

试验研究

包钢宽厚板 Q690D 铸坯表面缺陷分析与控制

王 皓^{1,2}, 郟俊懋¹, 董 方¹

(1 内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010; 2 包头钢铁(集团)有限责任公司 薄板厂, 内蒙古 包头 014010)

摘 要:针对包钢 Q690D 宽厚板坯在连铸生产过程中出现的振痕及角裂等表面缺陷, 分析了保护渣性能、结晶器振动参数、铸机冷却效果以及钢中含 N 量对铸坯表面缺陷的影响, 通过降低保护渣黏度、提高碱度, 结晶器采用高振频低振幅, 控制铸坯矫直温度在 900 ~ 1 300 °C 的塑性区, 以及控制钢水中的含氮量 $\leq 50 \times 10^{-6}$, 有效地减轻了铸坯振痕, 消除了星裂、角裂等裂纹的产生, 提高了 Q690D 铸坯质量。

关键词: Q690D 连铸坯; 表面缺陷; 振痕; 角裂; 星裂

中图分类号: TF777.1

文献标识码: B

文章编号: 1004-4620(2014)02-0034-03

包钢宽厚板生产线投产以来, 先后成功研制开发出了 Q460C、Q550D、Q690D、Q890D、Q960D 5 个牌号的产品。690 MPa 高强度工程机械用钢的开发成功, 不仅优化了包钢宽厚板产品结构, 提升了包钢宽厚板产品附加值, 同时也为包钢占领高强度工程机械用钢市场并取得可观的经济效益做出贡献。

然而在 Q690D 的生产初期, 经常出现铸坯振痕较深, 轧制出的钢板距边部 30 mm 有星状裂纹等一系列问题, 严重影响了产品的质量与成材率。为此, 通过对保护渣理化性能的修正及结晶器振动参数的调整, 改善了 Q690D 的表面质量, 减轻了操作人员的劳动强度。

1 Q690D 生产工艺及连铸机特点

包钢宽厚板板坯的生产工艺流程为“铁水预处理—顶底复吹转炉—LF 炉(RH)—连铸机”。钢水经转炉冶炼后, 钢水成分(质量分数)能够达到: $[C] < 0.04\%$ 、 $[P] < 0.01\%$ 、 $[S] < 0.02\%$ 。经 LF+RH 处理后钢水洁净度进一步提高, 能够达到: $[H] < 0.0002\%$ 、 $[O]T < 0.0001\%$ 、 $[N]T < 0.005\%$ 、 $[S]T < 0.005\%$ 。包钢宽厚板连铸机采用了先进的直弧机型, 结晶器可在线自动调宽并配有漏钢预报系统, 可实施动态配水和动态轻压下。装备特点如下:

铸机型式为直弧型, 连续弯曲、连续矫直; 铸机主半径 9 500 mm; 冶金长度 39 355 mm; 板坯厚度 200、250 和 300 mm, 板坯宽度 1 200 ~ 2 300 mm; 直结晶器长 900 mm, 液位自动控制, 在线自动调宽; 3 排热电偶、热成像系统结晶器漏钢预报; 结晶器振动方式为液压振动, 实现正弦、非正弦曲线, 动态调

整振动参数; 二次冷却为宽度可调气雾冷却, 动态控制; 轻压下方式为扇形 4 ~ 17 段 4 个夹紧液压缸动态控制。

2 Q690D 铸坯表面缺陷形式

铸坯表面的深振痕是铸坯典型的表面缺陷之一^[1-2], 较深振痕的铸坯通常在后序的轧制工序中衍生为钢板横向裂纹。该缺陷很容易造成钢板的判废, 影响整条生产线的成材率。

图 1 为 Q690D 尾坯的表面深振痕, 从图中可以看出铸坯表面振痕较深。为避免铸坯深振痕在轧制工序时在钢板上延伸出裂纹等问题, 须要对开浇头 8 m、停浇尾部 10 m, 人工用切割枪火焰对铸坯表面进行清理, 剥落厚度为 15 mm 左右, 导致铸坯成材率下降, 同时也增加了操作人员的劳动强度。图 2 为用火焰切割枪剥落表面后的铸坯。



