

## 2.5 mm × 10 mm 65Mn 扁钢丝表面横裂纹原因分析和工艺改进

贾旭岗 杨晓奇 梁世勇

(安阳钢铁股份有限公司第一炼轧厂, 安阳 455004)

**摘要** 由 65Mn 钢( /% : 0.65C, 0.24Si, 1.00Mn, 0.014P, 0.006S)  $\Phi 6.5$  mm 盘条冷拔和轧制的 2.5 mm × 10 mm 扁钢丝出现表面横裂现象。通过对缺陷分析, 得出由于铸坯表面增碳, 使盘条表面形成条带状分布的块状碳化物的异常组织, 并在冷拔过程中异常组织处形成微裂纹, 在轧制压扁阶段, 微裂纹扩展、合并形成宏观裂纹。连铸过程中钢液卷入保护渣富碳层会造成连铸坯局部表面增碳。通过改进 150 mm × 150 mm 方坯连铸工艺, 即液面波动由 7~8 mm 降低 3~4 mm, 浸入式水口插入深度由 70~80 mm 增至 90~100 mm, 保护渣粘度由 0.35 Pa · s 优化成 0.40 Pa · s, 连铸拉速由 2.1~2.4 m/min 降至 2.1~2.2 m/min, 65Mn 扁钢丝的表面横裂纹率由原来的 2.33% 降至 0。

**关键词** 65Mn 钢 150 mm × 150 mm 连铸坯 2.5 mm × 10 mm 扁钢丝 横裂 表面增碳 异常组织 工艺改进

## An Analysis on Factors of Surface Transversal Cracks of Steel 65Mn 2.5 mm × 10 mm Flat Wire and Process Improvement

Jia Xugang, Yang Xiaoqi and Liang Shiyong

(First Steelmaking Mill, Anyang Iron and Steel Co Ltd, Anyang 455004)

**Abstract** The surface transversal cracks occur on steel 65Mn ( /% : 0.65C, 0.24Si, 1.00Mn, 0.014P, 0.006S) 2.5 mm × 10 mm flat wire cold-drawn and rolled by  $\Phi 6.5$  mm Coil. With analysis on defects it is obtained that due to casting billet surface carburization the abnormal structure of carbide block with strip distribution forms on coil surface, and in cold-drawing process the micro cracks form at abnormal structure and in flat-rolling process the micro cracks develop and combine to macro cracks. During casting process the liquid entraps enriched carbon layer of mold flux led to casting billet local surface carburization. With improving the 150 mm × 150 mm billet casting process including decreasing liquid surface fluctuating extend from original 7~8 mm to 3~4 mm, increasing depth of immersion nozzle from 70~80 mm to 90~100 mm, optimizing viscosity of mold powder from 0.35 Pa · s to 0.40 Pa · s and decreasing casting speed from 2.1~2.4 m/min to 2.1~2.2 m/min, the ratio of surface cracks of steel 65Mn flat wire decreases from original 2.33% to 0.

**Material Index** Steel 65Mn, 150 mm × 150 mm Casting Billet, 2.5 mm × 10 mm Flat Wire, Transversal Cracks, Surface Carburization, Abnormal Structure, Process Improvement

65Mn 碳素弹簧钢丝经适当的加工或热处理, 可以获得很高的抗拉强度、足够的韧性和良好的疲劳寿命, 通常用于制作截面较小、工作温度较低的弹簧<sup>[1]</sup>。而 65Mn 盘条作为弹簧钢丝的原材料, 要求其具有良好的表面质量、均匀的化学成分及良好的塑性变形能力。最近, 安阳钢铁股份有限公司( 安阳) 的  $\Phi 6.5$  mm 65Mn 盘条供用户生产 2.5 mm × 10 mm 扁钢丝时, 在连续轧制压扁阶段出现批量的表面横裂现象, 本文对此进行了分析研究。

