

高强耐候钢 YQ450NQR1 连铸大方坯质量的控制

陈永^{1,2} 杨素波³ 吴国荣²

(1 东北大学材料与冶金学院, 沈阳 110004; 2 攀枝花钢铁研究院材料研究所, 攀枝花 617000;

3 攀枝花新钢铁股份有限公司提钒炼钢厂, 攀枝花 617062)

摘要 通过降低结晶器冷却强度、优化结晶器宽窄面水量分配, 延长喷水冷却区长度、适当增大连铸比水量、调整二冷区各回路的水量分配比例等优化工艺措施, 高强耐候钢 YQ450NQR1 360 mm × 450 mm 连铸坯质量明显提高, 表面凹坑缺陷率由 37.13% 降至 2.87%, 中心疏松评级 ≤ 1.0 级的比例由 79.71% 增至 90.70%, 中心偏析 ≤ 0.5 级的比例由 1.45% 增至 44.19%, 无中心裂纹的比例由 39.13% 增至 62.79%。

关键词 耐候钢 大方坯连铸 结晶器冷却 二冷控制 质量控制

Control for Concasting Bloom Quality of High Strength Weathering Steel YQ450NQR1

Chen Yong^{1,2}, Yang Subo³ and Wu Guorong²

(1 School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004;

2 Department of Material Research, Panzhihua Iron and Steel Research Institute, Panzhihua 617000;

3 Vanadium Recovery & Steelmaking Plant, Panzhihua New Steel & Vanadium Co Ltd, Panzhihua 617062)

Abstract With optimized process measures such as decreasing mold cooling intensity, improving water distribution of mold board and narrow face, prolonging the length of secondary cooling zones, properly increasing casting specific water flow rate and adjusting of water flow proportion of each secondary cooling zone, the quality of 360 mm × 450 mm casting bloom of high strength weathering steel YQ450NQR1 obviously improved, the ratio of surface depression defect decreased from 37.13% to 2.87%, the ratio of center porosity rating ≤ 1.0 increased from 79.71% to 90.70%, the ratio of center segregation rating ≤ 0.5 increased from 1.45% to 44.19%, and the ratio of center crack free increased from 39.13% to 62.79%.

Material Index Weathering Steel, Bloom Concasting, Primary Cooling, Secondary Cooling, Quality Control

攀钢采用钒氮合金开发的屈服强度 450 MPa 级高强度耐大气腐蚀乙字钢(简称 YQ450NQR1 乙字钢,成分见表 1)中 Cu、Cr、Ni、Al、V、N 元素的含量较高,并且碳含量也正好处于包晶反应区,独特的成分决定了该钢种的浇铸难度^[1-6]。

攀钢原采用板坯连铸工艺生产 YQ450NQR1 高强耐候乙字钢,在板坯纵切工序不仅使金属收得率

降低,而且还使铸坯中心缺陷外露;经加热过程铸坯中心缺陷扩展后轧制,影响了成品质量以及造成纵切后部分铸坯尺寸偏窄影响轧制成材率等问题。为此,开展了 360 mm × 450 mm 大方坯连铸生产 YQ450NQR1 高强耐候乙字钢的试验研究。通过优化完善大方坯连铸冷却工艺制度,明显提高了方坯表面质量和内部质量,并且由连铸坯轧成的乙字钢

表 1 高强耐候钢 YQ450NQR1 的主要化学成分/%

Table 1 Main chemical composition of high strength weathering steel YQ450NQR1 /%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	V
0.09 ~ 0.13	0.30 ~ 0.50	1.25 ~ 1.40	≤ 0.020	≤ 0.010	0.20 ~ 0.30	0.15 ~ 0.25	0.20 ~ 0.30	0.09 ~ 0.11

缺陷率为 0。

1 原工艺条件下高强耐候钢大方坯质量状况

2006 年 4 ~ 7 月, 抽检了 1 743 支 YQ450NQR1 高强耐候乙字钢铸坯, 结果表明, 大方坯表面质量总体良好, 但部分铸坯表面存在轻微的凹陷和凹槽缺

