

## 09CuPTiRE 钢连铸板坯表面纵裂分析和改进工艺实践

辛建卿<sup>1</sup> 余 伟<sup>2</sup>

(1 太原钢铁(集团)有限公司技术中心,太原 030003; 2 北京科技大学高效轧制国家工程研究中心,北京 100083)

**摘 要** 09CuPTiRE 耐候钢( $\% : \leq 0.12\text{C}, 0.06 \sim 0.12\text{P}, \leq 0.020\text{S}, 0.25 \sim 0.50\text{Cu}, \leq 0.03\text{Ti}, 0.01 \sim 0.04\text{RE}$ ) 180 mm × 1 200 mm 板坯由 80 t 转炉-钢包吹氩-板坯连铸机生产。通过控制 Cu/Ti ≤ 20、P 含量 ≤ 0.11%、RE 含量 0.01% ~ 0.03%、使用 09CuPTiRE 钢专用保护渣,结晶器液面波动 ≤ 10 mm,减少二冷配水量 15% 等工艺措施,使 09CuPTiRE 钢板坯纵裂发生率由 15% 降至 0.5%。

**关键词** 耐候钢 09CuPTiRE 连铸板坯 纵裂 工艺改进

## Analysis and Improved Process Practice on Surface Longitudinal Crack of Concasting Slab of Steel 09CuPTiRE

Xin Jianqing<sup>1</sup> and Yu Wei<sup>2</sup>

(1 Technology Center, Taiyuan Iron and Steel (Group) Co Ltd, Taiyuan 030003;

2 National Engineering Research Center for Advanced Rolling, University of Science and Technology, Beijing 100083)

**Abstract** The 180 mm × 1 200 mm slab of atmospheric corrosion-resisting steel 09CuPTiRE ( $\leq 0.12\text{C}, 0.06 \sim 0.12\text{P}, \leq 0.020\text{S}, 0.25 \sim 0.50\text{Cu}, \leq 0.03\text{Ti}, 0.01 \sim 0.04\text{RE}$ ) is produced by 80 t converter - ladle argon stirring - vertical-bending slab caster process. With using improved process measures such as controlling Cu/Ti ≤ 20, P content ≤ 0.11%, RE content 0.01% ~ 0.03%, using special mold powder for steel 09CuPTiRE, mold liquid level fluctuation ≤ 10 mm and decreasing secondary cooling water rate, the occurred rate of longitudinal crack of steel 09CuPTiRE decreased from original 15% to 0.5%.

**Material Index** Atmospheric Corrosion-Resisting Steel 09CuPTiRE, Concasting Slab, Longitudinal Crack, Improved Process

耐候钢是低合金高强度钢中对纵裂较为敏感的钢种,太原钢铁(集团)有限公司(简称太钢)第二炼钢厂从 1998 年开始生产耐候钢,在生产中,09CuPTiRE 耐候钢铸坯表面纵裂现象时有发生。本文分析了化学成分和连铸工艺参数对 09CuPTiRE 耐候钢连铸坯纵裂的影响,在采取改进措施后取得了较为明显的效果。

### 1 主要工艺参数

09CuPTiRE 耐候钢冶炼流程为:高炉铁水预处理→混铁炉→转炉→钢包吹氩→连铸。

二炼钢主要设备有:1 座具有“三脱(脱 Si、脱 S、脱 P)”功能的铁水预处理站;2 座 600 t 混铁炉;1 座 80 t K-OBM 顶底复吹转炉;2 座 80 t 氧气顶吹转炉;3 座多功能钢水处理站;2 台直弧形特殊钢板坯连铸机(弧形半径 8 m,冶金长度 21 m,配备有结晶器液面自动控制系统和电磁搅拌装置)。

#### 1.1 铁水预处理和转炉冶炼

铁水在兑入转炉前要全部经过脱 S 预处理,要求入炉铁水 S ≤ 0.003%,预处理后要扒净渣。

采用高拉补吹工艺控制终点温度和成分,终点

温度 1 640 ~ 1 680 ℃,终点碳含量 0.04% ~ 0.06%。出钢时间约 3 min,采用挡渣出钢技术。采用铝饼或铝线脱氧,加入量 2 kg/t 钢。使用硅铁、磷铁、铜板和钛铁合金化,合金烘烤时间 ≥ 2 h。

#### 1.2 钢包吹氩

炉后吹氩处理,调整钢水温度,均匀化学成分,使钢中夹杂物充分上浮。底吹氩时间不少于 5 min,吹氩后温度 1 600 ~ 1 640 ℃。

#### 1.3 连铸

钢包到中间包采用长水口吹氩保护浇铸,中间包到结晶器采用浸入式水口,使用专用保护渣和中间包覆盖剂。中间包温度 1 520 ~ 1 550 ℃。将拉速稳定在 0.80 ~ 1.20 m/min,减少结晶器液面波动,采用弱而均匀的二冷制度。为使夹杂物充分上浮,在中间包内加挡渣墙和挡渣坝。采用电磁搅拌工艺,电流 850 A,频率 2.5 Hz。

