

45 钢矩形连铸坯中心裂纹的分析和控制

吴华杰¹ 留津津² 包燕平¹ 王国新¹ 魏宁²

(北京科技大学 1 冶金工程研究院; 2 冶金与生态工程学院, 北京 100083)

摘要 统计分析了 [P]、[S]、[Mn]/[S] 和钢水过热度等工艺因素对钢厂 45 钢 (0.44% ~ 0.50%) 160 mm × 200 mm 矩形坯中心裂纹的影响。根据分析结果, 采用控制 [P] ≤ 0.020%、[S] ≤ 0.015%、[Mn]/[S] ≥ 40, 钢水过热度 ≤ 25 °C, 拉速 1.8 m/min 时优化二冷水量等工艺措施, 使中心裂纹发生率由原来的 82.76% 降低到 22.41%, 1 级以上中心裂纹发生率由原来的 22.41% 降低到 0.51%。

关键词 45 钢 160 mm × 200 mm 矩形连铸坯 [Mn]/[S] 二次冷却

Analysis and Control on Center Cracks of Rectangular Billet of 45C Steel

Wu Huajie¹, Liu Jinjin², Bao Yanping¹, Wang Guoxin¹ and Wei Ning²

(1 Research Institute of Metallurgical Engineering; 2 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract The effect of [P], [S], [Mn]/[S] and process factors including superheating degree of liquid on center cracks of 160 mm × 200 mm rectangular billet of 45C Steel (0.44% ~ 0.50% C) has been classified, counted and analyzed. According to analysis results the process measures including controlling [P] ≤ 0.020%, [S] ≤ 0.015%, [Mn]/[S] ≥ 40, superheating degree ≤ 25 °C, and optimizing secondary cooling water rate with casting speed 1.8 m/min are adopted, as a result the occurring rate of center cracks decreases from original 82.76% to 22.41% and that more than rating 1 decreases from original 22.41% to 0.51%.

Material Index 45C Steel, 160 mm × 200 mm Rectangular Billet, [Mn]/[S], Secondary Cooling

钢厂矩形连铸机的弧型半径为 9 m, 结晶器长度 900 mm; 二冷区共分 4 段, 足辊段长 415 mm、二冷一段长 1 965 mm、二冷二段长 2 340 mm、二冷三段长 2 185 mm; 使用的二冷喷嘴均为水冷喷嘴; 正常工作拉速为 1.7 ~ 1.9 m/min。分析的 45 钢铸坯断面为 160 mm × 200 mm。

1 中心裂纹影响因素

中心裂纹的产生受钢水成分、工艺条件以及设备运行状况等因素的综合影响^[1-5]。为便于评价,

定义中心裂纹平均级别 = 试样中心裂纹级别总和 / 试样个数。

1.1 钢水成分的影响

45 钢的主要成分 (%) 为: 0.44 ~ 0.50C, 0.17 ~ 0.30Si, 0.55 ~ 0.75Mn, ≤ 0.035P, ≤ 0.035S, ≤ 0.03Ni, ≤ 0.10Cr, ≤ 0.06Cu。

由图 1(a, b) 可以看出, 随着钢中 P、S 含量的增加, 铸坯中心裂纹倾向明显增加。因此, 对钢中裂纹的敏感元素 P、S 要合理控制, 以降低裂纹敏感性。

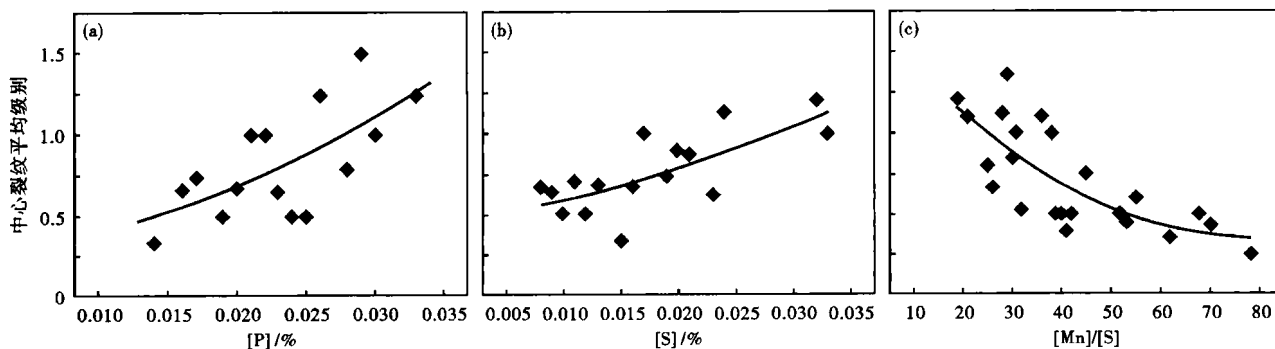


图 1 钢中磷(a)硫(b)含量和 [Mn]/[S] (c) 对铸坯中心裂纹平均级别的影响(234 炉)

Fig. 1 Effect of phosphorus (a) and sulphur (b) content in steel, and [Mn]/[S] (c) on average rating of center crack of billet, 234 heats