陷, 表面缺陷率为 37.13%, 部分铸坯的切割端面有较为严重的肉眼可见的中心裂纹缺陷, 中心裂纹缺陷发生率高达 44.98%。同时对 69 支 YQ450NQR1 高强耐候乙字钢铸坯进行了低倍检验, 发现铸坯存在较为严重的中心疏松、中心裂纹等内部缺陷。

2 结晶器冷却制度

2.1 结晶器冷却制度的优化方案

铸坯凹坑和凹槽缺陷与连铸拉速较低、结晶器区域冷却偏强且不均匀有关;为此,采用弱冷的方式优化了大方坯连铸结晶器冷却制度,以减少因弯月面区域铸坯过早过度收缩引起的铸坯表面缺陷。

2.2 结晶器冷却制度对结晶器热流分布的影响

由表 2 可见,通过适当降低结晶器冷却水量,减

表 2 优化结晶器冷却量前后的结晶器热流分布

Table 2 Distribution of heat flux of mold before and after optimized mold cooling water rate

结晶器冷却制度	拉速/ (m·min ⁻¹)	热流/(kW·m ⁻²)			
		东侧	西侧	内弧侧	外弧侧
原冷却制度	0.49	847	845	953	940
优化方案一	0.45	828	834	877	864
优化方案二	0.47	806	809	868	850

弱结晶器区域铸坯的冷却强度,可以减小结晶器热流,有利于实现铸坯在结晶器内冷却均匀,减少因冷却偏强产生的铸坯表面缺陷,提高铸坯表面质量。

2.3 结晶器冷却制度对凝固坯壳厚度的影响

采用“FeS 示踪剂”法标定结晶器冷却制度优化前后沿结晶器高度方向的凝固坯壳厚度(图 1),距结晶器弯月面 300 mm 处铸坯横截面凝固坯壳厚度见图 2。由图 1 和图 2 可见,通过适当降低结晶器冷却水量,可以改善铸坯在结晶器内的冷却均匀性,促进初生坯壳厚度的均一、稳定生长,减少因坯壳厚薄不均及在坯壳薄弱处产生缺陷。

2.4 结晶器冷却制度对铸坯表面凹坑缺陷的影响

优化前铸坯表面凹坑或凹槽发生率为 37%,经优化后,方案一为 20%,方案二为 5%,表明优化结晶器冷却制度可以减轻铸坯表面缺陷。

3 连铸二冷制度

3.1 连铸二冷制度优化方案

针对攀钢 360 mm × 450

mm 方坯连铸机低拉速条件,喷淋冷却区长度偏短(V 区未对铸坯实施喷水冷却),可能导致冷却后 5 区及其后的空冷段的铸坯表面回热过大,造成 YQ450NQR1 铸坯产生中心裂纹、中心疏松的质量问题。采用延长喷水冷却区长度、适当增大连铸比水量、调整二冷区各回路的冷却能力及水量分配比例的方法,优化了 YQ450NQR1 大方坯连铸二冷制度,优化方案见表 3。

由图 3 可见,连铸二冷制度优化后,改善了二冷区铸坯温度分布的均匀性,凝固末期铸坯表面最大回热速率由 141.4 °C/m 降至 85.9 °C/m,有利于防止或减轻因铸坯冷却不足、铸坯表面回热过大造成的铸坯中心裂纹、中心疏松等内部缺陷。

3.2 连铸二冷制度对铸坯中心缺陷的影响

由表 4 可见,连铸二冷制度优化后,大方坯中心疏松、中心偏析和中心裂纹明显减轻,中心疏松 ≤ 1.0 级的比例由 79.71% 增至 90.70%;中心偏析 ≤ 0.5 级的比例由 1.45% 增至 44.19%;无中心裂纹的比例由 39.13% 增至 62.79%。