结晶器喂 Φ2.5 mm 稀土丝,喂丝速度 16.1 ~ 19.6 m/min,稀土加入量 350 g/t 钢,稀土回收率 85%。

09CuPTiRE 耐候钢的成品化学成分见表 1。连

表 1 09CuPTiRE 的成品化学成分/%  
Table 1 Chemical compositions of steel 09CuPTiRE /%

牌号	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ti	RE
09CuPTiRE-A	≤0.12	0.20~0.40	0.25~0.55	0.06~0.12	≤0.020	0.25~0.50	≤0.03	0.01~0.04
09CuPTiRE-B	≤0.12	0.20~0.50	0.25~0.70	0.06~0.12	≤0.020	0.25~0.50	≤0.03	0.01~0.04

铸坯断面尺寸 180 mm × 1 200 mm。

## 2 化学成分和连铸工艺参数对 09CuPTiRE 耐候钢纵裂的影响

### 2.1 钢的化学成分

C 含量为 0.09% ~ 0.17% 的钢凝固时,发生  $\delta \rightarrow \gamma + L$  包晶反应,凝固坯壳线性收缩大,弯月面处初生坯壳厚度不均,铸坯表面易产生纵裂<sup>[1]</sup>。因此应控制 09CuPTiRE 耐候钢的 C 含量 ≤ 0.09%。

Cu 在铁素体内的溶解度约 0.13%, 高于该含量的 Cu 在铸坯凝固过程中会在晶界析出,形成低熔点化合物,导致热脆。Ti 可与 Cu 形成无限固溶、高韧性晶间强化质点,减少裂纹的发生。一般按照 Cu/Ti ≤ 20 控制钢中 Cu、Ti 含量。

P 对钢的有害作用与 C 含量有关,使钢中 (C + P) 含量小于 0.25% 可防止冷脆,抑制裂纹扩展<sup>[2]</sup>。通常控制 09CuPTiRE 钢的 P 含量 ≤ 0.11%。

稀土元素有益于减少连铸坯纵裂<sup>[2]</sup>。一般 09CuPTiRE 钢中的 RE 含量为 0.01% ~ 0.03%。

### 2.2 连铸工艺参数

现场观察表明,当过热度大于 35 °C 时,09CuPTiRE 铸坯纵裂发生率明显增加;当过热度小于 10 °C 时,保护渣熔融不好,纵裂发生率也在增加。过热度在 10 ~ 35 °C 之间时,对铸坯纵裂影响不大。

由表 2 可知,在结晶器中喂入稀土丝,渣中 SiO<sub>2</sub> 含量降低,碱度和粘度增大,这使熔渣不能通过弯月面均匀地流入坯壳与结晶器壁间的缝隙,并使液态渣膜变薄,恶化润滑和传热,增加了铸坯纵裂倾向。由表 3 可以看出,液面波动大于 10 mm 时,纵裂明显增加。

09CuPTiRE 耐候钢纵裂多发生在拉速频繁变化的过程中,这是因为拉速变化易使凝固传热处于不

表 2 喂稀土丝对结晶器保护渣熔渣成分的影响/%  
Table 2 Effect of feeding RE wire on ingredient of mold powder /%

渣样	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	RE
保护渣	37.3	5.21	32.18	<0.05	-
不喂稀土丝	38.4	6.73	34.35	0.72	-
喂稀土丝	39.6	6.98	30.24	0.46	>0.1

表 3 结晶器液面波动对板坯纵裂的影响

Table 3 Effect of mold liquid level fluctuation on longitudinal crack of slab

液面波动范围/mm	跟踪炉数	有纵裂炉数	纵裂发生率/%
5~10	216	22	10.2
>10	6	6	100.0

稳定状态,热应力变化加大的缘故。

09CuPTiRE 属高磷钢,二次冷却过弱易产生偏析和内裂,二次冷却过强会使在结晶器内产生的细小纵裂纹进一步扩展,所以必须选择合适的二次冷却方式。

## 3 减少 09CuPTiRE 耐候钢铸坯纵裂的措施和效果

为有效控制 09CuPTiRE 耐候钢铸坯纵裂的发生,所采用的主要工艺措施有:

- (1) 合理控制化学成分,包括降低 C 含量;按 Cu/Ti ≤ 20 控制钢中 Cu、Ti 含量;P 含量 ≤ 0.11%; RE 含量为 0.01% ~ 0.03%;
- (2) 过热度 10 ~ 35 °C;
- (3) 使用 09CuPTiRE 耐候钢专用保护渣;
- (4) 使结晶器液面波动 ≤ 10 mm;
- (5) 分台阶升降拉速,保持恒拉速操作;
- (6) 在普通钢工艺基础上,减少二冷配水量 15%。

生产实践表明,采取以上措施后,09CuPTiRE 耐候钢铸坯纵裂发生率由 15% 降至 0.5%。有效控制了 09CuPTiRE 耐候钢连铸坯纵裂的发生。

### 参考文献

- 1 靳书林. Re 在连铸结晶器内的加入方法及作用规律. 钢铁, 1992, 27(3): 14
- 2 郭华. 攀钢 09CuPRE 热轧耐候钢板的工艺性能. 钢铁钒铁, 1998, 19(1): 15

辛建卿(1967-),男,硕士研究生,高级工程师,1999 年北京科技大学毕业,钢铁材料研究。

收稿日期:2007-05-26