### 1 用户加工方法及缺陷宏观形貌

#### 1.1 用户加工方法

$\Phi 6.5$  mm 盘条检验→酸洗、磷化→拉拔→粗轧→铅浴热处理→电解酸洗→连续轧制压扁→探伤→包装→成品入库。

该用户反映在酸洗、磷化、拉拔、粗轧、铅浴热处理过程中均未发现异常, 但在后续连续轧制压扁过程中发现表面存在横向裂纹现象。

#### 1.2 缺陷宏观形貌

该横向裂纹分布于扁钢丝的两侧, 少量分布于轧制面上, 裂纹大小基本相同, 分布均匀。扁钢丝表面横向裂纹宏观形貌如图 1 所示。

### 2 缺陷试样分析方法

(1) 利用 ARL 4460 直读光谱仪对该批次盘条进行化学成分分析;

(2) 利用 ZEISS Observer A1m 金相显微镜对试样缺陷部位进行金相组织分析;

(3) 利用 FEI Quanta 200 扫描电镜对缺陷附近组织进行形貌及能谱分析。

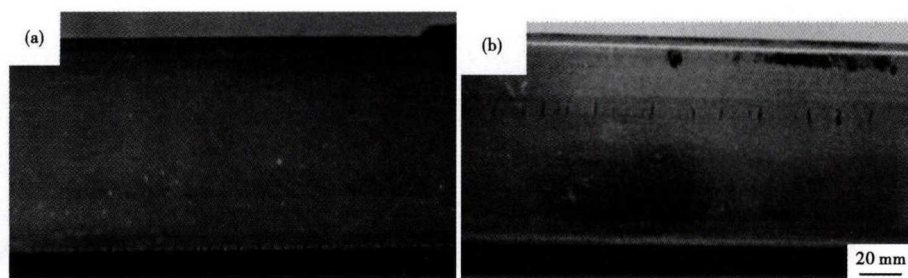


图1 2.5 mm × 10 mm 65Mn 扁钢丝表面两侧处(a)和轧制面处(b)横向裂纹形貌  
Fig. 1 Morphology of surface transversal cracks at both side (a) and rolling face (b) of 2.5 mm × 10 mm flat wire of steel 65Mn

表1 65Mn 钢 Φ6.5 mm 盘条的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of Φ6.5 mm coil of steel 65Mn / %

项目	C	Si	Mn	P	S
缺陷盘条	0.65	0.24	1.00	0.014	0.006
内控	0.64~0.67	0.20~0.35	0.95~1.10	≤0.020	≤0.015

### 3 检测结果及分析

#### 3.1 化学成分检测

对取回的 65Mn 盘条进行化学成分分析,结果如表 1 所示。由表 1 检测结果可见,各元素成分均符合安钢生产盘条钢的内控成分要求。

#### 3.2 金相组织分析

在试样缺陷处取样,酸浸后进行金相组织分析,其形貌如图 2(a) 所示。由图 2(a) 可看出,在扁钢丝的近表面存在一厚度约为 110 μm 的白色条带状异常组织区域,而裂纹主要发生在异常组织区域内。对近表面异常组织进行局部放大观察,发现白色条带状区域存在白色块状组织。

#### 3.3 扫描电镜及能谱分析

利用扫描电子显微镜对白色块状组织进行形貌及能谱分析,分析结果如图 2(b, c) 所示。从图 2(c) 能谱曲线可以看出,白色块状组织为铁锰碳化物。同样对裂纹附近组织也进行能谱分析,发现裂纹附近组织也同白色块状组织一样存在碳、锰元素的偏析。白色块状组织和裂纹附近组织光谱分析结果见表 2。

### 4 分析讨论

#### 4.1 横裂纹产生的原因

根据检测结果分析可知,65Mn 扁钢丝裂纹附近存在条带状分布的碳化物,而正常基体组织为索氏体。碳化物与索氏体相比硬度高、塑性差。因此,扁钢丝横裂的产生与盘条近表面条带状分布的白色碳化物有密切关系。在拉拔过程中由于白色碳化物与基体组织变形能力不一致,在白色碳化物处形成应力集中,从而碳化物与基体组织之间的界面被撕裂,形成微裂纹<sup>[2-3]</sup>。在后续连续轧制压扁加工中,微裂纹扩张、合并,形成连续密集的表面横裂纹。

