

· 工艺技术 ·

## 低碳钢连铸方坯角部横裂形成分析和控制工艺

钱刚<sup>1,2</sup> 阮小江<sup>1,2</sup> 冷永嘉<sup>2</sup>

(1 北京科技大学,北京 100083;2 江阴兴澄特种钢铁有限公司一炼钢厂,江阴 214429)

**摘要** 兴澄特钢 300 mm × 320 mm 低碳钢铸坯酸洗后,可观察到铸坯角部振痕波谷处的横向裂纹,其长度为 10 ~ 30 mm,最大宽度达 2 mm。生产实践表明,当 SA-210 系列锅炉钢(% :0.13 ~ 0.25C,0.45 ~ 1.10Mn)的 [Al<sub>1</sub>] 从 0.009% 增加至 0.021% 时,铸坯角部横裂指数从 0.03 增加到 2.64。因微量钛能改善钢在较低变形速率下的热成型性,钢中加微量钛,可以明显减少铸坯角部横裂的产生。通过控制加 Al 量使 [Al<sub>1</sub>] ≤ 0.010%,加 Ti 使 [Ti] ≈ 0.02%,同时采用提高钢水流动性和铸坯矫直温度 ≥ 900 °C 等措施,避免了 SA-210C 钢的铸坯角部横裂的产生。

**关键词** 连铸方坯 低碳钢 角部横裂 [Al<sub>1</sub>] [Ti]

## Analysis on Formation of Transverse Crack at Corner of Concasting Bloom of Low Carbon Steel and Control Technology

Qian Gang<sup>1,2</sup>, Ruan Xiaojiang<sup>1,2</sup>, Leng Yonglei<sup>2</sup>

(1 University of Science and Technology, Beijing 100083;  
2 No. 1 Steelmaking Plant, Jiangyin Xingcheng Special Steel Co Ltd, Jiangyin 214429)

**Abstract** The transverse cracks with length 10 ~ 30 mm and maximum wide 2 mm at billet corner vibrating mark trough of pickled 300 mm × 320 mm low carbon steel cast bloom produced at Xingcheng special Steel were observed. The production practice indicated that as [Al<sub>1</sub>] of SA-210 series steel for boiler (0.13 ~ 0.25C, 0.45 ~ 1.10Mn) increased from 0.009% to 0.021% the index of transverse crack at corner of casting bloom increased from 0.03 to 2.64, while with adding micro titanium in steel the transverse crack at corner of casting bloom decreased obviously as micro titanium is available to improve hot forming ability of steel at lower deformation rate. The formation of transverse crack at corner of casting bloom of SA-210C steel was avoided by control adding Al amount to ensure [Al<sub>1</sub>] ≤ 0.010%, adding Ti to get about 0.02% [Ti], and adopting the operation measures such as to increase molten steel flowability and cast bloom straightening temperature ≥ 900 °C.

**Material Index** Concasting Bloom, Low Carbon Steel, Transverse Crack at Corner, [Al<sub>1</sub>], [Ti]

兴澄特钢在生产 0.20% C 钢时,经检验发现部分铸坯角部存在横裂,内弧面尤为严重,在轧制后形成轧材表面的三角裂纹,导致轧材修磨量增加。为提高铸坯表面质量,向轧钢提供无缺陷的连铸坯,必须解决此类钢种的铸坯角部横裂问题。为此,结合相关钢种,对连铸坯角部横裂进行解剖酸洗,检验分析裂纹的成分组织、密度变化、裂纹形态、深度等。根据检验结果,参阅国内外有关文献,确定连铸方坯角部横裂产生的原因。据此采取措施,取得了预期的效果。

### 1 检验方法和铸坯角裂特征

铸坯生产工艺为:100 t 超高功率直流电弧炉<sup>[1]</sup>钢包精炼炉(LF)-VD-DEMAG 5 机 5 流 300 mm × 320 mm 方坯合金钢连铸机。

