

控制高碳钢中心碳偏析的工艺实践

田 振,张庆雷,许继勇,于 广

(日照钢铁控股集团有限公司 第一炼钢厂,山东 日照 276806)

摘 要:针对方坯连铸过程中产生的连铸坯中心偏析问题,日钢第一炼钢厂采取了一系列控制措施,如减少钢液成分波动、降低中间包内钢液过热度、制定合适的拉速和温度匹配制度并保持恒拉速、优化结晶器电磁搅拌参数、控制合适的二冷强度、使用凝固末端电磁搅拌等,使高碳钢铸坯中心偏析明显改善, $w[C] \geq 0.60\%$ 的高碳钢中心碳偏析(≤ 1.5 级)合格率100%。

关键词:高碳钢;方坯连铸;中心碳偏析;电磁搅拌

中图分类号:TF777.2

文献标识码:B

文章编号:1004-4620(2014)01-0012-02

1 前 言

连铸坯中心碳偏析是指位于铸坯中心部位的C元素含量明显高于其他部位的宏观偏析现象。高碳钢铸坯中心碳偏析会导致盘条的内部质量恶化,控冷不好时有可能产生马氏体组织,导致盘条心部的塑性及强度与基体差异较大,从而在生产钢绞线以及钢帘线的拉拔工艺中产生脆性断裂,多呈45°杯锥状断口,降低产品的使用质量^[1-3]。

日钢第一炼钢厂目前生产高碳钢的工艺路线为:铁水→混铁炉→60 t顶底复吹转炉→LF炉→连铸。转炉采用高碳出钢($w[C] \geq 0.20\%$)工艺路线,以降低终点钢水自由氧含量,提高合金收得率和钢水洁净度;精炼采用电石脱氧快速成渣,出钢后喂线钙处理;六机六流弧形连铸机生产160 mm × 160 mm小方坯,采用全程保护浇注、结晶器和凝固末端电磁搅拌。对于 $w[C] \geq 0.60\%$ 的高碳钢,中心碳偏析不合格率(≥ 2.5 级)为8%,平均中心碳偏析为1.12,中心碳偏析成为高碳钢质量提高的主要限制性环节。

2 中心碳偏析原因分析

碳偏析是由于凝固末端树枝晶搭桥或铸坯鼓肚,促使凝固末端富集溶质元素的钢液流动的结果。铸坯在凝固过程中,随着表层凝固厚度增加,铸坯内部向外传热能力降低,铸坯开始呈现定向凝固,形成由外向内的长条状树枝晶。由于选分结晶的原因,溶质元素C、S、P等向液相区积聚,当铸坯局部出现个别柱状晶增长而产生搭桥现象时,富集溶质元素的钢液被封闭形成小钢锭效应,在该处形成此类元素的正偏析,并产生疏松、缩孔等缺陷^[2]。

因此,为控制铸坯的中心碳偏析就要减少凝固末端树枝晶搭桥,以减少凝固相富集溶质元素的钢液流动。生产高碳钢时,首先针对C、S、P等易偏析元素的影响要保证钢液的纯净度,其次要严格控制连铸工艺参数,如钢水温度、拉速、二次冷却强度、电磁搅拌等,来控制高碳钢中心碳偏析^[4]。

3 铸坯中心碳偏析控制措施

3.1 钢液成分波动控制

钢中C、S、P含量越高,铸坯中心偏析也越大。通过转炉高拉碳低温去[P]及LF炉精炼脱[S]后,日钢第一炼钢厂高碳钢的 $w[P]$ 、 $w[S]$ 含量均较低,对中心偏析影响较小,但是高碳钢因含碳量较高,其碳偏析度也相应提高。当 $w[C] \geq 0.60\%$ 时,中心偏析急剧增大。因此,在实际生产过程中必须保证钢包内成分均匀。实践发现,精炼控制C偏差在 $\pm 0.01\%$,确保连浇炉次间的窄成分控制,由成分波动导致的中心碳偏析能够最大程度得到抑制。

