包钢大方坯SWRH82B夹杂物控制研究*

高 勇[1], 王文义[1], 崔 弘[1], 周 彦[2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司炼钢厂, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 包钢在大方坯SWRH82B的质量控制方面, 开展了大量的技术攻关和工艺优化研究。文章通过炼钢生产中转炉、炉外精炼、连铸工艺夹杂物控制的关键技术进行研究与优化, 提升了铸坯夹杂物控制水平, 铸坯中夹杂物的数量与形态尺寸得到有效控制与改善。

关键词: SWRH82B; 夹杂物; 渣系优化; 中包改进
中图分类号: TF777.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2020)01-0042-05
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.01.011

Study on Controlling Inclusions of Bloom SWRH82B of Baotou Steel

Gao Yong[1], *Wang Wen-yi*[1], *Cui Hong*[1], *Zhou Yan*[2]

(1. *Steel-making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: A large number of technological breakthrough and process optimization researches on quality control of bloom SWRH82B of Baotou Steel have been carried out. In this paper, it is introduced the control level for inclusions of casting blank is improved as well as the amount, shape and size of inclusions in bloom are effectively controlled and improved through studying and optimizing the key technologies of controlling inclusions for converter, external refining and continuous casting process in steel making.

Key words: SWRH82B; inclusion; slag system optimization; improvement of tundish

随着钢铁市场向着多元化、高端化方向发展, 对钢材内部夹杂物控制及使用强度要求不断提高。钢中存在的非金属夹杂物, 特别是Al_2O_3类不变形夹杂物, 以及高熔点硅酸盐类夹杂, 严重破坏钢基体的连续性, 是高碳盘条拉拔断裂的主要产生因素[1]。

包钢作为国内西北地区较大的国有钢铁企业, 近年不断加大研发创新投入, 提高高碳钢产品的质量和性能, 取得了显著的经济和社会效益。包钢在高碳硬线的质量控制方面, 开展了大量的技术攻关和工艺优化研究。本文通过对SWRH82B炼钢生产中转炉、炉外精炼、连铸工艺的关键技术进行研究与优化, 提升了夹杂物控制水平。

1 生产工艺路线与装备水平

包钢SWRH82B生产工艺路线: 包钢KR脱硫→150 t转炉→LF精炼炉→VD炉→5#方坯铸机

* 收稿日期: 2019-05-21
作者简介: 高 勇(1983-), 男, 内蒙古鄂尔多斯市人, 高级工程师, 现从事炼钢连铸工作。

(采用轻压下技术)→轨梁热轧生产线。包钢年生产高碳钢 100 多万 t,其中百米轨 60 万 t 以上。包钢大方坯连铸机根据高碳钢生产的需求,配置了自主设计的动态轻压下技术,实现了凝固末端动态轻压下和动态二冷配水实时控制,保证了高碳钢大方坯连铸机生产高质量的高碳钢连铸坯。主要装备与技术参数见表 1。

表 1　铸机装备与技术参数

序号	项目	弧形连铸机
1	钢包容量	150 t
2	机/流	一台 6 机 6 流
3	铸机半径	12 m
4	矫直方式	连续矫直
5	铸机拉速	正常拉速 0.62 ~ 0.67 m/min; 上引锭杆 3.0 m/min
6	浇铸断面	280 mm × 380 mm
7	浇注方式	保护渣浇注,塞棒控制和结晶器电磁搅拌
8	电磁搅拌	(EMS) 结晶器电磁搅拌
9	轻压下	轻压下位置在拉矫机内,远程液压辊缝控制
10	年产量	100 万 t

2　非金属夹杂物形态与控制标准

钢中存在的非金属夹杂物的性质、形态、分布、尺寸及含量不同,对钢性能的影响也不同,因此,控制钢中夹杂物的数量、形态与分布是提高钢材性能的关键[2-5],夹杂类型见图 1。

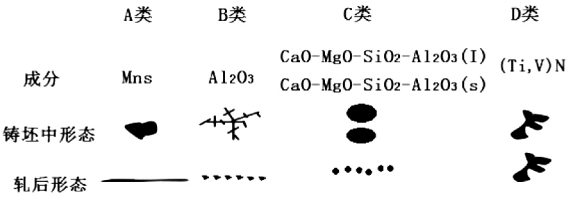


图 1　钢中夹杂物的成分与形态

包钢 SWRH82B 夹杂物控制要求见表 2。

表 2　夹杂物控制级别

项目	非金属夹杂评级/级				T[O]/%
	A 类	B 类	C 类	D 类	
标准	≤2.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤0.002 0
范围	0.5 ~ 2.0	0 ~ 1.0	0 ~ 1.0	0 ~ 1.0	0.000 8 ~ 0.001 4
合格率/%	100	100	100	100	