铸坯的检验程序为:(1) 每个浇次头、中、尾在

任意流各取 2 支铸坯;(2) 将铸坯用盐酸溶液酸洗后清洗铸坯表面;(3) 观察铸坯角部横裂的情况,统计单位长度和裂纹数。

300 mm × 320 mm 低碳钢铸坯的表面横裂纹经常发生在振痕波谷处,且振痕深时,更易在波谷处产生横裂纹。

对铸坯进行酸洗后可以看出横裂纹位于铸坯角部振痕波谷处(如图 1a),并向两面延伸。长度 10 ~ 30 mm 不等,宽度最大可达 2 mm,内弧比外弧严重,一般呈间断的密集分布,也有零星的角部横裂纹。铸坯在经过轧制成 Φ80 mm 圆管坯后表现为轧材表面的三角裂(如图 1b)。

### 2 铸坯裂纹产生因素的分析

在实际生产过程中,发现 SA-210 系列高压锅炉管坯用钢(表 1)连铸坯内弧角部在振痕波谷处容易

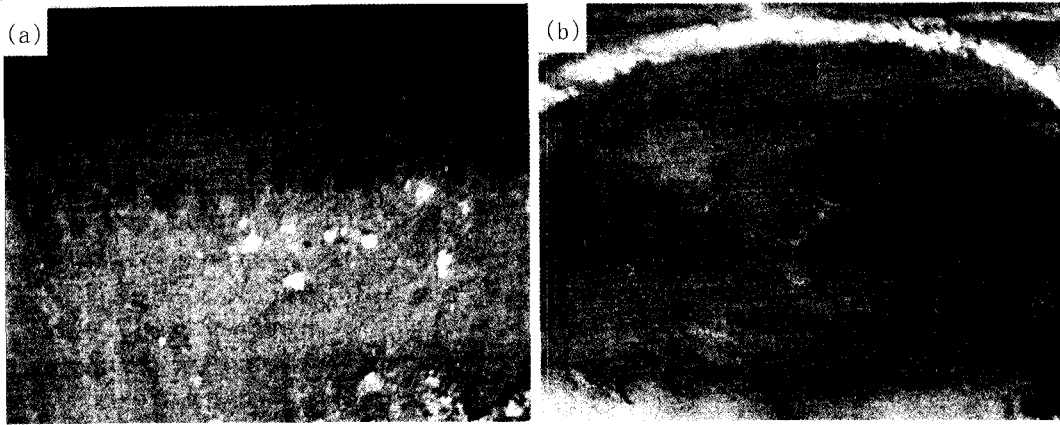


图 1 SA-210C 锅炉钢 300 mm × 320 mm 铸坯角部横裂(a); Φ80 mm 轧材表面三角裂(b)

Fig. 1 Transverse cracks at corner of 300 mm × 320 mm cast bloom (a) and surface triangular crack of Φ80 mm finished products (b) of SA-210C boiler steel

表 1 SA-210 系列高压锅炉钢圆管坯的主要化学成分/%  
Table 1 Main chemical composition of SA-210 series high pressure boiler steel for round tube blank / %

C	Mn	Si	P	S	Cu
0.13~0.25	0.45~1.10	0.17~0.37	≤0.025	≤0.020	≤0.20

产生横裂纹。影响横裂纹产生的因素较多,如:化学成分、振痕、液面波动、保护渣、矫直温度等。

2.1 C 含量

当[C] = 0.09% ~ 0.16% 时,弯月面附近坯壳 δ → γ 相变收缩较大,凝固壳的凝固不均匀;在这一成分范围,铸态奥氏体晶粒粗大,延伸率低,对裂纹非常敏感。因此,控制 SA-210 系列锅炉钢的含碳量 ≥ 0.18% 时,可避开这一裂纹敏感 C 含量区域。

2.2 Al 含量

Al 既是脱氧剂又是微合金元素,作为脱氧剂,钢中至少含 0.020% Al。酸溶铝 [Al<sub>s</sub>] 常用作微合金化元素来结合钢中的氮,形成 AlN,可以阻止钢中奥氏体晶粒长大,细化铁素体晶粒,具有可焊结构钢所要求的抗时效性,可得到提高塑性各向异性改善钢板深冲性能(r 值)的有利织构,但对钢的热成形起负面影响<sup>[2]</sup>。此外钢中存在链状 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 或含 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 夹杂物,也易在高压下成为裂纹源<sup>[3]</sup>。