3.2 过热度的控制

中间包钢水过热度高低是影响高碳钢等轴晶区大小的重要参数之一。生产过程中为了扩大铸坯内部等轴晶网格比例,抑制柱状晶的形成,则可以采取中间包低过热度浇铸。中包过热度较高时,铸坯内部柱状晶区域便会扩大,在中心产生柱状晶搭桥的概率相应增大,容易形成中心疏松和缩孔,同时铸坯内部会产生严重的中心偏析。因此,在修订高碳钢的连铸中包过热度工艺制度时要综合考虑,使之既能满足铸坯所需的等轴晶区,又要提高中心等轴晶的比例。

LF炉精炼严格执行钢包上台温度制度,上台温度波动控制在10℃以内,同时生产过程中保证连铸的过热度合格率,中包钢液过热度20~30℃的合格率由85%提高到94.5%以上。目前C72DA钢目标过热度控制在24℃。统计表明,改进后(统计45

收稿日期:2013-05-06

作者简介:田振,男,1987年生,2011年毕业于东北大学钢铁冶金专业,硕士。现为日照钢铁第一炼钢厂连铸工程师,从事连铸工艺技术工作。

炉),平均过热度由改进前(统计30炉)的32.4℃下降到25.5℃,平均碳偏析级别由1.10降低到1.05。

经过技术攻关,严格控制连铸浇注温度波动,统计表明,其他条件相同的情况下,浇注温度波动由改进前(统计22炉)的10.5℃降低到改进后(统计17炉)的8.2℃时,C72DA钢平均中心碳偏析指数由1.09降低到1.05。可见浇注温度越稳定,铸坯平均中心碳偏析值越低。因而,保证整个钢包区域温度的相对稳定,提高钢包和中包保温效果,减少中间包散温,降低浇注过程温度波动,保障生产稳定运行,从而降低铸坯中心碳偏析。

3.3 恒拉速

对于生产高碳钢来说,适当降低拉速有利于提高铸坯内部质量。低拉速使铸坯在离开结晶器时坯壳厚度增加,足以承受钢液的静压力,降低鼓肚发生频率;反之,液相穴会随着拉速的提高而延长,液相穴越长则中心偏析越重。

在生产过程中,一般希望得到较短的液相穴,钢液流动性良好,易于补缩,因此要求根据钢液过热度对拉速进行修正。中间包温度一定的条件下,过分降低拉速会造成中间包内热损失增加,导致浇注后期大包温度低、中包水口结瘤,造成拉速波动,影响铸机生产节奏和铸坯内部质量。

综合以上因素,结合日钢现有铸机设备状况以及铸坯断面尺寸,在稳定生产节奏且减小拉速波动的前提下,对原有拉速和温度制度进行修改,制定如表1所示的拉速和钢水过热度匹配制度。

表1 日钢两种钢不同过热度对应的拉速 m/min

钢种	过热度/℃		
	<20	20~35	>35
60 [#]	2.2	2.1	2.0
70A1	2.1	2.0	1.9

统计表明(见表2),C72DA钢过热度25℃、拉速1.9 m/min时碳偏析最低。拉速低时碳偏析降低,在日钢第一炼钢厂现有条件下,过热度20~28℃,拉速为1.9 m/min时效果最佳,其对应的铸坯中心碳偏析级别较低,同时能获得较好的铸坯表面质量。

表2 C72DA钢不同拉速的平均碳偏析

拉速/(m·min ⁻¹)	1.9	2.0	2.2
平均碳偏析	1.04	1.06	1.08

3.4 结晶器电磁搅拌参数的调整

通过结晶器电磁搅拌可以强制铸坯内部钢水产生流动,从而抑制柱状晶在凝固前沿的定向生长,扩大铸坯中心部位的等轴晶区,减轻中心碳偏析的程度。日钢第一炼钢厂通过降低运行电流和提高运行频率,调整结晶器电磁搅拌方式,结果表明,C72DA钢在二冷比水量为1.2 L/kg时,采用结晶

