

20 钢 Φ300 mm 圆铸坯中间裂纹成因分析和改善工艺措施

张志宏^{1,2} 刘江伟² 郑锦峰² 刘伟平² 成国光¹

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 承德建龙特殊钢有限公司,承德 067201)

摘要 针对 20 钢 Φ300 mm 圆铸坯低倍组织出现中间裂纹的位置和形貌,结合连铸设备和工艺进行分析,得出结晶器内坯壳厚度不均匀,拉矫机矫直压力波动大,铸坯在受到热应力和矫直应力的作用下沿晶界开裂形成中间裂纹。通过改善结晶器软化水和连铸二冷水的质量,钢水过热度由 25 ~ 35 ℃ 降至 20 ~ 30 ℃,结晶器电磁搅拌电流由 550 A 降至 350 A,稳定矫直压力,铸坯矫直温度 ≥ 950 ℃,避免了圆铸坯中间裂纹的出现。

关键词 Φ300 mm 圆铸坯 中间裂纹 矫直力

An Analysis on Cause of Formation of 0.20C Steel Φ300 mm Round Casting Bloom Intermediate Cracks and Improved Process Measure

Zhang Zhihong^{1,2}, Liu Jiangwei², Zheng Jinfeng², Liu Weiping² and Cheng Guoguang¹

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Chengde Jianlong Special Steel Co Ltd, Chengde 067201)

Abstract According to location and morphology of intermediate cracks occurred in macrostructure of 0.20C steel Φ300 mm round casting bloom and combining with analysis on casting equipment and process, it is obtained that with uneven shell thickness formed in mold, larger fluctuation of hydraulic force of withdraw straightening stands on bloom, the intermediate cracks along intergranular boundary form in bloom under action of heat stress and straightening stress. With improving the quality of mold softened water and secondary water for casting, decreasing superheating extent of liquid from 25 ~ 35 ℃ to 20 ~ 30 ℃, decreasing mold electromagnetic stirring current from 550 A to 350 A, stabilizing the hydraulic force, and straightening bloom temperature ≥ 950 ℃, the intermediate cracks in round casting bloom are eliminated.

Material Index Φ300 mm Casting Round Bloom, Intermediate Cracks, Straightening Force

承德建龙特殊钢公司 2011 年 3 月生产 20 钢 Φ300 mm 圆铸坯,在低倍检验 100 炉中有 12 炉中间裂纹,级别 0.5 ~ 1.0 级。在 5 个流浇铸的铸坯低倍组织中发现第 1 和第 3 流有中间裂纹存在,其它铸流产生的中间裂纹明显少些。为了从根本上解决圆铸坯中间裂纹的发生,经过多次试验和研究,中间裂纹产生几率明显降低,基本消除中间裂纹。

1 中间裂纹成因研究

1.1 工艺路线和中间裂纹形貌

工艺路线:铁水预处理 KR→70 t 转炉→70 t LF→70 t VD→Φ300 mm 圆铸坯铸机(全保护浇铸、外置结晶器电磁搅拌)→缓冷→精整→检验入库。

连铸机的基本参数和 20 管坯化学成分见表 1 和表 2。

在 Φ300 mm 圆铸坯低倍上的中间裂纹位于距铸坯表面 15 ~ 25 mm 区域,长度在 3 ~ 5 mm,最长达 30 mm,中间裂纹在电磁搅拌电磁力下形成与直径方向呈一定的角度,中间裂纹评级 0.5 ~ 1.0 级(图 1)。

表 1 圆坯连铸机主要参数

Table 1 Main parameters of round bloom caster

项目	参数
铸机流数	5
流间距/mm	1 900
弧形半径/m	14
圆坯断面/mm	Φ300
双锥度铜管长度/mm	780
外置式 M-EMS	550 A, 2.5 Hz
拉速/(m · min ⁻¹)	0.85 ~ 1.05
二冷区	足辊段:纯水;移动段:气雾;固定段:气雾
3 点矫直拉矫机	R14/19/34 m, 每流 5 架

表 2 20 钢的化学成分 / %

Table 2 Chemical composition of 0.20C steel / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Alt
标准要求	0.19 ~ 0.23	0.17 ~ 0.35	0.50 ~ 0.65	≤ 0.025	≤ 0.025	0.005 ~ 0.040
内控	0.20 ~ 0.22	0.23 ~ 0.28	0.53 ~ 0.63	≤ 0.020	≤ 0.015	0.008 ~ 0.035
目标值	0.21	0.25	0.58	≤ 0.015	≤ 0.010	0.015

