

· 工艺技术 ·

130 t BOF-LF-150 mm × 150 mm CC 流程控制高碳钢 SWRH82B 氮含量的工艺实践

邢梅峦^{1,2} 包燕平¹ 林路¹

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083;2 澳森钢铁有限公司,辛集 052360)

摘要 0.79%~0.86% C SWRH82B 高碳钢的生产流程为 130 t 顶底复吹转炉-LF-8 流 150 mm × 150 mm 坯连铸工艺。通过转炉吹炼时采用较高泡沫渣高度,终点枪位较其他钢种高 100~150 mm,转炉全程底吹氩 0.02~0.05 m³/(t·min),圆流出钢,LF 精炼时快速成渣,合适的吹氩量 20~30 m³/h,连铸全程保护等工艺措施,有效控制钢中氮含量,205 炉氮含量分析表明,钢中氮含量为 13.7 × 10⁻⁶~37.4 × 10⁻⁶,平均氮含量为 23.3 × 10⁻⁶。

关键词 130 t 顶底复吹转炉-LF-CC 流程 SWRH82B 高碳钢 氮含量 控制 工艺实践

Process Practice on Control of Nitrogen Content in High Carbon Steel SWRH82B Produced by 130 t BOF-LF-150 mm × 150 mm CC Billet Flow Sheet

Xing Meiluan^{1,2}, Bao Yanping¹ and Lin Lu¹

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Aosen Iron and Steel Co Ltd, Xinji 052360)

Abstract 0.79%~0.86% C high carbon steel SWRH82B is produced by 130 t top and bottom combined blown converter-LF-8-strand 150 mm × 150 mm billet concasting process. With the measures including using higher foaming slag height in converter blowing process, lance level higher than other steel grades by 100~150 mm, bottom argon blowing rate 0.02~0.05 m³/(t·min) in whole converter melting process and round flow tapping, in LF refining rapid slagging and using suitable argon blowing rate 20~30 m³/h, and whole process shielding casting, the nitrogen content in steel is availablely controlled. The analysis of nitrogen in steel of 205 heats show that the nitrogen content in steel is 13.7 × 10⁻⁶~37.4 × 10⁻⁶ and the average nitrogen content in steel is 23.3 × 10⁻⁶.

Material Index 130 t Top and Bottom Combined Blown Converter-LF-CC Flow Sheet, High Carbon Steel SWRH82B, Nitrogen Content, Control, Process Practice

SWRH82B 高碳钢线材主要用于制作预应力钢丝和钢绞线,该产品在铁路、公路、桥梁、核电站、水泥制品等领域应用广泛^[1-4],用户对线材质量要求很高^[5]。而 SWRH82B 高碳钢线材在拉拔过程中断裂是常出现的质量问题。钢中 N 含量过高是造成线材易断的重要原因之一^[6]。N 在铁素体中的溶解度随温度降低而急剧下降,快速冷却时,钢中氮过饱和,部分与其他元素结合成氮化物,部分游离 N 以 Fe₄N 形式析出并沿晶界分布,使钢变脆,产生“时效脆性”。控制钢材中 N 含量 < 50 × 10⁻⁶、H 含量 < 2 × 10⁻⁶是防止钢材断面收缩率恶化的措施^[7]。另外,钢中氮在冷变形加工过程中,使钢中位错密度增加,钢的硬度、强度升高,塑性和韧性下降^[8],钢中的氮含量越低,SWRH82B 盘条自然时效时间越短^[9]。缩短盘条的时效期可有效减少生产企业和用户的资金占用。

河北辛集澳森钢铁公司采用转炉、LF 精炼、小

方坯连铸机流程生产 SWRH82B 线材,通过严格的过程控制,达到了钢中氮含量的稳定控制。

1 生产工艺

澳森钢铁有限公司 SWRH82B 高碳钢的生产流程为 130 t 顶底复吹转炉→130 t LF 精炼→R10 m 八机八流弧形连铸机(结晶器液面自动控制、结晶器电磁搅拌、铸坯断面 150 mm × 150 mm)→高速线材轧机。所生产盘条的规格为 Φ8~13 mm。SWRH82B 钢的化学成分见表 1。