#### 4.2 白色碳化物形成的原因

连铸冷却凝固过程中,局部的偏析峰可能会导致形成碳化物、碳氮化物或硫化物沉淀。如形成硫化物、碳化物或氮化物的元素含量足够高,就会形成网状沉淀物,它会导致裂纹的产生和扩展。不同钢种的偏析取决于化学成分,尤其是碳含量。凝固过

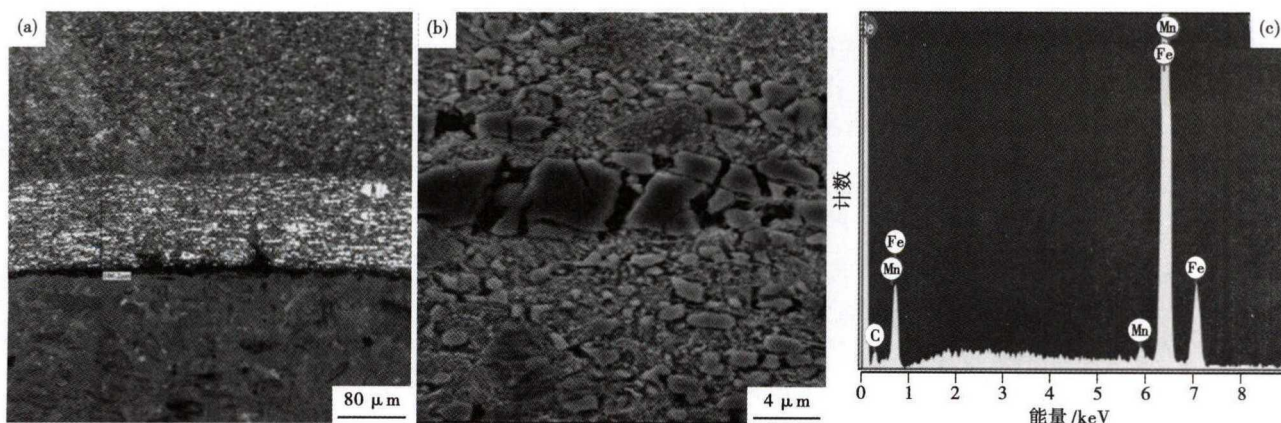


图2 65Mn 钢 2.5 mm × 10 mm 扁钢丝裂纹处组织形貌(a),裂纹处异常组织 SEM 形貌(b)和能谱图(c)

Fig. 2 Morphology of structure near cracks (a), SEM morphology of abnormal structure (b) and energy spectrum analysis (c), 2.5 mm × 10 mm flat wire of steel 65Mn

表 2 65Mn 钢 2.5 mm × 10 mm 扁钢丝异常组织及裂纹附近组织成分/%

Table 2 Analysis of abnormal structure and structure near cracks of 2.5 mm × 10 mm flat wire of steel 65Mn /%

样品区域	C		Mn		Fe	
异常组织	7.39	27.05	1.30	1.04	91.31	71.91
裂纹附近组织	4.30	17.28	1.06	0.93	94.64	81.79

程中,碳元素的偏析也会加剧锰元素的偏析<sup>[4]</sup>。因此,在白色碳化物的能谱检测结果中也发现了锰元素偏析。

连铸非稳态浇铸时,钢水接触或卷入保护渣中的富碳层,是造成连铸坯局部增碳的主要原因。

## 5 连铸坯表面增碳的原因及改进措施

### 5.1 连铸坯表面增碳的原因

为了控制保护渣的熔化速度和保温性能,保护渣中通常都要进行配炭。炭类材料以炭黑、石墨或焦粉的形式加入。保护渣熔化过程中,在熔渣层和烧结层之间存在富碳层,富碳层厚度为 0.3 ~ 3.0 mm,碳含量可达 0.10% ~ 0.40%。钢水接触或卷入保护渣富碳层,就会发生表面渗碳或增碳现象<sup>[5]</sup>。