注:其它元素/%:Cr ≤ 0.25, Ni ≤ 0.25, Cu ≤ 0.20, Mo ≤ 0.10

1.2 圆铸坯液相穴的长度

分析得出,Φ300 mm 圆铸坯中间裂纹起源在出



图 1 Φ300 mm 圆铸坯低倍中间裂纹, 0.5 级

Fig. 1 Morphology of intermediate cracks in Φ300 mm round bloom, rating 0.5

结晶器口的凝固坯壳的固液界面, 结晶器内冷却不均匀导致出结晶器坯壳厚度不均, 通过 20 钢漏钢后检查的坯壳厚度也可以验证这一点。根据出结晶器不同位置处凝固坯壳的厚度, 由公式(1)计算出圆铸坯的综合凝固系数 K , 然后通过公式(2)得出液压穴的长度, 即圆铸坯凝固末端位置。

$$K = d \sqrt{\frac{v}{L}} \quad (1)$$

$$L = \frac{D^2 v}{4K^2} \quad (2)$$

式中: d - 凝固坯壳厚度/mm; v - 拉速/($m \cdot \min^{-1}$); L - 凝固末端距结晶器弯月面距离/m; D - 铸坯厚度/mm; K - 综合凝固系数/($mm \cdot \min^{-1/2}$)。

5 架拉矫机距离结晶器弯月面距离分别是 19、21、23、25、27 m, 1# 和 2# 拉矫机处于弯曲矫直, 3# 拉矫机从弯曲矫直到水平段, 4# 和 5# 拉矫机处于水平段, 20 钢采用低碳钢冷却模式, 在拉速 0.9 m/min, 过热度 30 °C, 计算出 K 取 32 $mm/\min^{1/2}$, 液相穴长度 22 m, 即在 2# 和 3# 拉矫机之间。

1.3 结晶器冷却和二冷配水

结晶器下线拆开的铜管外壁明显附着严重水垢(图 2), 检测当天生产用软水和二冷水水质不达标, 悬浮固体达到 46 mg/L (标准要求 ≤ 15 mg/L), 足辊表面水垢较厚。相关的研究表明, 0.1 mm 的水垢影响铜管 15% 的热量传递, 使出结晶器口的形成坯壳厚

度不均匀, 在足辊段受到较大拉坯阻力, 对凝固坯壳前沿产生极大的应力。

二冷喷嘴堵塞和喷淋水条变形不对中导致铸坯冷却效果不好, 圆铸坯表面有明显的回温, 当应力超过材料的强度极限时, 产生沿晶界往铸坯中心方向延伸的中间裂纹。

1.4 拉矫压力波动

拉矫机和矫直点见表 3。每流 5 架拉矫机, 采用 3 点矫直(分别对应 1#、2#、3# 夹持辊), 3 点半径分别为 14、19、34 m。圆铸坯在进入拉矫区时, 凝固后的铸坯受到多架拉矫机矫直力的反复作用, 最终应力应变超过铸坯的极限变形值时, 在晶界薄弱处扩张延伸, 形成不同长度和数量的中间裂纹, 尤其在冷却水质变差导致冷却不均匀, 圆铸坯容易出现中间裂纹, 裂纹长度和级别明显增大^[1-3]。



图 2 结晶器下线后铜管外壁形貌($L = 780$ mm, $D = 330$ mm)

Fig. 2 Morphology of outside wall of copper tube after casting, $L = 780$ mm, $D = 330$ mm

表 3 拉矫机和矫直点

Table 3 Withdraw straightening stands and straightening point

拉矫机架数	距弯月面距离/m	拉矫压力波动范围/%	夹持辊位置
1	19	±10	1# 矫直点
2	21	±10	2# 矫直点
3	23	±10	3# 矫直点(垂直)
4	25	±15	水平
5	27	±20	水平

通过对产生中间裂纹几率较多的铸流分析, 正常情况拉矫机压力波动范围在 5% ~ 10%, 该铸流拉矫机压力出现大幅波动, 拉矫机压力波动范围超过 80%, 见图 3 所示。主要是拉矫机油质不达标, 液压站油温偏高在 50 °C 以上, 导致比例阀控制精度出现偏差, 圆铸坯在经过拉矫机的 1#、2#、3# 弯曲矫直时反复受到液压压力产生的机械内应力超过铸坯承受范围, 最终由微细裂纹扩展成中间裂纹。