在 SA-210C 钢的实际生产中发现,在 [N] 与工艺条件相同的情况下,随 [Al<sub>s</sub>] 的增加,铸坯角部裂纹指数明显增加。当 [Al<sub>s</sub>] ≤ 0.010%, 铸坯角部裂纹指数相对较低(表 2,图 2)。角部横向裂纹指数为铸坯酸洗后每米长度平均角部横裂的条数。

可见限制钢中 Al 含量应是防止低碳钢铸坯角部横裂的主要措施之一。

表 2 [Al<sub>s</sub>] 对 SA-210C 锅炉钢 300 mm × 320 mm 铸坯角部横向裂纹指数的影响

Table 2 Effect of [Al<sub>s</sub>] on index of transverse cracks at corner of 300 mm × 320 mm cast bloom of SA-210C boiler steel

序号	[Al <sub>s</sub> ]/%	铸坯角部裂纹指数/(条·m <sup>-1</sup> )
1	0.009	0.03
2	0.016	1.41
3	0.011	0.94
4	0.008	0.07
5	0.021	2.64
6	0.015	0.94
7	0.009	0.53
8	0.013	1.12

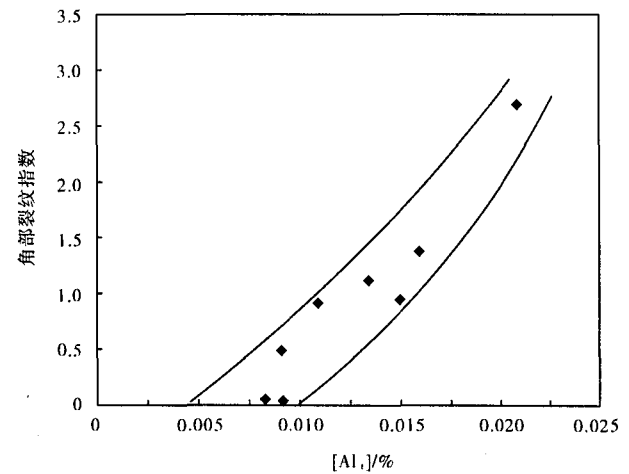


图 2 SA-210C 锅炉钢 300 mm × 320 mm 铸坯角部横向裂纹指数与 [Al<sub>s</sub>] 的关系

Fig. 2 Relation between index of transverse cracks at corner of 300 mm × 320 mm cast bloom of SA-210C boiler steel and [Al<sub>s</sub>]

2.3 Ti 含量

由于钛与氮的亲合力很大,在高温下钛与氮能形成稳定的 TiN,从而改善了钢在较低变形速率下

的热成形性。加入少量钛也可以较大地提高钢的抗时效性,一般加 $\leq 0.03\%$  Ti 即能改善钢的组织 and 性能。低碳钢中当 $S \leq 0.03\%$ , Ti 为 $0.01\% \sim 0.02\%$ 时,当钢中 Ti 含量满足 $1.15 \leq Ti/N \leq 3.4$ 及 $4 \leq (Ti + Al_3)/N \leq 10$ 时就可充分发挥钛在钢中的作用<sup>[2]</sup>。

生产实践表明,对 $[C] = 0.20\%$ 的低碳钢, $[Ti]$ 控制在 $0.02\%$ 可抑制 AlN 的形成,明显降低铸坯角部裂纹指数。

#### 2.4 液面波动

结晶器液面波动范围大,易出现深振痕等缺陷,会引起表面裂纹产生。另外钢水可浇性差时,拉速不稳定,结晶器液面波动增大,弯月面处初生坯壳不稳定,二冷区铸坯冷却不均匀,加剧了表面横向裂纹的产生。