器电磁搅拌(M-EMS)可使等轴晶比例提高到39.5%以上,碳偏析指数也由平均1.07降到1.04,中心碳偏析合格率由95.5%达到100%。

3.5 二冷强度的控制

适宜的二次冷却强度对提高高碳钢的内部质量非常有利。二次冷却强度太弱,凝固壳坯太薄,坯壳受到钢水的静压力易形成鼓肚甚至漏钢,造成严重的中心碳偏析;二次冷却强度过大,铸坯坯壳快速冷却,坯壳内部液态区域向外传热效率有限,导致断面温度梯度增大,铸坯柱状晶区域扩大。

日钢第一炼钢厂生产方坯断面较小(160 mm × 160 mm),适当强冷可促进铸坯表层细小等轴晶的生长,增加激冷层厚度,加快柱状晶生成,减少凝固后期富集溶质元素钢液的流动,从而降低中心碳偏析。统计表明,在其他条件不变的情况下,二冷采用弱冷,C72DA钢种比水量由改进前的1.5 L/kg降至1.2 L/kg后,铸坯中心平均碳偏析指数由1.08(试样量42个)显著降低到1.03(试样量50个)。

3.6 应用凝固末端电磁搅拌

应用凝固末端电磁搅拌(F-EMS)的目的是改善铸坯的中心偏析。F-EMS搅拌固液两相区,通过电磁力打碎的树枝晶碎片可作为等轴晶的核心,增加两相区局部传热,消除搭桥,减轻树枝晶间富集溶质液体的流动,使心部偏析金属趋于均匀,同时产生较多的结晶核。这样能扩大等轴晶区、细化晶粒,形成较宽的细小等轴晶带,获得良好的铸坯内部质量。

日钢第一炼钢厂从2011年开始对60[#]以上高碳钢种使用末端电磁搅拌,铸坯取得了较好的内部质量,铸坯中心碳偏析有所降低,且无心部裂纹。经过多次试验对凝固末端电磁搅拌系统的频率和电流进行优化,末端电磁搅拌电流调整为230~300 A,频率调整为3~10 Hz。C72DA高碳钢铸坯中心碳偏析得到有效控制,中心碳偏析合格率达到100%,平均碳偏析指数由1.12降至1.02以下,且碳偏析指数≤1.02的样本比例达到95%以上,特别是SWRH82B钢中心碳偏析指数≤1.03的比例达到100%。

4 结 语

日钢第一炼钢厂采取降低中间包温度、恒拉速、降低二次冷却温度、优化电磁搅拌参数等控制中心碳偏析的措施后, $w[C] \geq 0.60\%$ 的高碳钢中心碳偏析(≤1.5级)合格率达到100%,平均中心碳偏析指数≤1.02的样本比例达到90%以上,特别是SWRH82B钢的索氏体比例>90%。高碳钢性能稳定,完全能够满足用户需求。(下转第16页)

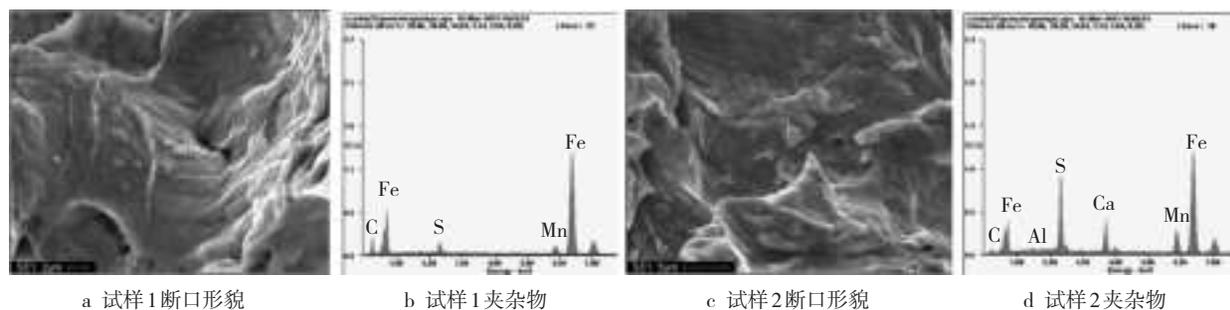


图2 Ti微合金化Q345E钢两个冲击试样的断口形貌及夹杂物

济效益,开发的生产工艺很好地控制了钢中的夹杂物及晶粒度,使钛微合金化的作用得到很好发挥,产品成材合格率明显提升(85%以上),同时杜绝了镍等贵重合金的使用,吨钢节约成本300元以上。低碳钛微合金化生产工艺的成功开发,为抗低温冲击H型钢以后的批量生产及产品质量的进一步提升

