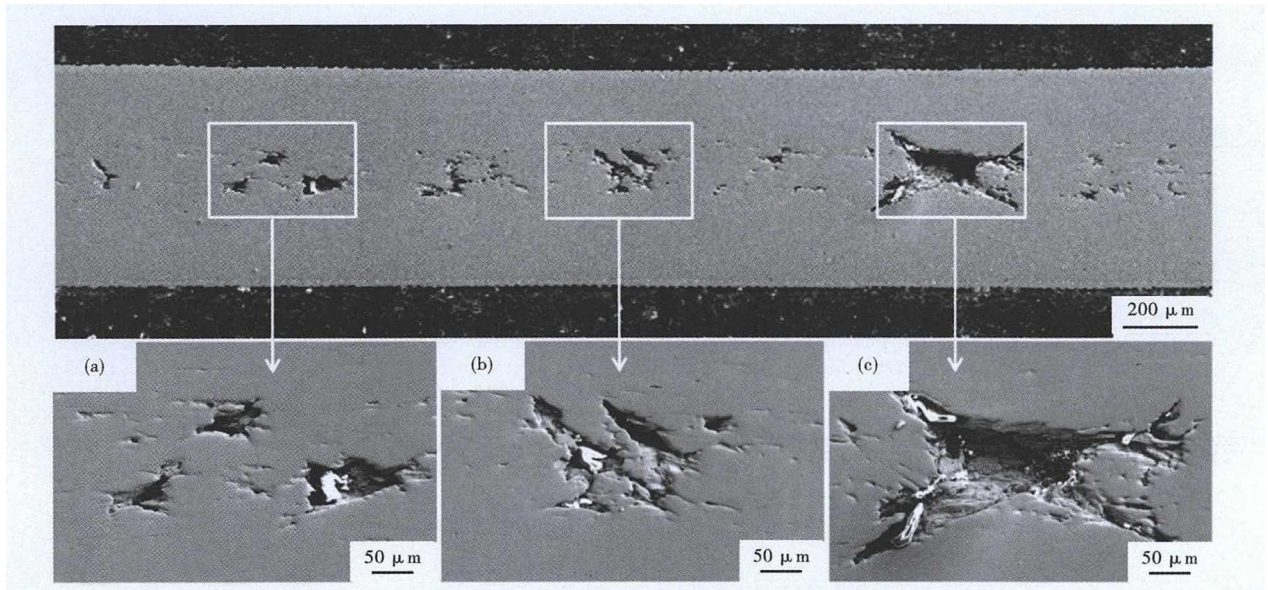


图 2 铜包钢 6A  $\Phi 0.45$  mm 钢丝断口的纵向剖面裂纹形貌:(a)独立分布;(b)部分连接;(c)完全连接

Fig.2 Morphology of cracks at longitudinal section of breaking  $\Phi 0.45$  mm wire of copper-clad steel 6A: (a) independent distribution; (b) partial connecting; and (c) complete connecting

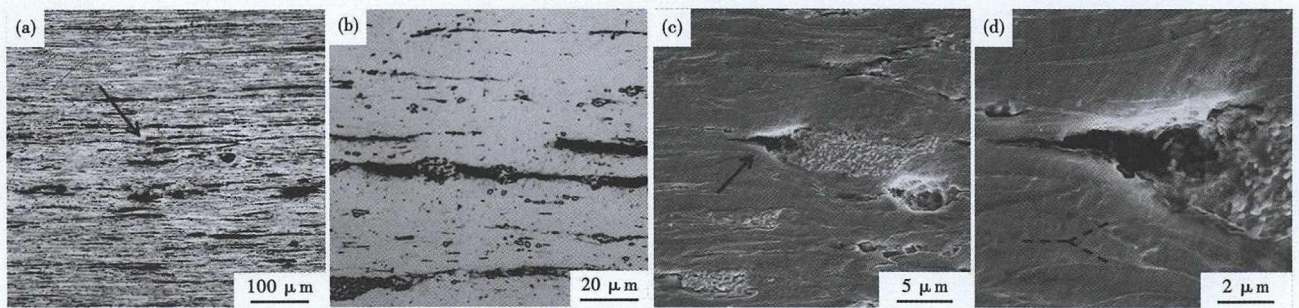


图 3 铜包钢 6A  $\Phi 0.45$  mm 冷拔断裂钢丝纵向剖面的组织形貌 (a) (b) 和团状球化渗碳体及孔隙形貌 (c) (d)

Fig.3 Morphology of longitudinal section structure of cold-drawing breaking  $\Phi 0.45$  mm wire (a) and (b), and morphology of spheroidized cementite clusters and cavities (c) and (d), copper-clad steel 6A

孔隙逐渐发展成横向 Y 形的裂纹源,大量的 Y 形裂纹源经过扩展,不断地与周围的裂纹相互连接,在中

心线位置形成横向 Y 形的裂纹,当裂纹宽度达到钢丝拉拔极限时发生断裂,断口呈现笔尖状。

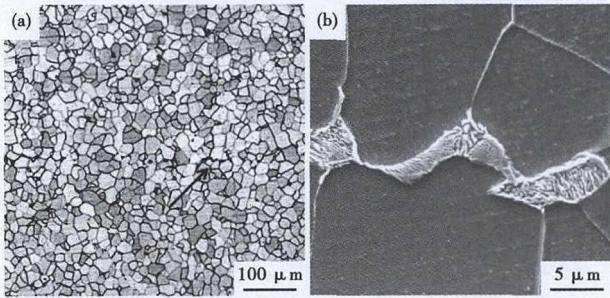


图 4 断丝炉次  $\Phi 6.5$  mm 盘条纵向剖面中心组织(a)和珠光体(b)形貌

Fig. 4 Morphology of longitudinal section center structure (a) and pearlite (b) of wire-breaking heats  $\Phi 6.5$  mm coil