备注: w[H] ≤0.000 1%,其中 w[H] ≤0.000 05 的比例达 90% 以上; w[N] ≤0.005 5%,其中 w[N] ≤0.004 5 达 80% 以上。

3　夹杂物控制关键技术

3.1　转炉工艺控制关键技术

3.1.1　转炉终点控制

转炉终点控制直接影响到钢液内部质量及钢水的洁净度,主要通过调整挡渣操作,优化底吹工艺,均匀后期熔池的温度,增加反应强度,提高脱磷率的同时,保证终点碳,不致使钢液过氧化。

(1) 终点控制。在转炉出钢过程中,采用挡渣塞挡渣,严格控制下渣量,渣层厚度要求不大于 40 mm,根据钢水不同的终点含碳量,控制钢中氧含量,首先要控制转炉初炼后钢水的溶解氧,在后期的脱氧过程中,尽可能脱去钢液中的自由氧,并且去除氧化物夹杂,同时在连铸生产中要防止钢液发生二次氧化。

(2) 氧枪枪位与流量控制。冶炼过程控制合理的氧枪枪位,采用恒压变枪操作,枪位控制采用低 - 高 - 低的模式,前期提温化渣,中期炉渣不返干,终点降枪搅拌,枪位合理有利于提高转炉终点命中率[6]。

(3) 双渣控制。根据包钢配用白云鄂博铁矿生产的铁水磷硅含量高的特点,采用双渣操作,合理的造渣制度把握好加料时机,前期早化渣,中期化透,终点渣系合理通过控制加料保证转炉终渣碱度大于 3.5,w(MgO) 在 7.0% 左右,w(FeO) 在 14% ~ 18%。

(4) 底吹控制。采用顶底复吹工艺,供气强度范围 0.030 ~ 0.080 $Nm^3/t \cdot min$,底吹流量前期强搅 10 ~ 12 m^3,中期采用 5.6 m^3,末期采用 7.5 ~ 8.0 m^3,实行全程底吹氩模式。

(5) 采用滑板挡渣。严格控制出钢下渣量,出钢口次数控制在 100 次以内。

3.1.2 无铝脱氧

采用SiCaBa复合脱氧剂，SiCaBa复合脱氧剂的优点在于脱氧产物易于上浮，对钢液污染小；脱氧效果强，利于炉外精炼提前成渣，同时避免铝脱氧造成的Al_2O_3夹杂影响高碳钢钢材的疲劳寿命[8]。在转炉出钢后，根据转炉终点控制情况，加入一定量的硅钙钡脱氧剂，实施动态脱氧制度，最终使钢水的氧活度小于0.002 5%。出钢后在钢包内加入一定量的合成渣及白灰，合理控制顶渣。在LF精炼向钢包内分批加入小粒硅钙钡，对炉渣和钢水进行脱氧。为了进一步降低钢水中的氧含量、夹杂物和铝含量，在LF精炼过程中，亦采用无铝造渣，控制合适的碱度和Al_2O_3含量，形成能够吸附夹杂的$CaO-SiO_2-CaF_2$精炼渣系。

3.2 炉外精炼控制技术

3.2.1 LF炉精炼渣系控制

精炼渣一般为$CaO-SiO_2-Al_2O_3$系三元相图的低熔点渣系。造白渣以及保持白渣时间是精炼实现脱硫、去除夹杂的前提条件[5-7]。控制顶渣，改善精炼渣流动性。利用合成渣快速成渣，改善脱氧夹杂物，提高钢水洁净度。加强LF精炼过程脱氧能力，提高LF的脱硫效率和吸附夹杂物的能力。LF精炼过程造渣、脱氧应加强，以便极早形成白渣，提高LF的脱硫效率和吸附夹杂物的能力，并为下工序VD处理打下良好的基础。

3.2.2 炉外精炼吹氩控制

(1) LF炉吹氩控制。LF炉为保证脱氧脱硫及去夹杂效果，要求前期脱硫时进行大氩气强烈搅拌，一般为600 NL/min；处理过程中均匀成分及温度时氩气搅拌强度设定为400～500 NL/min；精炼末期软吹时氩气搅拌流量减少，避免裸露钢水液面，引起二次氧化。