打下了良好的基础。

参考文献:

- [1] 许峰云,白秉哲,方鸿生.低合金高强度钢钛微合金化进展[J].金属热处理,2007,32(12):92-99.
- [2] 刘清友,陈红桔,张永权,等.钛对汽车车轮用钢组织和性能的影响[J].钢铁研究学报,1994,6(1):4-9.

Development of Low-temperature Shock Resisting H-beam Q345E Steel Microalloying by Titanium

ZHANG Xuemin, ZHAO Shenggong

(The Steelmaking Plant of Laiwu Branch Company of Shandong Iron and Steel Co., Ltd., Laiwu 271104, China)

Abstract: The Steelmaking Plant of Laiwu Branch Company of Shandong Iron and Steel Co., Ltd. formerly adopted Nb, Ni and B microalloying to produce low-temperature shock resisting H-beam Q345E steel, but the impact property of the products had large fluctuation, low percent of pass and poor benefits. Therefore, producers optimized and adjusted the production processes, adopted low-carbon and Ti microalloying, used passivated magnesium particles desulfurization, used aluminum ferromanganese and aluminum particles deoxidation and protective casting, adjusted rolling process and strengthened the control for each procedure. The absorbed-in fracture energy of developed product at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ is between 120 and 160 J/cm² and at $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ is between 70 and 100 J/cm². The qualified rate of finished products is 85% above. The cost reduced by 300 Yuan RMB per ton.

Key words: H-beam; Q345E steel; titanium microalloying; low temperature impact toughness; cost

(上接第13页)

参考文献:

- [1] 蔡开科,程士富.连续铸钢原理与工艺[M].北京:冶金工业出版社,1994:332-333.
- [2] Chen Y, Feng F, Lin K, et al. Improvement of Center Segregation for High Carbon Steel Bloom[C]// USA. IRON & STEEL SOCI-

ETY. Steelmaking Conference Proceedings.1996.

- [3] 朱志红.连铸板坯中心偏析的成因及预防措施调研[J].重钢技术,2007,50(4):7-10.
- [4] 桂美文,覃之光.82B高碳钢连铸坯中心偏析及线材质量的改善[J].炼钢,2005,21(3):1-4.

Process Practice of Controlling Central Carbon Segregation of High Carbon Steel

TIAN Zhen, ZHANG Qinglei, XU Jiyong, YU Guang

(The No.1 Steelmaking Plant of Rizhao Steel Holding Group Co., Ltd., Rizhao 276806, China)

Abstract: A series of measures were taken to solve the problem of central carbon segregation in billet in No.1 Steelmaking Plant of Rizhao Iron and Steel Co., Ltd., including reducing the liquid steel composition fluctuation, decreasing the superheat of hot metal in the tundish, developing an appropriate matching system of casting speed and temperature, keeping a constant casting speed, optimizing mould electromagnetic stirring parameters, controlling suitable secondary cooling strength, using the solidification end electromagnetic stirring and so on. The central segregation in high carbon steel billet was obviously improved. The pass rate of central carbon segregation (≤ 1.5 level) of high-carbon steel with $\geq 0.60\%$ carbon content is 100%.

Key words: high carbon steel; billet continuous casting; central carbon segregation; electromagnetic stirring

山东金属学会专业学委会工作会议在济南召开

山东金属学会专业学委会工作会议于2014年2月12日在济南召开。学会秘书长、副秘书长,专业学术委员会主任、副主任、秘书共38人出席了会议。会议总结了学会2013年工作,确定了2014年活动计划。2014年

学会主要任务:一是开展学术交流活动;二是完成社会组织资质的评估认证工作,获得承接政府购买服务的资质;三是参与山东冶金行业协会的组建工作;四是各学委会到期换届和新成立学委会机构组建工作。(胡世杰)