由图 1(c)可以看出,当 $[Mn]/[S] \geq 40$ 时,能够改善铸坯的中心裂纹情况。钢中 $[Mn]/[S]$ 高,有足够的 Mn 与 S 结合,使低熔点 FeS(熔点 989 °C) 转化为 MnS(熔点 1 600 °C),使断面收缩率提高,裂纹敏感性降低。同时, $[Mn]/[S]$ 提高能使钢的零塑性温度(ZDT)增大,从而减小凝固前沿脆化温度区间宽度,使裂纹敏感性降低^[6]。

1.2 工艺条件的影响

由图 2 可见,高过热度浇铸将使铸坯中心裂纹倾向明显加重。钢水过热度高,凝固前沿结晶形核的速率变低,甚至不能形核,凝固坯壳与中心钢液的温度梯度越大,就越易生成柱状晶,不易生成等轴晶,从而使柱状晶区扩大,等轴晶区缩小,加剧中心裂纹的产生。同时,浇铸温度高会使出结晶器的坯壳减薄,铸坯容易出现鼓肚变形,促进裂纹的形成^[4]。

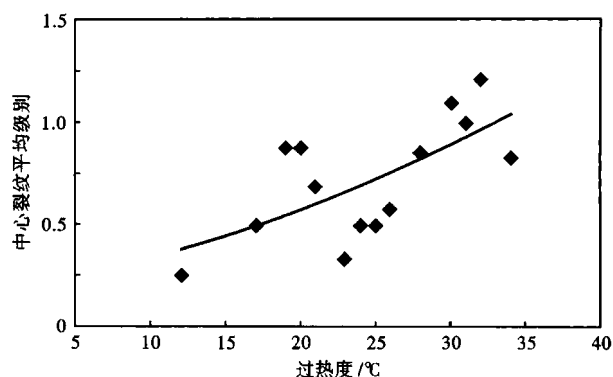


图 2 钢水过热度对铸坯中心裂纹的影响(252 炉)

Fig. 2 Effect of superheating degree of liquid on average rating of center crack of billet, 252 heats

拉速过高,会使铸坯液芯延长,液芯断面扩大,等轴晶的形核和长大推迟,等轴晶区缩小,最终导致中心裂纹的形成。

铸坯过冷会导致柱状晶发达,使钢的高温强度降低;铸坯冷却不足,坯壳过薄,容易产生鼓肚。二冷区各冷却段水量分配不当会使铸坯温度降低或回升过快,产生过大的热应力,导致铸坯中心部位被撕开而形成中心裂纹。

2 改进措施及效果

生产中采取的改进措施有:

(1) 进一步提高钢水质量,使 $[P] \leq 0.020\%$, $[S] \leq 0.015\%$,并尽可能使 $[Mn]/[S] \geq 40$ 。

(2) 加强工艺控制,使钢水过热度 ≤ 25 °C,合理匹配拉速与浇铸温度等因素,并尽可能避免过高拉

速的出现。

(3) 适当减弱原二冷总水量,并优化二冷各段的水量分配。典型工艺下(拉速 1.8 m/min)优化前后各冷却段的水量见表 1。

通过上述改进措施的实施,使中心裂纹缺陷得到有效控制,由表 2 可见,改进前,铸坯中心裂纹的发生率为 82.76%,1 级和 1.5 级角裂的比例分别达到 48.28% 和 22.41%;改进后,铸坯中心裂纹的发生率降低到 41.54%,且基本消除 1 级以上的中心裂纹缺陷。

表 1 优化前后二冷各段的冷却水量 / (L · min⁻¹)

Table 1 Secondary cooling water rate before and after process optimization / (L · min⁻¹)

工艺	足辊段	二冷一段	二冷二段	二冷三段
优化前	145.00	175.00	75.00	43.33
优化后	156.67	143.33	78.33	40.00

表 2 改进前后铸坯中心裂纹统计结果 / %

Table 2 Statistical results of center crack rating of billet before and after process optimization / %

工艺	中心裂纹/级			
	0	0.5	1	1.5
改进前(232 炉)	17.24	12.07	48.28	22.41
改进后(195 炉)	58.46	25.64	15.38	0.51

3 结论

通过改善钢水质量(使 $[P] \leq 0.020\%$, $[S] \leq 0.015\%$,并尽可能使 $[Mn]/[S] \geq 40$)、加强工艺控制(使钢水过热度 ≤ 25 °C,合理匹配拉速与浇铸温度等因素)和优化二冷水量等措施,使 45 钢矩形坯的中心裂纹缺陷得到有效控制,铸坯中心裂纹发生率由改进前的 82.76% 降低到 41.54%,且基本消除 1 级以上的中心裂纹。

参考文献

- 1 蔡开科. 连铸坯质量控制. 北京:冶金工业出版社,2010
- 2 马骏,胡道峰,张悦,等. 南钢小方坯连铸生产 45 钢二冷制度的优化. 特殊钢,2009,30(1):38
- 3 李法兴,兰新哲,宋永辉,等. 260 mm × 300 mm 连铸坯内裂纹的分析和改进工艺实践. 特殊钢,2007,28(1):53
- 4 底根顺,吴东升,翟永臻,等. 连铸小方坯中心裂纹的研究. 安徽工业大学学报,2005,22(4):669
- 5 汤寅波,汪开忠,杜松林. 连铸工字形异型坯腹板中心裂纹研究. 钢铁,2003,38(10):19
- 6 王义芳. CSP 薄板坯表面纵裂的影响因素. 钢铁,2006,41(7):25

吴华杰(1978-),男,博士,助理研究员,冶炼和连铸研究。

收稿日期:2010-12-05