#### 2.5 矫直温度

连铸机矫直温度对铸坯表面横向裂纹有至关重要的作用。在脆性区( $600 \sim 900\text{ }^\circ\text{C}$ )矫直铸坯时表面横向裂纹量比较大,当铸坯矫直温度在 $900\text{ }^\circ\text{C}$ 以上时,横向裂纹大幅度减少。以目前兴澄特钢一炼钢分厂的生产条件,拉速降低时,铸坯表面温度降低,铸坯角部温度更低,相应的角部横向裂纹量也增加。由此可见提高钢水流动性和改善二冷配水的重要性。采用弱冷铸坯和高温矫直可降低角部横向裂纹。

### 3 改进工艺措施

#### 3.1 提高钢水流动性

实践证明钢水流动性从很大程度上决定着结晶器液面的稳定、铸坯的矫直温度。提高钢水的纯度,通过提高出钢 $[C]$ ,降低钢水原始氧含量;出钢时加 Al 进行预脱氧;LF 保证全程白渣操作;延长 VD 后软吹氩时间;严格进行连铸无氧化保护浇注等措施来减少钢水中夹杂物的数量,从而提高钢水的流动性。

适当提高钢水过热度,也可以改善钢水的流动性。过热度太高会加重铸坯中成分偏析及疏松,但过热度太低会降低钢水流动性,影响铸坯表面质量,所以部分易产生角部横裂的钢种中间包过热度应控制在 $35\text{ }^\circ\text{C}$ 。

#### 3.2 提高铸坯矫直温度

通过提高钢水浇铸温度,适当提高拉速,二冷水采用弱冷制度,优化二冷喷嘴布置及水量分配,防止铸坯回温过大,铸坯进拉矫机角部温度控制在 $900\text{ }^\circ\text{C}$ 以上。

#### 3.3 调整化学成分

在允许范围内降低钢中的 $[Al_1]$ ,防止二次氧化钢水吸氮,对于易产生角部横裂纹的钢种进行 Ti 的微合金化, $[Ti]$ 控制在 $0.02\%$ 左右。

#### 3.4 开发专用保护渣

生产实践中针对几类易产生角部横裂纹的钢种如:包晶反应钢、含 S 钢及含 N 钢等进行了专用保护渣的开发、试验。改进后的保护渣化学成分和物理性能见表 3。

通过上述措施的实施,铸坯角部横裂基本消失。

表 3 低碳钢结晶器保护渣的化学成分和物理性能  
Table 3 Ingredient and physical properties of mold powder for low carbon steels

化学成分/%										R	半球温度/ °C	熔化时间/ s	粘度/ (Pa·s)
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	F <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O	C					
28.1~29.3	3.70~4.10	0.60	35.5~35.8	3.24	5.22	6.45	$\leq 0.30$	3.3~3.5	1.25	1 103	31	0.179	

### 4 结论

总铝含量 $-[Al_1]$ 过高是产生 SA-210 系低碳锅炉钢 $300\text{ mm} \times 320\text{ mm}$ 连铸坯角部横向裂纹的主要因素之一。钢中含微量 Ti 能改善钢在较低变形速率下的热成形性。通过控制 $[Al_1] \leq 0.010\%$ ,加 Ti 使 $[Ti]$ 达 $0.02\%$ ,配合提高钢水流动性,铸坯进拉矫机控制角部温度 $\geq 900\text{ }^\circ\text{C}$ ,使用专用保护渣等工艺,消除了铸坯角部横向裂纹缺陷。

#### 参考文献

- 徐国庆,许晓红,钱刚.兴澄钢铁公司 100 t 直流 EBT 电弧炉高效生产实践.特殊钢,2004,25(3):50
- 殷瑞钰.钢的质量现代进展,下篇.特殊钢.北京:冶金工业出版社,1995:549
- 王平,傅杰.管线钢冶炼技术现状.特殊钢,1993,14(4):1

钱刚(1966-),男,高级工程师,《特殊钢》编委会副主任委员,上海大学毕业,从事特殊钢冶金和工艺研究。

收稿日期:2006-06-16