图 1 Q690D 铸坯表面深振痕



图 2 火焰切割枪剥落表面后的铸坯

图 3 为在该钢种的生产开发初期, 通常发生的铸坯角部裂纹问题。特点是在铸坯轧制过程中裂纹继续扩展, 向着钢板内部延伸。图 4 为在轧出的钢板距边部 40 mm 左右出现的星裂等问题, 导致轧

收稿日期: 2014-01-07

作者简介: 王皓, 男, 1984 年生, 2007 年毕业于内蒙古科技大学冶金工程专业, 内蒙古科技大学冶金工程专业在读工程硕士。现为包头钢铁集团公司薄板厂热轧二部工程师, 从事宽厚板连铸工艺技术工作。

制后的板材缺陷增加,成材率降低。



图3 着色显影探伤法发现的Q690D铸坯角部裂纹



图4 Q690D钢板边部的星裂缺陷

3 铸坯表面缺陷产生原因及分析

3.1 保护渣性能影响

铸坯表面上的振痕,本身就是一种表面缺陷,不过通常振痕深度在0.5 mm左右,不会影响铸坯表面质量。由于结晶器的正弦振动,保护渣填充到结晶器铜板与铸坯之间起到润滑作用,因此会在铸坯表面留下或大或小的横向痕迹。在铸坯矫直时,铸坯上表面振痕处会产生局部应力,振痕越深应力越大,同时由于在振痕处坯壳与结晶器壁之间的传热条件变差,摩擦增大较易诱发裂纹。所以横裂纹一般发于振痕底部,与连铸坯及钢板坯表面横裂纹实测情况一致。

为了消除铸坯表面由振痕产生的缺陷,采取减少振痕深度的方法,通过控制保护渣的黏度和碱度,可以达到此目的。随着碱度增加,保护渣玻璃化特性减弱,玻璃体减少,结晶率增加,因此提高碱度可提高保护渣的结晶性能,可控制或消弱结晶器内初生坯壳的凝固传热强度,有助于减少铸坯裂纹。同时保护渣黏度较大,易在结晶器局部弯月面位置形成较大的渣条,会导致此处液态保护渣无法向下流动,从而影响了此处铸坯传热,最终导致铸坯表面出现裂纹。

3.2 结晶器振动参数的影响

当结晶器下振的速度大于拉坯速度时,铸坯对结晶器的相对运动为向上,即逆着拉坯方向的运动,这种运动称负滑脱。

在负滑脱阶段,液态保护渣被吸入到结晶器内壁与坯壳的间隙中,形成一层液态润滑膜,在结晶器向上运动过程中坯壳受到拉应力作用,而且拉应力随坯壳与结晶器内壁之间的相对速度的增加而增大。负滑脱时间决定坯壳凹陷的深度,负滑脱时

间越长,坯壳凹陷越深,振痕也就越深。鉴于之前生产的铸坯表面振痕深的情况,结晶器振动参数采用高振频低振幅来减少负滑脱时间,可以减轻铸坯表面振痕,保证铸坯表面质量。

3.3 铸机冷却效果的影响

钢的强度与其温度、成分、应变速度、凝固组织及冷却条件等有关。在坯壳内部有一个从900℃到固相线温度之间的恒定的温度梯度,包晶转变也是钢产生裂纹的影响因素^[3]。

加强对二次冷却的控制应结合钢的高温脆性特点,钢的高温特性分为3个延性区。

1)第1延性区(1300℃~固相线温度):钢在此区表现出高温塑性和强度明显下降,特别是有S、P等偏析元素存在,在枝晶周围形成液相薄膜,使钢的脆性增加。这是在固-液相界面容易产生裂纹的原因。第2延性区(900~1300℃):钢在该温度区处于奥氏体相区,它的延性和强度取决于晶界析出的硫化物、氧化物的数量和形状,如析出物多为球状,则强度和塑性可明显提高。3)第3延性区(700~900℃):由于发生 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变,体积突然收缩,加上晶界可能析出AlN等沉积物,使钢的脆性增加,特别会加剧钢在矫直时表面横向裂纹的形成^[4]。