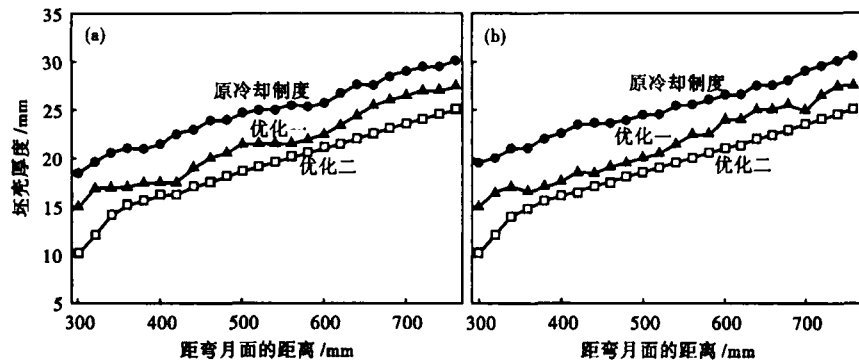


图 1 沿结晶器长度方向的凝固坯壳厚度分布:(a)铸坯宽面;(b)铸坯窄面
Fig. 1 Distribution of solidified shell thickness of bloom along height of mold: (a) bloom broad face; (b) bloom narrow face

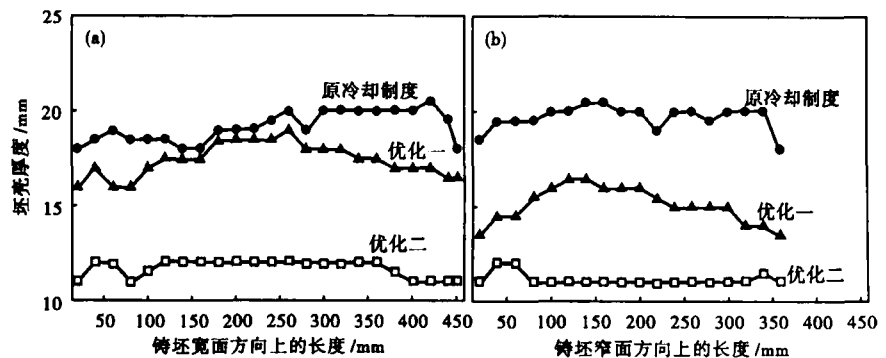


图 2 距结晶器弯月面 300 mm 处铸坯横截面上凝固坯壳厚度分布:(a)铸坯宽面;(b)铸坯窄面
Fig. 2 Distribution of solidified shell thickness at cross section of bloom 300 mm distance from meniscus: (a) bloom broad face; (b) bloom narrow face

表 3 优化前后高强度耐候钢 YQ450NQR1 方坯连铸二冷制度
Table 3 Secondary cooling scheme for bloom of high strength weathering steel YQ450NQR1 before and after optimization

拉速/ (m·min ⁻¹)	二冷 工艺	喷水 冷却区	比水量/ (L·kg ⁻¹)	二冷区水量分配比例/%				
				1区	2区	3区	4区	5区
0.4	优化前	1~4	0.335	20.73	25.03	19.45	34.79	0
0.4	优化后	1~5	0.375	18.55	23.43	17.41	24.89	15.73
0.5	优化前	1~4	0.296	18.74	24.66	18.63	37.97	0
0.5	优化后	1~5	0.332	16.72	25.32	16.62	25.17	16.18

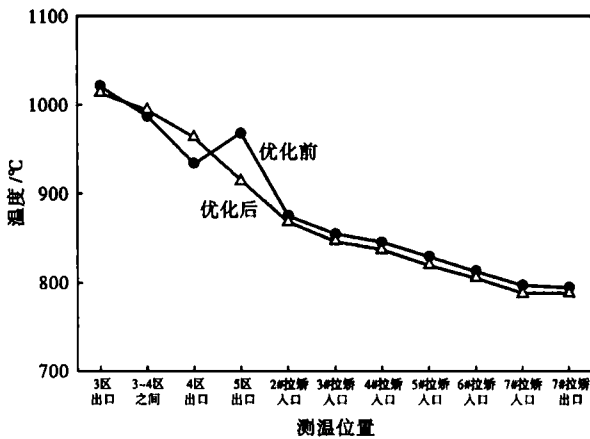


图 3 连铸二冷区铸坯表面温度实测值

Fig. 3 Measured data of surface temperature of bloom at secondary cooling zone

表 4 优化前后二冷制度高强度耐候钢 YQ450NQR1 大方坯中心缺陷的比较/%
Table 4 Secondary cooling scheme on central defect of bloom of high strength weathering steel YQ450NQR1 before and after optimization /%

Table 4 Secondary cooling scheme on central defect of bloom of high strength weathering steel YQ450NQR1 before and after optimization /%