2 防止中间裂纹的措施

2.1 改善水质和均匀冷却

通过加强水质监测, 保证冷却水水质, 铜管水缝

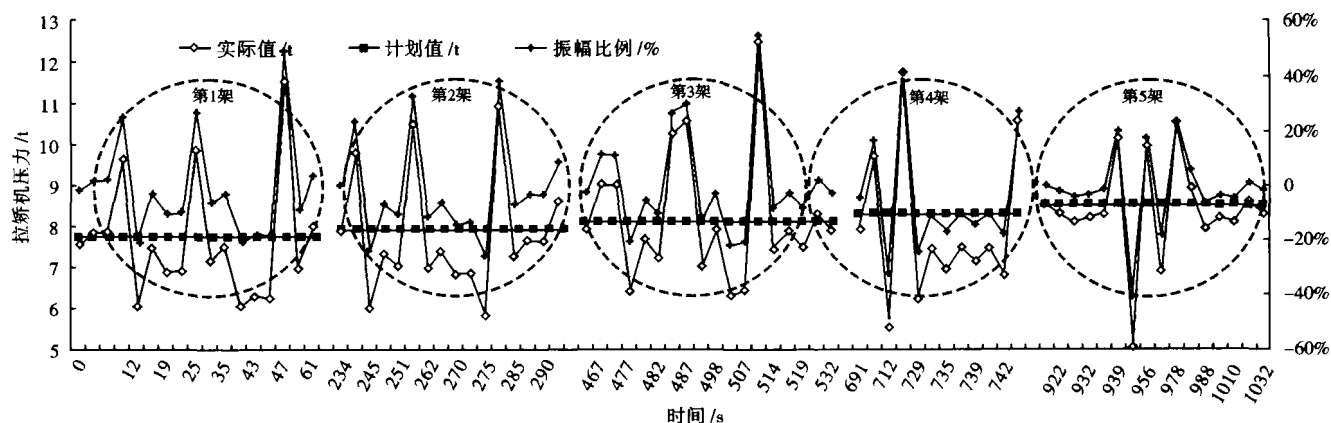


图3 拉矫机液压力波动异常图

Fig. 3 Schematics of fluctuation of abnormal hydraulic force of withdraw straightening stands

控制在 3.25 mm,使结晶器内坯壳生长均匀。优化二冷配水,喷嘴均匀雾化有利于铸坯坯壳均匀生长,避免了铸坯表面回温过快,降低了连铸坯中间裂纹的产生。水质改善前后对比见表4所示。

表4 水质改善前后对比

Table 4 Comparison of water quality between before and after improvement

项目	连铸二冷水			结晶器软化水		
	悬浮物/ (mg · L ⁻¹)	总碱度/ (mg · L ⁻¹)	总硬度/ (mg · L ⁻¹)	浊度 NTU	总硬度/ (mg · L ⁻¹)	钙硬度/ (mg · L ⁻¹)
控制标准	< 15	< 340	< 500	< 15	< 50	< 30
改善前	60	344.7	607.8	35.8	66.7	36.0
改善后	10	280	350.8	6.5	13.5	11.2

2.2 拉速、过热度 and 电磁搅拌参数

拉速每增加 0.05 m/min,铸坯出二冷区时表面温度增加 80 ~ 100 ℃。Φ300 mm 圆铸坯稳定生产的合适拉速为 0.85 ~ 1.05 m/min,并且和过热度 20 ~ 30 ℃匹配(表5),从出结晶器的安全坯壳厚度考虑,如果结晶器的冷却强度不变,则最大拉速应控制在 1.05 m/min以内。根据过热度的高低,采用多次小幅调整拉速,每次调速小于 0.05 m/min,减小铸坯表面温度回升幅度,确保铸坯进入拉矫机表面

表5 改善前后的拉速、过热度 and 电磁搅拌参数对比

Table 5 Comparison of casting speed, superheating extent and electromagnetic stirring parameters between before and after process improvement

项目	拉速/ (m · min ⁻¹)	过热度/ ℃	结晶器电磁搅拌	
			电流/A	频率/Hz
改善前	0.85 ~ 1.05	25 ~ 35	550	2.5
改善后	0.85 ~ 1.05	20 ~ 30	350	2.5

温度高于 950 ℃,避免第3脆性区矫直时产生中间裂纹。

2.3 拉矫压力

前期投产设备调试准备不充分,焊接液压不锈钢管道时残留在管路内部的焊渣以及其他杂物对液压油质造成污染,正常要求的液压油油品要求达到 ≤7 级(NAS1638 标准),通过重新冲洗管路,油品等级达到 5 级,更换液压站油冷却器,换热面积增大 1 倍,液压站油温稳定控制在 40 ~ 42 ℃,每架拉矫机的液压压力波动范围控制在规定值内,铸流出现中间裂纹几率明显降低,同时椭圆度也有明显的改善。

3 结论

(1) 保证冷却水质,二冷采用合适的比水量,喷嘴和喷淋架对中保证圆铸坯均匀冷却,避免铸坯在第2脆性区产生裂纹。

(2) 避免多架拉矫机对坯壳反复产生应力应变超过铸坯极限值。控制钢水过热度 20 ~ 30 ℃,恒定液面和恒速浇铸,拉速与过热度合理匹配,使拉矫时铸坯温度 ≥950 ℃,可避免产生中间裂纹。

参考文献

- 周勇,谢晖. 20 钢水平连铸圆坯中间裂纹形成研究. 钢铁, 1998, 33(7): 11
- 岳峰,包燕平,张怀宾. 结晶器电磁搅拌对 20 号管坯钢中心裂纹的影响. 连铸, 2008(4): 33
- 韩志伟,陈登福. 连铸坯坯壳厚度的射钉测试及凝固系数的修正. 重庆大学学报, 2011, 34(5): 47

张志宏(1975-),男,博士研究生,1997 年包钢钢铁学院毕业,特殊钢开发。

收稿日期:2011-10-14