

· 工艺技术 ·

Q235B 和 Q345B 钢 CSP 铸坯纵裂纹的控制实践

成泽伟¹ 王永胜² 阮强² 成东全²

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083; 2 酒泉钢铁集团公司碳钢薄板厂, 嘉峪关 735100)

摘要 酒钢 Q235B(0.18% C)和 Q345B(0.17% C)钢 CSP 工艺生产的 68 mm × 1 600 mm 铸坯的纵裂纹主要出现在炉次间的第一块铸坯, 裂纹宽 0.01 ~ 0.30 mm、深 0.10 mm、长度 ≥ 50 mm。纵裂纹影响因素的分析结果表明, 当 [S] ≥ 0.008%、钢水过热度 ≥ 40°、结晶器锥度 ≤ 4 mm 时, 保护渣碱度和粘度较低, 以及结晶器钢板厚度 ≤ 12 mm 时, 铸坯裂纹指数明显增加。通过控制 [S] ≤ 0.008%, 钢液过热度 30 ± 5 °C, 结晶器液面波动 ± 3 mm, Q235B 钢裂纹发生率由 2% 降至 0.36%, Q345B 钢由 5% 降至 0.98%。

关键词 Q235B 和 Q345B 钢 CSP 铸坯 纵裂纹 实践

Practice for Control of Longitudinal Surface Crack of Q235B and Q345B Steel Casting Slab Produced by CSP Process

Cheng Zewei¹, Wang Yongsheng², Ruan Qiang² and Cheng Dongquan²

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;

2 Carbon Steel Sheet Plant, Jiuquan Iron and Steel Group Co, Jiayuguan 735100)

Abstract The longitudinal surface crack of 68 mm × 1 600 mm casting slab of Q235B steel (0.18% C) and Q345B steel (0.17% C) produced by CSP process at Jiuquan Steel mainly occurred at first slab between heats with width of crack 0.01 ~ 0.30 mm, depth 0.10 mm and length ≥ 50 mm. The results by analyzing the influence factors on longitudinal crack show that as [S] ≥ 0.008%, overheating temperature of liquid steel ≥ 40°, mold taper ≤ 4 mm, lower basicity and viscosity of mold powder and thickness of mold copper plat ≤ 12 mm, the crack index of slab obviously increases. With controlling [S] ≤ 0.008%, overheating temperature of liquid steel 30 ± 5 °C, fluctuation of liquid surface in mold ± 3 mm, the occurred rate of crack for Q235B steel decreases to 0.36% from original 2%, and for Q345B steel decreases to 0.98% from original 5%.

Material Index Q235B and Q345B Steel, CSP, Casting Slab, Longitudinal Crack, Practice

酒泉钢铁公司碳钢薄板厂引进德国西马克薄板坯连铸连轧生产线(CSP)于 2006 年 5 月投产, 生产工艺为: 180 t 混铁脱硫炉-120 t 顶底复吹转炉-LF 精炼炉-RH 精炼炉-CSP 连铸机(68 mm × 1 600 mm)-6 机架热连轧机组。由于连铸连轧生产的连续性, 缺少铸坯的离线检测环节, 带有质量缺陷的产品容易流入市场, 会带来质量异议, 影响企业的经济效益和社会效益^[1]。2009 年初, 酒钢 CSP Q235B 和 Q345B 钢纵裂纹发生频繁, 多次出现铸坯表面纵裂纹, 严重影响 CSP 连铸机的正常生产。为此, 酒钢碳钢薄板厂对此开展了数据分析和技术攻关, 并采取一系列工艺措施, 收到了良好的效果。

1 CSP Q235B 和 Q345B 钢纵裂纹形貌

CSP Q235B 和 Q345B 钢的典型成分如表 1 所示。其表面纵向裂纹缺陷通常发生在浇次中后期, 主要表现在炉次间的过度坯, 即炉次第一块热轧板带。纵裂纹在板带上表现呈线条黑色的细线, 多分布于板带的上下表面、铸坯宽面 1/3 部位, 通常宽度