用红外测温枪对Q690D铸坯矫直区域的角部进行测温,实测温度为780℃左右,属于脆性温度区的范围,所以容易在矫直外力的作用下出现角部裂纹缺陷。因此,控制铸坯二次冷却强度,必须充分与钢的高温特性相匹配,使铸坯的矫直温度处于900~1300℃塑性区的范围,以减少角部裂纹的发生。

3.4 钢水中N含量对铸坯角裂的影响

对多数C含量0.12%~0.20%、Mn 1.20%~1.60%的钢,在凝固时会出现包晶反应,随着钢液的凝固,钢中的 δ -Fe转变成 γ -Fe,再转变成 α -Fe,发生相变,产生线收缩和体积收缩。包晶反应产生的相变应力会降低传热效果,导致连铸坯壳薄,承受各种应力的能力偏弱,因而最容易产生裂纹。

裂纹以振痕波谷处为起点,在矫直前形成微细裂纹,矫直时由于拉伸应力的作用进一步扩展。裂纹的扩展沿奥氏体晶界进行,按其产生的位置可分为面部横裂和角部横裂。由于波谷处冷却速度慢,易造成沿奥氏体晶界析出物质,从而导致高温塑性降低。由于奥氏体本身的变形阻力比铁素体大,特别是在晶界处有先共析铁素体存在的情况下,很容易产生晶界的滑移,钢中的Al、Nb、V、Ti、Cu、Ni、N等含量越高,越易产生裂纹^[5]。而含Nb、V、Ti钢铸坯试样中主要有3类碳、氮化物析出物:1)含钛钢中高温下析出的粗大TiN;2)铌的球状析出物;3)

900℃附近温度区间析出的微细动态析出产物。微细碳、氮化物的析出是钢在第Ⅲ脆性温度区高温侧延塑性降低的主要原因^[6]。

Q690D钢种具有含Ni、V、Ti等钢的特点,正是对裂纹特别敏感的钢种,因此控制钢水中的含N量对铸坯角部裂纹的起到有效的作用。

4 改进铸坯表面缺陷的措施

4.1 针对深振痕缺陷采取的措施

通过更换连铸保护渣与调整结晶器振动参数,有效地改善了Q690D的表面缺陷,提高了铸坯质量。表1为保护渣改进前(型号ST-SP/HB-1)后(型号ST-SP/YK2P-3)性能指标及使用效果比较;表2为结晶器振动参数调整前后情况。

表1 Q690D专用保护渣性能指标改进前后对比

保护渣	密度/(g·mL ⁻¹)	熔点/℃	黏度	碱度	使用效果
改进前	0.60	1 146	0.88	1.43	渣耗量大,振痕深
改进后	0.63	1 149	0.78	1.53	渣耗量小,振痕浅

表2 开浇起步时振动参数调整前后对比

拉速/ (m·min ⁻¹)	调整前		调整后	
	振频	振幅	振频	振幅
0.2	43	6	65	5.0
0.3	65	6	85	5.0
0.4	75	6	95	5.0
0.5	85	6	95	5.0
0.6	95	6	105	5.2
0.7	105	6	115	5.4
0.8	115	6	125	5.6
0.9	125	6	135	5.8
1.0	135	6	140	5.8

使用效果 振痕深,钢板表面星状裂纹 振痕正常,钢板正常

原保护渣由于黏度较大,容易在结晶器局部弯月面位置形成较大的渣条,导致此处液态保护渣无法向下流动,从而影响了此处铸坯传热,最终导致铸坯表面出现裂纹^[7-8]。如果过于频繁地挑渣条,由于渣条挑出的瞬间没有液渣补充,就在此处形成了凹坑。目前来看,新品种保护渣对铸坯振痕改善效果明显,结晶器热流稳定,液渣层厚度10~15mm,铸坯的表面振痕较浅,轧制厚规格的钢板表面星裂已消除。