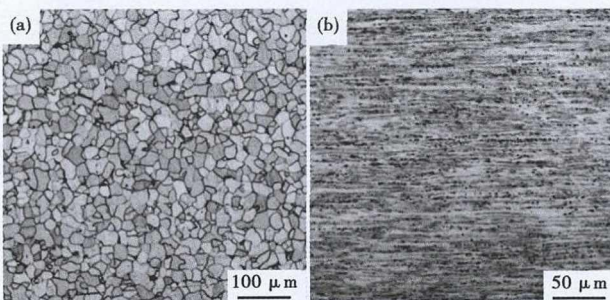


图 5 工艺改进后铜包钢 6A  $\Phi 6.5$  mm 热轧盘条(a)和  $\Phi 0.45$  mm 冷拔钢丝(b)纵向剖面中心组织形貌

Fig. 5 Morphology of longitudinal section center structure of  $\Phi 6.5$  mm hot-rolled coil (a) and  $\Phi 0.45$  mm cold-drawing wire (b) of copper-clad steel 6A after process improvement

## 2 改进工艺及效果

铜包钢 6A 的成分及工艺优化为:(1)降低合金 C、Mn 成分设计,减少珠光体形成的体积分数,见表 2。(2)降低过热度并增加末端电磁搅拌的电流,减少盘条中心偏析形成的概率,见表 3。

通过以上措施,使用金相显微镜在观察铜包钢 6A 的盘条沿纵剖面的中心线位置,未见断续分布的团状珠光体;使用金相显微镜在观察钢丝中沿纵剖面中心线位置,未见团状分布的球化渗碳体,见图 5。

使用金相显微镜观察钢丝中沿纵剖面中心线位置,发现连续分布的黑线,使用扫描电镜观察,发现为沿晶界分布的球化渗碳体,颗粒尺寸不超过  $1 \mu\text{m}$ ,分布宽度不超过  $2 \mu\text{m}$ ,渗碳体与铁素体界面未见横向 Y 形裂纹,见图 6。

表 2 工艺改进前后铜包钢 6A 的化学成分/%

Table 2 Chemical composition of copper-clad steel 6A before and after process improvement / %

工艺	C	Si	Mn	P	S	Al
改进前	0.05	0.03	0.23	$\leq 0.015$	$\leq 0.015$	0.03
改进后	0.03	0.03	0.17	$\leq 0.015$	$\leq 0.015$	0.03

表 3 工艺改进前后铜包钢 6A 连铸工艺参数

Table 3 Parameters of casting process of copper-clad steel 6A before and after process improvement

工艺参数	过热度/ ℃	拉速/ ( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ )	结晶器水量/ ( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ )	电磁搅拌	
				电流/A	频率/Hz
改进前	35	2.5	1 800	350	1.2
改进后	25	2.5	1 800	400	1.2

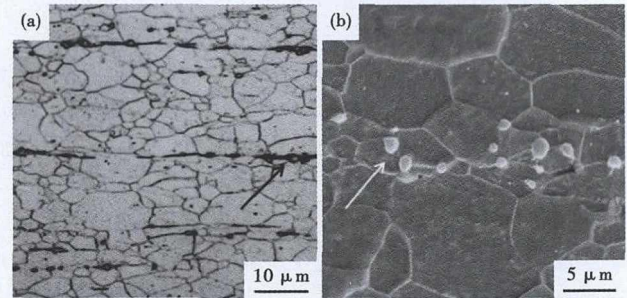


图 6 工艺改进后铜包钢 6A  $\Phi 0.45$  mm 钢丝中的球化渗碳体分布:(a)光学,(b)扫描电镜

Fig. 6 Distribution of spheroidized cementite in  $\Phi 0.45$  mm cold-drawing wire of copper-clad steel 6A after process improvement: (a) optical; (b) SEM

工艺改进后的盘条使用相同冷拔工艺进行生产铜包钢 6A 盘条  $\Phi 0.45$  mm 冷拔钢丝约 100 t,冷拔断丝率从吨钢 1 次降低至 0.2 次。

## 3 结论

(1)铜包钢 6A 冷拔断丝由盘条中心位置的珠光体偏聚导致,在冷拔过程中粗大的珠光体端部先萌生细小的孔隙,随冷拔道次的增加,逐渐扩展成横向 Y 形的裂纹,并最终导致断丝。

(2)通过降低钢中碳和锰含量,降低连铸过热度及电磁搅拌工艺优化,盘条中心珠光体偏聚现象得到改善,成品钢丝中渗碳体呈直线状分布,降低了冷拔断丝率。

### 参考文献

- [1] 贺飞,刘利梅,钟云,等.铜包钢线材及其生产工艺[J].表面技术,2007,36(5):78-90.
- [2] Fei Bao-jun, Fei Ming-bing and Chen Zheng-hong. High Electric Conduction Property of Composite Copper-Clad Steel Wire[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2001, 15(6): 15-20.
- [3] 戴宝昌.重要用途线材制品生产新技术[M].北京:冶金工业出版社,2001.
- [4] 任安超,曾彤,帅习元,等.铜包钢线的发展及前景[J].天津冶金,2016,198(2):23-25.
- [5] 高永彬,冯立建,朱标.焊接用线材拉拔断裂分析[J].金属制品,2009,35(5):61-66.
- [6] 陈方玉.82B 线材笔尖状断裂形貌成因分析[J].武钢技术,2005,43(5):12-23.

李皓(1992-),男,硕士(2018年东北大学),助理研究员,2015年东北大学(本科)毕业,棒线材新产品。

E-mail:67507316@qq.com

收稿日期:2018-08-19