表 1 Q235B 和 Q345B 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of Q235B and Q345B steel /%

钢种	C	Si	Mn	P	S	Als	Ca
Q235B	0.18	0.10	0.35	0.010	0.008	0.020	0.025
Q345B	0.17	0.37	1.35	0.010	0.008	0.020	0.025

0.01 ~ 0.30 mm, 深度约 0.10 mm, 长度 50 ~ 500 mm 断续分布, 严重时连续出现长达数米。存在裂纹缺陷的板带经冷弯变形均在裂纹前沿线开裂。

图 1 和表 2 所示为纵裂纹取样局部放大金相分析检验结果。由扫描电镜结果可以发现, 裂纹边缘聚集大量氧化铝、硅酸盐夹杂, 同时存在残余 K、Na 成分, 与前人研究结果相同^[2,3]。说明裂纹萌生于结晶器, 扩展于二冷段。

2 纵裂纹形成机理

为进一步了解酒钢 CSP 铸坯纵裂纹形成机理, 对最严重 Q345B 钢纵裂纹试样进行了拉伸和断口分析, 结果发现, 酒钢 CSP 生产 Q345 钢在 600 ~

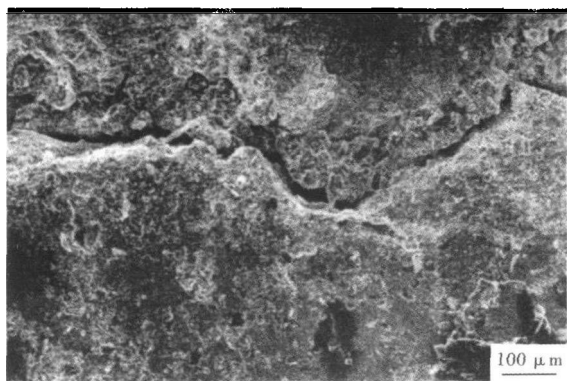


图1 Q235B和Q345B钢板带纵裂纹形貌,SEM

Fig.1 Morphology of longitudinal crack of Q235B and Q345B steel strip, SEM

表2 Q235B和Q345B钢带纵裂纹区域非金属夹杂物成分/%

Table 2 Analysis of non-metallic inclusions at longitudinal crack area of Q235B and Q345B steel strip / %

检验样	Al	Si	Ca	Na	K	Mg	Fe
1#	27.10	5.16	28.49	2.42	0.35	2.97	33.51
2#	18.30	2.38	24.11	3.18	0.45	1.68	49.90

1 400 °C存在两个脆性温度区,即1 400 ~ 1 300 °C的第I脆性温度区域和700 ~ 900 °C的第III脆性温度区域;在900 ~ 1 300 °C试样的R. A均在70%以上,说明Q345B热塑性较好;温度降低至900 °C后,随着温度继续降低,试样的R. A值迅速下降。在800 °C时R. A值最低;Q345B钢在1 300、1 400 °C的断裂方式均为沿晶断裂,断口表面较平坦,在高倍下可以观察到晶界处有空穴;Q345B钢在800 °C时处于塑性最低点,表现为沿晶断裂,但晶界存在显微塑性变形^[4]。

生产过程分析认为,酒钢CSP Q235B和Q345B钢纵裂纹形成与结晶器有关,扩展与二冷段有关。结晶器初生坯壳在CSP漏斗型结晶器中向下运动,在漏斗区域受到凝固收缩应力拉伸作用,当应力强度超过坯壳的应力强度萌生裂纹源。在二冷段CSP强大快速和不均的冷却下,裂纹进一步扩展。铸坯断面越大,凝固收缩应力越大,纵裂纹发生几率越高,生产过程对应发现CSP大断面铸坯的纵裂纹发生率较高。