评级/ 级	优化前 (n=69)			优化后 (n=43)		
	中心疏松	中心偏析	中心裂纹	中心疏松	中心偏析	中心裂纹
2.5	-	-	1.45	-	-	-
2.0	4.35	-	1.45	-	-	-
1.5	15.94	-	4.35	9.3	-	-
1.0	52.17	17.39	11.59	44.19	32.56	2.33
0.5	27.54	81.16	42.03	46.51	23.26	34.88
0	-	1.45	39.13	-	44.19	62.79

4 YQ450NQR1 大方坯连铸冷却制度优化后的大生产应用效果

4.1 大方坯表面质量

优化工艺应用后,2006年8月~2007年4月, YQ450NQR1 钢8770支大方坯摊检结果可得,铸坯表面缺陷主要为凹坑和凹槽缺陷,有极少部分铸坯表面存在纵裂缺陷,铸坯表面无缺陷率为97.03%,同时,在铸坯切割端面的肉眼可见的中心裂纹缺陷率也明显降低,由优化前的44.97%降至优化后的16.37%。

4.2 大方坯内部质量

对2006年8月~2007年4月生产的108炉

YQ450NQR1 钢大方坯进行了硫印、低倍组织检验结果可得,连铸冷却制度优化后, YQ450NQR1 高强耐候钢大方坯表面凹坑和凹槽缺陷率由37.13%降至2.87%;大方坯中心疏松、中心偏析、中心缩孔、中心裂纹、中间裂纹、角部内裂的评判级别均≤1.0级的综合比例达到93%,并且大部分缺陷的评判级别≤0.5级。同时,研究结果表明,由连铸方坯轧成的乙字钢的屈服强度 $R_{e1} \geq 450$ MPa、抗拉强度 $R_m \geq 550$ MPa、伸长率 $\geq 21\%$ 的比例达99.07%,晶粒度 ≥ 7.5 级,低温下检验的乙字钢的V型缺口冲击性能良好,冲击功 ≥ 23 J 的比例达99.44%,且冲击功 ≥ 50 J 的比例达75%以上,满足《铁道货车用高强度耐大气腐蚀热轧310乙字型钢技术条件》要求。

5 结论

(1)通过工艺优化,大方坯表面无缺陷率达到97%以上,大方坯中心疏松、中心偏析、中心缩孔、中心裂纹、中间裂纹、角部内裂的评判级别均≤1.0级的综合比例达到93%,并且由连铸方坯轧成的乙字钢成品质量和性能指标完全达到铁道货车用钢技术条件要求。

(2)通过降低结晶器冷却强度、优化结晶器宽窄面水量分配,减少了铸坯表面凹坑和凹槽,提高了 YQ450NQR1 高强耐候乙字钢用大方坯表面质量,铸坯表面凹坑和凹槽缺陷率由37.13%降至2.87%。

(3)通过适当增大连铸比水量、优化二冷区各回路的水量分配比例, YQ450NQR1 高强耐候乙字钢用大方坯中心疏松评级≤1.0级的比例由79.71%增至90.70%,中心偏析≤0.5级的比例由1.45%增至44.19%,无中心裂纹的比例由39.13%增至62.79%。

参考文献

- 1 邹俊苏,程乃良,汪洪峰. 耐候钢连铸工艺的改进. 梅山科技,2004(炼钢增刊):10
- 2 程德富,何建中. 高耐候310乙字钢试制. 包钢科技,2004(8):29
- 3 阮晓明. 宝钢耐候钢连铸实践. 钢铁,2001,36(2):20
- 4 Mintz Y S, Jones I J. Hot Ductility of Steel and Its Relationship to the Problem of Transverse Crack During Continuous Casting. International Materials Reviews,1991,36:187
- 5 Turkdogan E T. Causes and Effects of Nitride and Carbonitride Precipitation in HSLA Steels in Relation to Continuous Casting. Steelmaking Conference Proceedings,1989,70:399
- 6 刘新宇,许中波,王新华,等. 含钒微合金钢连铸坯高温塑性的研究. 钢铁,2000,35(1):51

陈 永(1969-),男,博士生,教授级高工,1990年东北大学毕业,连铸工艺和铸坯质量控制工艺研究。

收稿日期:2008-02-19