因未采用真空精炼,通过转炉、LF 精炼、连铸过程控制钢中氮含量尤其重要。

表 1 高碳钢 SWRH82B 的化学成分 /%

Table 1 Chemical composition of high carbon steel SWRH82B /%

C	Si	Mn	P	S
0.79~0.86	0.15~0.35	0.60~0.90	≤0.030	≤0.030

2 工艺措施

为实现低成本冶炼,未采用 VD 等真空工序,通过控制转炉、LF 精炼工序和连铸工序实现氮含量的有效控制

2.1 优化转炉冶炼工艺,控制钢液增氮

2.1.1 转炉冶炼合理泡沫渣高度的控制

在转炉冶炼过程中,炉渣高度的控制至关重要,若控制不当则可能引发喷溅,尤其在冶炼中前期。喷溅的发生与熔池温度、氧枪枪位和炉渣物性等密切相关。在冶炼末期,碳氧反应趋于平缓,炉渣泡沫渣化程度略有减轻,喷溅发生几率略有降低,一般人为操作不当易导致喷溅^[10]。在冶炼末期泡沫渣高度过低还容易导致钢液增氮,不利于冶炼低氮钢。故有必要在冶炼末期适当提高泡沫渣高度,以防钢液增氮和利于脱磷^[11]。为控制钢液吸氮量,采用较高的泡沫渣高度,高碳钢的终点枪位比其它钢种的高 100 ~ 150 mm。

2.1.2 转炉底吹全程吹氩

目前常用的转炉底吹模式根据所吹气体种类不同可分为转炉吹炼过程全程吹氮、全程吹氩、吹氮和吹氩切换等 3 种模式,吹氮和吹氩切换模式是在转炉吹炼前期吹氮,在吹炼后期底吹切换成氩气。澳森钢铁公司在采用 BOF-LF-CC 流程生产高碳钢时,为有效控制钢中氮含量,转炉底吹采用全程吹氩模式。炉底上 6 块底吹砖在不同冶炼时期采用不同的流量,其供气强度控制在 0.02 ~ 0.05 m³/(t · min)。

2.1.3 控制转炉出钢过程的增氮

转炉出钢过程中钢液受空气的二次氧化,钢液增氧的同时增加氮含量,增氧量和增氮量与钢液的成分、钢-气的界面积和时间有关。加强出钢口的维护,减少粘钢、粘渣,防止出钢时流散,减少出钢过程中的增氮。

2.2 LF 尽早成渣,防止精炼过程增氮

2.2.1 吹氩控制

LF 精炼过程中吹氩搅拌对均匀钢液的成分和温度、促进钢液间反应、加快夹杂物上浮有重要作用。但过强的搅拌则造成卷渣,并增加钢中的气体,为防止钢液吸气,需有合适的吹氩量。氩气量选择为 20 ~ 30 m³/h,并根据钢包情况进行微调。精炼送电结束软吹时,氩气量的控制以不裸露钢液面轻微翻腾为合适。

2.2.2 精炼工序加快成渣速度

精炼过程中增氮主要来源于与钢液接触的大气经电离进入钢液中。钢液去氮主要靠搅拌处理、真

表 2 LF 精炼渣主要成分和碱度

Table 2 Main ingredient of LF refining slag and basicity

精炼渣成分 /%				碱度(R)
CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	
50 ~ 60	14 ~ 20	4 ~ 8	5 ~ 10	3.0 ~ 4.0

空处理或两种工艺的组合^[12]。RH 去氮率在 10% ~ 40%^[13]。

在本工艺中因未采用真空精炼,故在 LF 精炼工序加强对氮含量的控制尤其重要。为此,通过加快精炼工序的成渣速度,减少钢液与大气的接触,控制精炼工序的增氮。在精炼时主要采用电石作为还原剂,以利于形成泡沫渣,减少精炼过程的钢液吸气。及时清理钢包沿粘钢、粘渣,将精炼炉罩降到位,以利于炉内保持微正压,防止空气吸入。LF 精炼时间控制在 ≥ 38 min。精炼渣样控制情况见表 2。