3 纵裂纹影响因素

3.1 钢液S含量

硫在钢中是易偏析元素,由于硫在钢中的宏观偏析,较大的降低了钢的零塑性温度(ZDT),在碳含量不变的情况下,硫含量增加则板坯纵裂的可能性

增加^[5,6]。硫含量是影响板坯纵裂纹的主要因素(表3),硫含量越低,板坯出现裂纹的可能性越小。酒钢CSP生产过程硫含量与裂纹发生率的技术统计如表3所示,当硫含量超过 60×10^{-6} 时裂纹指数明显升高,当硫含量超过 150×10^{-6} 时,整炉次纵裂纹质量事故频繁发生。

表3 S含量、钢液过热度、结晶器锥度对Q235B和Q345B钢带纵裂纹指数的影响

Table 3 Effect of S content, liquid overheating temperature and mold taper on longitudinal crack index of Q235B and Q345B steel strip

硫含量/ 10^{-6}	纵裂纹 指数	过热度/ °C	纵裂纹 指数	结晶器锥 度/mm	纵裂纹 指数
40	0.10	25	0.032	3.5	0.030
50	0.20	25 ~ 30	0.025	3.5 ~ 4.0	0.028
60	0.30	30 ~ 35	0.027	4.0 ~ 4.5	0.023
70	0.28	35 ~ 40	0.032	4.5 ~ 5.0	0.020
80	0.76	40 ~ 45	0.034	5.0 ~ 5.5	0.015
90	0.80	45 ~ 50	0.037	5.5 ~ 6.0	0.025
100 ~ 120	0.90	>50	0.045		

3.2 钢液过热度

中间包钢液过热度不仅对铸坯自身的凝固有较大影响,同时也对结晶器保护渣的性能影响很大。铸坯结晶过程中,温度梯度产生的热应力对铸坯质量的影响不容忽视。钢液过热度高,钢液凝固推迟,坯壳厚度减薄且坯壳平均温度升高,在应力不变情况下,由于钢的整体温度向第I脆性区移动,则产生裂纹的倾向加重,同时高温钢液流动加重了对凝固壳的冲刷,使坯壳生长不均匀。从表3可以看出,中间包过热度增加,纵裂指数略有上升,酒钢的生产实践表明,过热度控制在25 ~ 35 °C能获得最佳的产品质量。

3.3 结晶器锥度

铸坯纵裂纹虽然发生在宽面,但是它和结晶器窄面的锥度有很大的关系。酒钢CSP结晶器锥度在浇钢过程中可以在线调节,以保证结晶器宽窄面热流比适宜。生产过程发现锥度过小或过大都诱发表面纵裂,锥度过小导致结晶器宽面纵裂指数提高,结晶器倒锥度过小,可能会导致热流减小、表面温度高,因此形成的坯壳较薄,导致产生纵向裂纹,如表3所示,1 500 mm断面当结晶器倒锥度 ≤ 4 mm时,裂纹指数有所增加。生产过程发现,结晶器锥度小纵裂纹发生率稍高,结晶器锥度 > 6 mm时,结晶器漏斗区域纵裂纹发生率高。结晶器锥度小,宽面坯壳在结晶器漏斗区域受到拉应力作用,当拉应力超过塑性强度产生初始裂纹^[7],因此铸坯纵裂可以

采用适当增加窄边锥度的方式缓解。

3.4 保护渣

保护渣在生产中需达到均匀流入、稳定传热、吸附夹杂、减少散热、提高润滑等多种效果^[8]。CSP 连铸机拉速快,结晶器宽厚比大,对于 Q235B 和 Q345B 钢,要求保护渣具有较高的结晶温度和析晶率,较高碱度和粘度。更强调保护渣性能的稳定性和钢渣分离的特性。根据这一技术要求,在现有保护渣基础上,对其成分和性能进行调整,改进前后保护渣主要参数如表 4 所示。提高碱度控制传热的同时,控制合适的粘度以保障高拉速的要求,适当提高保护渣析晶比例的基础上,以改变析晶层结构为控制传热的主要手段^[9],改进后的保护渣提高了保护渣渣膜在结晶器中的热阻,主要提高了结晶器宽面的热阻,实现结晶器宽面的均匀缓冷,改进后的保护渣与拉速进一步匹配,铸坯裂纹发生率明显减少。