### 5.2 改进措施

通过分析可知,要减少或者杜绝连铸坯表面增碳现象,就要保证结晶器钢液面的稳定性。对于安钢 150 mm × 150 mm 铸坯具体改进措施如下:

(1)保持结晶器液面控制系统的稳定性,结晶器液面波动幅度 ≤ 5 mm。同时做好执行机构灵活性、伺服电机系统稳定性的检查和维护。

(2)保证浸入式水口插入深度。避免水口插入深度过浅后,出现钢液回流卷渣现象。

(3)在保证铸坯润滑时适当提高保护渣粘度。

(4)在调节水口渣线时,要适当降低拉坯速度。

表 3 65Mn 钢 150 mm × 150 mm 铸坯改进前后连铸工艺参数比较

Table 3 Comparison of casting parameters for steel 65Mn 150 mm × 150 mm billet before and after process improvement

工艺	液面波动/mm	浸入式水口最小插入深度/mm	保护渣粘度/(Pa·s)	拉速/(m·min <sup>-1</sup> )	头尾改判比例/%
改进前	7~8	70~80	0.35	2.1~2.4	2.40
改进后	3~8	90~100	0.40	2.1~2.2	2.80

(5)连铸开浇、终浇等非稳态浇铸铸坯要单独标识存放,可作为普通弹簧钢丝用铸坯使用。

改进前后工艺参数比较见表 3。

### 5.3 改进效果

对工艺参数进行优化后,先后生产了 65Mn 铸坯 1 300 t。随后对该铸坯生产的盘条分 3 次轧制扁钢丝,扁钢丝表面横裂率由原来的 2.33% 降低为 0。

## 6 结论

(1)通过裂纹宏观形貌观察、化学成分、金相组织和扫描电镜分析方法对 65Mn 弹簧钢丝表面横向裂纹进行了系统分析,结果表明,弹簧钢丝表面条带状分布的白色碳化物异常组织是产生横裂的主要原因。

(2)连铸冷却凝固过程中,局部的偏析峰可能会导致形成碳化物、碳氮化物或硫化物沉淀。如形成硫化物、碳化物或氮化物的元素含量足够高,就会形成网状沉淀物,它会导致裂纹的产生和扩展。

(3)连铸非稳态浇铸时,钢水接触或卷入保护渣中的富碳层,是造成连铸坯局部增碳的主要原因。

(4)通过提高连铸结晶器液面稳定性,避免连铸坯表面渗碳或增碳现象等工艺措施,使扁钢丝表面横裂率由原 2.33% 降至 0。

## 参考文献

- [1] 徐效谦,阴绍芬.特殊钢钢丝[M].北京:冶金工业出版社,2005:334-336.
- [2] 王明娣.65 钢扁钢丝开裂原因分析[J].材料热处理技术,2011,40(22):205-207.
- [3] 刘伟,王妍,王智轶.82B 高线盘条拉拔表面横裂原因分析[C].长沙:2016 年(第十九届)全国炼钢学术会议论文集,2016:318-320.
- [4] Ilie S, PreBlinger H, Reisinger P, 等.连铸过程中锰元素的偏析行为研究[C].德国杜塞尔多夫:第二届中德(欧)冶金技术研讨会论文集,中国金属学会,2007,178-182.
- [5] 李殿明,邵明天,杨宪礼,等.连铸结晶器保护渣应用技术[M].北京:冶金工业出版社,2008:222-223.

贾旭岗(1979-),男,工程师,2004 年河北理工大学(本科)毕业,冶金工艺研究和新产品开发。

E-mail:jiaxg@ angang.com.cn

收稿日期:2017-04-20