(2) VD过程氩气控制。加强VD工序软吹工艺控制，对高碳钢的处理尤为重要。合适的吹氩控制，能促进VD钢渣混合渣洗后夹杂物的上浮和去除。包钢SWRH82B要求软吹时间在15 min以上。生产实践表明在VD破空后存在颗粒较大的Mg-Al系夹杂，增加5 min以上镇静时间。

3.3 连铸工艺控制

(1) 保护渣控制技术。钢中部分夹杂含有Na元素，且其成分与保护渣非常类似，因此可以判定为结晶器卷渣所致。通过对现有保护渣进行优化改进，改变黏度与熔点，增加保护渣吸附夹杂能力，在使用过程中，保护渣熔化良好，渣耗量约0.42 kg/t，液渣层在9～11 mm间。在出现伤轨的炉次中，做夹杂能谱分析，未见K、Na异常超标，较好地满足高碳钢的质量需求。

(2) 连铸中间包控制技术。浇铸过程中形成的夹杂物多为耐材侵蚀导致钢水污染，即二次氧化产物，合理设计中包结构形式，使中间包内钢水流动达到最佳状态，以减少钢水和熔渣对中间包工作衬的侵蚀冲刷，使钢液迂回流动，有利于钢水净化，促进夹杂物进一步上浮。

4 生产工艺优化与效果分析

4.1 转炉无铝脱氧工艺优化

氧气顶底复吹转炉在出钢后，优化脱氧工艺，采用低铝硅钙钡脱氧剂，充分的渣-钢混合条件促使夹杂变性。SWRH82B采用低铝硅钙钡后，大大提高了SWRH82B的炼成率。取SWRH82B 80炉对其过程成份进行分析，见表3。

表3 无铝脱氧夹杂物控制比较 %

硅钙钡级别	B类夹杂物	
	硅钙钡	低铝硅钙钡
0.5	81.5	87.5
1.0	11.1	9.4
1.5	7.4	3.1
2.0		

通过试验，形成了合理控制方案，取得的效果：采用转炉无铝脱氧工艺后，A类夹杂≤1.5级的比例由63.3%提高到87.5%，B类夹杂1级以下比率由92.6%提高到96.9%，铸坯中A、B类夹杂分布数量改善明显。

4.2 精炼渣系优化

优化精炼渣系，试验引进了铝酸钙渣系，合成渣成份见表4，目的是为了在提高渣系碱度同时提高熔渣对夹杂物的吸附效果，降低钢中B、C类夹杂物的级别。

合成渣成分Al_2O_3：25～35、CaO_3：5～45、粒度：10 mm×10 mm×10 mm～25 mm×40 mm×60 mm。多用电石进行扩散脱氧，提高炉渣碱度，不污染钢液。终点碱度保证在2.1～2.5。

加入方法：出钢加入300 kg合成渣、300 kg白灰、300 kg硅钙钡；精炼加入100 kg白灰、80 kg电石、适量萤石、200 kg硅钙钡。分析各分解工序包括

LF 就位，精炼加热 10 min，VD 离位等冶炼阶段，以及工序之间夹杂物形态和数量的变化。夹杂物分布情况及颗粒尺寸数据见图 2。

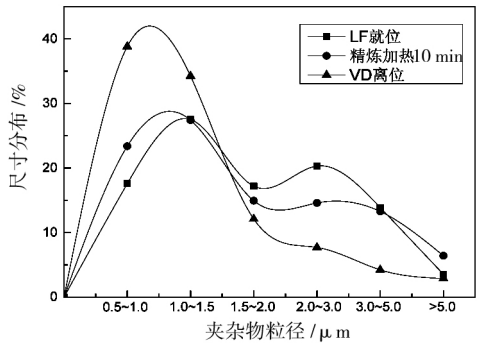
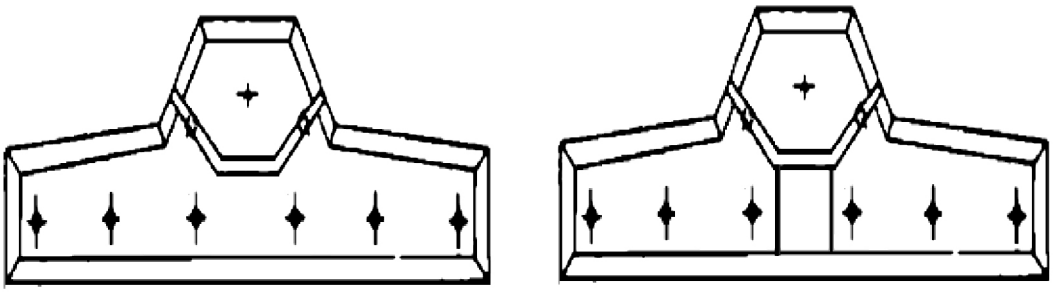