将对应拉速的振频做了一定的提高,并且将原使用的振幅随拉速的增长逐步过渡提高到6mm,采用高振频低振幅后,铸坯表面质量明显改善。

4.2 针对角裂缺陷采取的措施

1)减小铸坯在矫直区域的二次冷却水量,提高铸坯角部的矫直温度到900~1 200℃的塑性区范围内,避免出现矫直裂纹。表3为铸坯矫直区域二次冷却水量调整前后铸坯角部温度对比。

经过调整后铸坯角部温度明显提高,角部裂纹

表3 铸坯矫直区域二次冷却水量调整前后对比

冷却水回路	配水量/L		铸坯角部温度/℃	
	调整前	调整后	调整前	调整后
14区	96	48		
15区	80	40	780	950
16区	76	38		
17区	70	35		

发生的概率显著降低,控制效果明显。

2)严格控制钢水中的含氮量,要求钢中含N量 $\leq 50 \times 10^{-6}$,以避免在铸坯冷却中形成NbN、AlN、TiN等并在晶界析出产生表面和角部裂纹。图5为包钢宽厚板对铸坯表面缺陷采取控制措施后达到的效果。

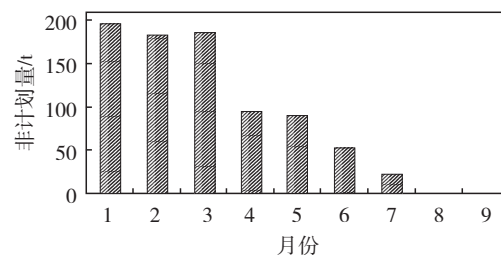


图5 包钢Q690D铸坯2013年1—9月裂纹导致非计划量

5 结论

5.1 通过在原保护渣的基础上降低黏度、提高碱度的措施,到达了减小Q690D铸坯振痕深度、消除星状裂纹的目的。

5.2 结晶器采用高振频低振幅后,裂纹、振痕深度明显减少,Q690D铸坯表面质量明显改善。

5.3 控制铸坯二次冷却强度,使铸坯的角部矫直温度处于900~1 300℃的塑性区,减少了铸坯角部裂纹的发生。

5.4 严格控制钢水中的含氮量,要求钢中含N量 $\leq 50 \times 10^{-6}$,以避免在铸坯冷却中形成NbN、AlN、TiN等并在晶界析出,产生表面和角部裂纹。

参考文献:

- [1] Yamanaka A., Nakajima K., Okamura K. Critical strain for internal crack formation in continuous casting [J].Ironmaking and Steelmaking, 1995,22(6):508-512.
- [2] 韩志强,蔡开科.连铸坯内部裂纹形成条件的评述[J].钢铁研究学报,2001,13(1):68-72.
- [3] 蔡开科.连续铸钢原理与工艺[M].北京:冶金工业出版社,1999.
- [4] 冯捷,石学红.连续铸钢生产[M].北京:冶金工业出版社,2005.
- [5] 陈瑛.中厚板生产[M].北京:冶金工业出版社,1991:1-6.
- [6] 蔡开科.浇注与凝固[M].北京:冶金工业出版社,1987.
- [7] 高静娜.CSP薄板连铸坯二次冷却凝固过程的研究[D].秦皇岛:燕山大学,2006:5-9.
- [8] 钱振伦.我国宽厚板生产技术和装备的发展及评述[J].冶金管理,2008(3):57-60.

(下转第39页)

表1 济钢3 200 m³高炉2012年以来渣系参数及关键技术指标

年份	风量/(m ³ ·min ⁻¹)	透气性/(m ³ ·min ⁻¹ ·kPa ⁻¹)	渣比/(kg·t ⁻¹)	R ₂	Al ₂ O ₃ /%	MgO/%	Si/%	铁水物理热/℃	燃料比/(kg·t ⁻¹)
2012	5 854	30.8	350	1.19	15.68	10.03	0.576	1 512	546
2013	6 162	34.0	347	1.17	15.81	10.26	0.441	1 524	525
2014	6 257	35.2	378	1.17	16.04	10.22	0.392	1 530	517