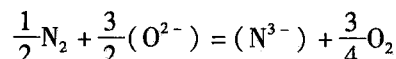
2.3 加强连铸保护,减少连铸过程吸氮

在炼钢生产中,钢液中 N 远未达到平衡 N,只要脱氧钢液与大气接触就会吸氮,在浇注过程中,钢液脱氧充分,氧活度低,动力学条件良好,吸氮倾向非常明显^[14]。因而加强对已脱氧钢液的保护就显得非常重要。

加强钢包到中间包的保护,采用加装保护套管并吹氩保护,中间包到结晶器加装保护套管。控制连铸过程中增氮。

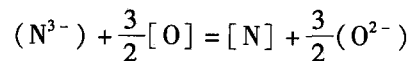
选择合适的覆盖剂,减少连铸浇钢过程的吸氮。氮从气相通过渣层扩散到钢液,包括以下几个过程^[15]:

- (1) N₂ 从气相内部向气相边界层扩散;
- (2) N₂ 在气相边界层中向渣-气界面扩散;
- (3) N₂ 在渣-气界面发生化学反应:



(4) (N³⁻) 在渣中向渣-钢界面传质,并通过渣钢界面渣侧向界面扩散;

- (5) (N³⁻) 在渣-钢界面发生渣钢反应:



- (6) [N] 在钢液边界层中扩散;
- (7) [N] 从钢液边界层向钢液内部传质。

一般情况下,过程(1),(2),(7)不可能是过程的限制性环节;氮在渣-气界面和渣-钢界面发生的化学反应在高温的条件一般也比较快;过程(3),(5)也不是过程的限制性环节,相对于氮在渣中的

扩散,其在钢液内部的扩散速度较快;过程(6)也不应是过程的限制性环节。因此控制钢液吸氮的限制性环节是氮在渣中的扩散,即过程(4)。

若钢液表面上的渣形成熔化层、软化层及固体层3层结构,则会使得氮在渣中的扩散极为困难,可有效防止钢液吸氮。因此选择具有合适熔点的覆盖剂可有效防止钢液吸氮。通过摸索试验,采用双层覆盖剂结构,离钢液近的采用熔点低的覆盖剂,离钢液远的采用熔点高且保温效果好的覆盖剂,减少钢液吸氮的同时减少中间包钢液的温度降低。中间包钢液容量为25 t,正常浇注时中间包钢液温度控制在液相线温度以上30℃以内。

3 钢中氮含量过程能力控制分析

对采用该工艺生产的 SWRH82B 盘条取样,采用氧氮分析仪分析钢中的氮含量。采用非真空精炼的方式有效控制了钢中氮含量。钢中氮含量 $\leq 40 \times 10^{-6}$,满足了 SWRH82B 钢的质量要求,降低了生产成本。选取 SWRH82B 钢种 205 炉氮含量分析,平均氮含量为 23.3×10^{-6} ,具体见表3。氮含量控制

表3 高碳钢 SWRH82B 盘条的氮含量,205 炉/ 10^{-6}

Table 3 Nitrogen content in coil of high carbon steel SWRH82B, 205 heats/ 10^{-6}