图 2　各工序夹杂物粒径曲线图

由表 4 及图 2 可见，使用合成渣后：夹杂物小于 2.0 级比率由 62.3% 提升至 85.2%。平均直径由 2.04 μm 降低至 1.51 μm，单位面积夹杂物数量由 434 个/mm^2 减少至 402 个/mm^2。夹杂物去除率达到 63.6%，精炼就位夹杂物数量降低较为明显；VD 后大于 5 μm 夹杂物的比率降低到小于 5%。

4.3　中间包结构优化

改进中间包结构，改进后挡墙，通过增加挡坝，使钢液通过导流孔后，基本消除短路流，缩短中部水口与边部水口钢液的滞留时间差，促使中包钢液中夹杂物充分上浮。降低挡墙导流孔的高度后，只要挡墙不坍塌，钢包渣便不会进入中包，从而避免钢液受到二次污染。改进后的中包挡墙结构形式为图 3(b)，增加中包挡坝，降低挡墙导流孔。原有挡墙结构形式为图 3(a)。两种挡墙外形图如图 3 所示。



(a) 原中包与挡墙　　(b) 改进后中包及挡墙

图 3　中包及挡墙改进前后比较

表 4　中包优化前后夹杂物控制情况比较　%

级别	B 类夹杂物		C 类夹杂物	
	优化前	优化后	优化前	优化后
			95.80	100
0.5	84.50	86.50		
1.0	8.40	9.30		
1.5	7.10	4.20	4.20	

对中包优化前后钢轨进行高倍检验，结果见表 4。从中看出，A 类夹杂物细系优化后 0～0.5 级比率达到 100%，粗系 0 级比率增加 21%；B 类细系夹杂物 0－1 级比率增加 2.9%；C 类夹杂物细系夹杂物 0～1 级比率增加 4.2%；D 类夹杂物细系夹杂物 0 级比率提高 7.1%；优化前后铸坯中夹杂物 0～1 级比率提升明显。

5　结论

(1) 包钢 SWRH82B 转炉生产采用无铝脱氧。工艺优化后，铸坯中氧化铝夹杂明显降低，A 类夹杂≤1.5 级的比例由 63.3% 提高到 87.5%，B 类夹杂 1 级以下比率由 92.6% 提高到 96.9%。钢水中夹杂物数量大幅降低，铸坯洁净度进一步提升。

(2) 通过对中包挡墙的优化改进，中包浇铸流场得到很大改善，铸坯中大颗粒夹杂物得到有效控制，夹杂物颗粒尺寸明显减少。

(3) SWRH82B 夹杂物控制水平明显提升，拉拔断丝率控制在百吨 0.5 次以下，包钢的 SWRH82B 性能检验完全满足用户需求。

参　考　文　献

[1]　李志广，张远强，李艳. 洁净钢生产的研究现

状及发展前景[J]. 甘肃冶金,2012,34(01):24-26.

[2] Peter Heinrieh. Produetivity, quality and resource efficieney of CSP technology[J]. Metallurgical Plant and Technology Intemational, 2003,(3):88-96.

[3] 杨桂荣, 王祖宽. 钢中非金属夹杂物的金相鉴定[J]. 河北理工学院学报,1999,12(2):22-25.

[4] 尹安远,吴素君. 钢中非金属夹杂物的鉴定[J]. 理化检验物理分册,2007,43(08):395-398.

[5] 徐金瑜,游敏,苏国亮,等. 炼钢脱氧剂的研究进展[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版),2011,13(03):129-132.

[7] 赵和明,谢兵. LF 炉精炼渣冶金性能的研究现状[J]. 钢铁钒钛,2002,23(04):53-58.

[8] 杨永均. 攀长钢 LF 炉精炼渣性能优化[D]. 重庆: 重庆大学,2004.

启　事

本刊已加入“万方数据库”、“中国知网”、“维普数据库”等。凡向本刊投递的稿件一经采用,即视为作者同意将作品的网络传播权及电子版使用权授予本刊,本刊一次性给付的稿酬已包含上述授权的费用。若不同意上述内容者,请在投递的稿件上予以特别声明,以便本刊酌情处理。

《包钢科技》编辑部