作者忽视。济钢通过统计分析发现:渣比对高炉的透气性影响最直接;Al₂O₃对高炉透气性有负面影响,但是通过提高MgO可以削弱其对高炉透气性的影响程度;提高MgO和二元碱度都可提高炉渣脱硫效率,具体采用哪种方式取决于炉渣的Al₂O₃水平和有害元素负荷的高低;通过提高二元碱度来提升炉缸蓄热能力不如提高MgO效果明显。济钢3 200 m³

高炉造渣制度的选取是通过收集现场大量数据,利用先进的统计工具回归统计出各项指标的合理控制区间,对现场造渣制度的选择更具指导意义。

参考文献:

- [1] 赵军,米建军,尤新东,等.唐钢3 200 m³高炉炉缸活性问题初探[C]//全国大高炉炼铁学术委员会.第十届大高炉炼铁学术年会论文集.2009.

Influence Analysis of Slag Series Adjustment for Jinan Steel s 3 200 m³ BF

LIU Xueyan

(The Ironmaking Plant of Jinan Branch Company of Shandong Iron and Steel Co., Ltd., Jinan 250101, China)

Abstract: Through analyzing normal process data by regression analysis method from blow-in of Jinan Steel's 3 200 m³ BF the influence laws by slag volume, the content of Al₂O₃ and MgO in slag, binary basicity to BF's permeability, desulphurization efficiency and hearth heat reserve were found out. The results showed that under the condition of high Al₂O₃ and high S load to control the MgO within 10%–10.5% and the binary basicity R₂ within 1.15–1.2 the BF's permeability will get improvement and the BF smooth, and technical and economical index progress will also get advanced.

Key words: BF; slag series; permeability; desulphurization efficiency; hearth heat reserve

(上接第36页)

Analysis and Control of Surface Defects in Q690D Slab for Heavy Plate in Baotou Steel

WANG Hao^{1,2}, QIE Junmao¹, DONG Fang¹

(1 College of Metallurgy and Material Science and Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China; 2 The Thin Slab Plant of Baotou Iron Steel (Group) Co., Ltd., Baotou 014010, China)

Abstract: The surface defects such as oscillation marks and corner cracks appeared in the Q690D slab for heavy plate in Baotou Steel. In order to solve the problems, the influences of the performance of mould powder, oscillation parameters of the crystallizer, cooling effect of continuous caster and the content of nitrogen in the steel on the surface defects were analyzed. By decreasing the viscosity and increasing the basicity of mould powder, enhancing the oscillation frequency and reducing the amplitude of the crystallizer, controlling the range of straightening temperature between 900 and 1 300 °C (the plastic zone) and controlling the content of nitrogen in the steel $\leq 50 \times 10^{-6}$, the oscillation marks were lightened efficiently, the corner crack and star crack were removed and the Q690D slab quality was improved.

Key words: Q690D continuously cast slab; surface defect; oscillation mark; corner crack; star crack

科技论文摘要写作要求

摘要是对文章内容准确、概括而不加评论的简短陈述。摘要应具有独立性和完整性。一般以第三人称的语气,避免用“我们”、“作者”、“本文”、“本研究”等作为文摘的开头。

1)报道性摘要。报道性摘要即资料性摘要或情报性摘要,用来报道论文所反映的作者的主要研究成果,向读者提供论文中全部创新内容和尽可能多的定量或定性的信息。尤其适用于试验研究和专题研究类论文。篇幅100~300字。其内容比较详细,应包括研究的目的、方法、结果和结论,应是具体内容,尽量反映文章的主要信息。重点是结果和结论,将论文创

新的、具有特色的内容表达出来。一般情况下,向学术性及技术性科技期刊投稿应选用报道性摘要形式。

2)指示性摘要。仅仅指出文章用什么方法研究了什么问题,而不涉及结果及结论。以数学解析为主的论文、综述性的文章经常用这种摘要。篇幅一般50~100字。

3)报道—指示性摘要。以报道性文摘的形式表述论文中最重要的内容,即信息价值较高的部分,而以指示性文摘的形式表述其余作者认为不太重要的内容,以避免摘要写得太长且重点不突出。

(燕明宇)