3.5 铸机功能精度与工艺参数控制

表 4 改进工艺前后保护渣的组成及碱度和粘度

Table 4 Ingredient, basicity and viscosity of mold powder before and after process improvement

工艺	成分/%								碱度	黏度/ (Pa·s)
	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	Na ₂ O	K ₂ O		
改进前	26.5	30.7	0.58	4.20	0.93	3.50	6.24	0.19	1.16	0.80
改进后	26.6	33.6	1.40	2.30	0.60	3.90	9.10	0.20	1.26	0.97

参考文献

- 王义芳. CSP 薄板坯表面纵裂的影响因素. 钢铁, 2006, 41(7): 25
- 洪兵雄, 毛新平, 柴毅忠. CSP 薄板坯表面纵裂原因及防止措施. 钢铁钒钛, 2004, 25(2): 57
- 倪有金. 酒钢 CSP 热轧板卷表面纵裂研究: [硕士论文]. 北京: 北京科技大学, 2008
- 王中丙. 现代电路-薄板坯连铸连轧(第 1 版). 北京: 冶金工业出版社, 2004
- 周有预. 连铸板坯表面纵向裂纹的形成原因. 钢铁研究学报, 2004, 16(5): 75
- 张立, 徐国栋, 王新华, 等. 集装箱用钢连铸坯表面纵裂的研究. 钢铁, 2002, 37(1): 38
- Morales R D. A DPIV Study of Liquid Steel Flow in a Wide Thin Slab Caster Using Four Ports Submerged Entry Nozzles. ISIJ International, 2004, 44(8): 1384
- Hoseok Nam, Hwa-Soo Park. Numerical Analysis of Fluid Flow and

连铸机设备功能精度也是造成铸坯产生纵裂纹的主要原因之一。连铸机振动偏差、对弧精度和辊缝超差等因素可影响连铸坯热变形过程,加剧铸坯纵裂纹的扩展。因此结晶器使用过程要及时检查,发现磨损严重,产生麻点、麻坑、铜板变形等要及时更换。另外,二冷区域漏水或设备冷却水流动控制等因素都对铸坯纵裂的产生有一定的影响。结晶器铜板的厚度也是影响纵裂产生的一个重要因素。通过对现场使用结晶器厚度的跟踪发现,当铜板厚度 ≥ 15 mm 时,裂纹发生的几率明显降低;当铜板厚度 ≤ 12 mm 时,裂纹发生的几率明显增加。

4 工艺措施和效果

(1) 硫含量是影响板坯纵裂纹的主要因素。稳定控制钢液成分,降低钢液 S 含量,使 $S \leq 80 \times 10^{-6}$;控制钢液过热度,最佳范围为 $(30 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。稳定结晶器液面,控制在 ± 3 mm 以内,实现恒速浇铸;保证水口对中偏差,减小偏流造成的流场和温度场不均;能有效降低 CSP Q235B 和 Q345B 钢纵裂纹。

(2) 防止连铸坯纵裂纹是一项系统工程,经过参数控制措施,2009 年 5 月以来,酒钢 CSP 铸坯表面纵裂纹得到有效控制, Q235B 纵裂纹发生率从 2% 下降到 0.36%, Q345B 纵裂纹发生率从 5% 下降到 0.98%。

- Heat Transfer in the Funnel Type Mold of a Thin Slab Caster. ISIJ International, 2000, 40(9): 886
- Hwa-Soo Park. Numerical Analysis of Fluid Flow and Heat Transfer in the Parallel Type Mold of a Thin Slab Caster. ISIJ International, 2001, 41(9): 974
- 成泽伟(1975-),女,博士,助理研究员,纯净钢冶炼和连铸质量控制。
- 王永胜(1973-),男,博士,高级工程师,品种钢开发、炼钢精炼生产工艺、纯净钢冶炼和连铸质量控制。

收稿日期:2009-12-08

欢迎订阅 2010 年下半年《特殊钢》杂志

邮发代号:38-183

定价:16.00 元/期 96.00 元/年

全国各地邮局订阅