最大值	最小值	平均值	标准要求
37.4	13.7	23.3	≤ 50

参考文献

- [1] Sychkov A B, Zhigarev M A, Perchatkin A V, et al. High-Carbon Wire Rod Made of High-Chromium Steel [J]. Metallurgist, 2006, 50 (3/4): 183-188.
- [2] Zhang J Q, Liang Y L, Xiang S, et al. Effect of Heat Treatment Process on Microstructure and Mechanical Properties of SWRH82B Wire Rod [J]. Advanced Materials Research, 2010, 97-101: 752-755.
- [3] Carneiro Filho C J, Mansur M B, Modenesi P J, et al. The Effect of Hydrogen Release at Room Temperature on the Ductility of Steel Wire Rods for Pre-Stressed Concrete [J]. Materials Science and Engineering, 2010, 527 (18/19): 4947-4952.
- [4] Sychkov A B, Zhigarev M A, Zhukova S Y, et al. Production of Wire Rod for High-Strength Reinforcing Cord [J]. Steel in Translation, 2010, 40(1): 78-81.
- [5] 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.
- [6] 张翔. 高碳钢 82B 线材的质量改进 [J]. 轧钢, 2001, 18(4): 20-23.
- [7] 刘恩铨. 影响 PC 钢盘条塑性指标的因素浅析 [J]. 天津冶金, 2002(1): 16-20.
- [8] 孔祥涛, 周德, 陈宏. 大规模高强度 SWRH82B 盘条拉拔过程断丝原因分析 [J]. 钢铁, 2012, 47(2): 44-48.
- [9] 李殿明, 邵明天, 杨宪礼. 连铸结晶器保护渣应用技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008.
- [10] 崔阳, 南晓东, 冯军, 等. 转炉冶炼末期泡沫渣高度控制技术 [J]. 首钢科技, 2010(1): 5-8.
- [11] Kusuhiro Mukai, Takashi Nakamura and Hidetoshi Terashima. Slag Foaming in Reaction between Molten Slag Containing Iron Oxide and Iron of High Carbon Concentration [J]. Tetsu-to-Hagane, 1992, 78(11): 1682-1689.
- [12] 许克亮, 吴波. 天钢 SWRH82B 高碳钢盘条的技术质量进步 [J]. 天津冶金, 2007(4): 6-10.
- [13] 蔡开科, 孙彦辉, 田志红. 炼钢-精炼-连铸过程钢水超纯净度控制战略 [J]. 中国冶金, 2012, 22(4): 1-7.
- [14] 周德光, 罗伯钢, 曾立, 等. 钢中氮的控制及其对质量的影响 [J]. 炼钢, 2005, 21(1): 43-46.
- [15] 李晶, 张立, 傅杰, 等. 连铸过程中钢液增氮影响因素的试验研究 [J]. 北京科技大学学报, 2002, 24(4): 400-402.

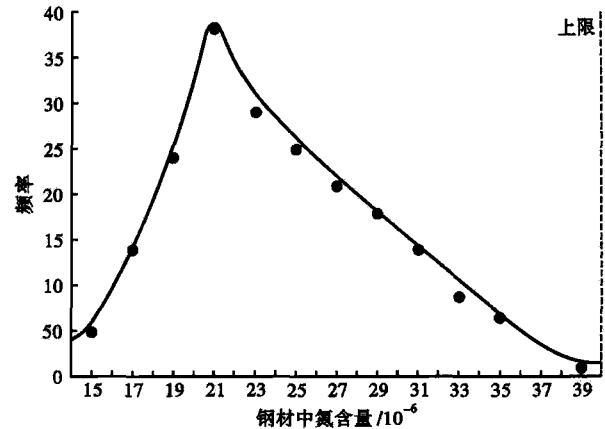


图1 高碳钢 SWRH82B 钢材中氮含量分布

Fig. 1 Distribution of nitrogen content in products of high carbon steel SWRH82B

能力指数为 1.56, 过程控制能力充分, 见图 1。

4 结论

(1) 采用 BOF-LF-CC 工艺, 不经过真空精炼, 通过控制转炉冶炼的泡沫渣高度、出钢过程控制、精炼炉快速成渣, 连铸加装钢包、中间包套管、钢包套管吹氩密封等措施, 将钢液中的氮含量控制在 40×10^{-6} 以内, 满足了高碳硬线钢质量要求。

(2) 采用 BOF-LF-CC 流程生产高碳钢 SWRH82B, 氮含量控制能力指数为 1.56。为低成本优质钢的生产创造了良好条件。

邢梅峦 (1971-), 女, 博士生 (北京科技大学), 高级工程师, 1993 年河北理工大学 (本科) 毕业, 品种钢工艺技术研究。E-mail: kgyk168@126.com

收稿日期: 2014-10-13