

# 冶炼SPHD钢控制增C增Si实践

张兴建,谢基表,楚 斌,彭致军

(日照钢铁控股集团有限公司 第二炼钢厂,山东 日照 276800)

**摘 要:**在LF精炼炉采用大渣量操作,使用Al粒脱氧,电石埋弧,控制萤石用量,控制精炼时间在25~35 min等,达到少增C增Si的目的,日钢成功开发出冲压用热轧钢板SPHD,铸坯质量良好,中心疏松0.5级。

**关键词:**SPHD;LF精炼炉;控制增碳;控制增硅

中图分类号:TF762

文献标识码:B

文章编号:1004-4620(2012)01-0022-02

## 1 前 言

深冲钢冷轧板具有较高的屈服强度和优良的延伸率,广泛用于家电、汽车等行业。日本在20世纪中后叶相继开发出SPHC、SPHD、SPHE等钢种,取得巨大成功。随着我国相关产业的发展,深冲钢的需求量日益增加。2007年日照钢铁开发冶炼SPHC取得成功,取得了明显效益。

深冲钢属于低C、低Si、低S、高Al、冷轧用的高附加值钢种,日钢自成功开发SPHC后,SPHC的产

量逐月增加,目前已占全厂钢产量的40%以上,月产约20万t,各工序均积累了一定的冶炼低碳低硅钢的经验,为开发SPHD钢奠定了基础。

日钢第二炼钢厂主体设备包括:4台公称容量为120 t转炉;4台120 t LF精炼炉;5台单流板坯连铸机,铸坯断面尺寸为(1 050~2 040)mm×210 mm。年产钢650万t。目前日钢第二炼钢厂的工艺流程为:高炉铁水→铁水预处理→转炉→LF炉→板坯连铸→热送→1580线或2150线。冶炼SPHC时转炉基本装炉情况见表1。

表1 日钢冶炼SPHC时转炉基本装炉情况

铁水成分/%					S	铁水温度/℃	铁水重量/t	生铁块/t
C	Si	Mn	P					
4.1~5.4	0.11~1.08	0.11~1.43	0.109~0.206	0.007~0.055	1 287~1 248	101~118	27.9~33	
4.73	0.41	1.11	0.158	0.022	1 358	111	31.78	

## 2 SPHD钢开发实践

2011年5月,日钢第二炼钢厂决定将深冲钢SPHD列为品种钢开发计划,自6月起进行了试生产。根据客户要求,制定的SPHD成分见表2。

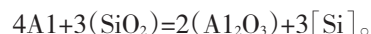
表2 日钢冶炼SPHC与SPHD成分(质量分数)比较 %

钢种	C	Si	Mn	P	S	Alt
SPHC	≤0.08	≤0.05	0.20~0.35	≤0.025	≤0.020	0.020~0.060
SPHD	≤0.06	≤0.03	0.15~0.30	≤0.025	≤0.020	0.020~0.060

从SPHD的成分要求可以看出,其冶炼难点在于控制钢中的C、Si。增C主要有以下几方面:1)含C物质带入。目前日钢第二炼钢厂精炼炉所用含C物料主要有电石、碳化硅,如使用不当,会导致钢液增C。2)通电时间长。大电流冲击、电极底端剥落、底吹氩气强度不合适都导致钢水与电极接触增C。3)钢包混用也导致钢水增C。

增Si主要有以下几方面:1)炉前放钢下渣所带的SiO<sub>2</sub>被还原。2)精炼炉所使用的萤石中含有的

SiO<sub>2</sub>被还原。3)精炼时间过长也会导致增Si<sup>[1]</sup>,因为Al还原渣中的SiO<sub>2</sub>,其反应式为:



根据以上分析,制定如下冶炼方案:在铁水情况无明显变化的情况下,增加2 t铁水,冷料由31~32 t生铁块换成25 t废钢,采用一次拉碳法,调大底吹流量,加强终点搅拌,加快脱C速度,终点C控制在0.04%以下,终点温度控制在1 620~1 630 ℃。要求在精炼开始前温度不低于1 560 ℃,以减少精炼炉的通电时间,减少电极增C,出钢过程严禁下渣;精炼炉脱氧使用铝粒,不使用电石及碳化硅,不使用或少使用萤石,减少含C、含Si物料入炉;在通电过程中将铝粒从炉门口加入脱氧。

### 2.1 第1次试验结果及分析

实际操作过程表明,制定的转炉冶炼方案可行,最终的供氧情况及终点控制见表3。

LF炉第1次冶炼结果显示,未能完全脱掉氧,精炼炉未能造出黄白渣,呈黑褐色,钢水的可浇性较差,浇注仅约40 t钢水就因大包水口絮流严重被迫停浇,且铸坯发现有轻微气泡,试验失败。

分析认为,主要有以下原因:

收稿日期:2011-08-02

作者简介:张兴建,男,1976年生,1999年毕业于重庆大学材料科学与工程学院。现为日照钢铁第二炼钢厂精炼车间主任,助理工程师,从事生产管理工作。

表3 转炉吹炼SPHD与SPHC供氧及终点控制

钢种	氧耗/m <sup>3</sup>	供氧时间/min	拉碳温度/℃	终点C/%
SPHC	7 409	16.5	1 621	0.064
SPHD	6 663	14.7	1 626	0.037

LF除尘风力较大,破坏了炉内的还原气氛;同时,大量的空气由炉门及钢包与炉盖间的空隙进入炉内。在电极弧光冲击区的钢液温度约为2 400~2 600 K,在此温度下Al—O平衡常数K很大。根据Al—O反应: $2[Al]+3[O]=Al_2O_3(s)$ ,脱氧产物为纯 $Al_2O_3$ ,Al与O的活度服从亨利定律,故平衡常数可表示为<sup>[2]</sup>:

$$K=[\%Al]^2 \times [\%O]^3; \lg K = -64\,900/T + 20.63。$$

在2 500 K时,平衡常数为 $4.7 \times 10^{-6}$ ,试验炉次精炼过程中钢液中Al为0.05%~0.07%,与之平衡的氧为0.109%,在1 600℃时与铝平衡的氧远低于此数值,为钢液吸氧创造了条件。在炉内还原气氛无法保证的情况下,造成大部分Al粒是与空气中的氧反应,钢液吸氧。试验中此炉在精炼炉使用铝粒150 kg,渣样分析表明:此炉炉渣中全铁含量高达7.65%,MnO含量高达1.65%,见表4。

表4 试验炉次(16X920炉)LF渣样成分 %

TFe	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	S
7.65	5.35	49.50	7.18	15.52	1.65	0.096

脱氧产物为大量的 $Al_2O_3$ ,在有限时间内无法有效排出,造成钢液污染,铸机的可浇性差,最终絮流严重导致浇注中断。在精炼炉门口使用铝粒抛洒在渣面脱氧,会造成渣层局部Al偏高,导致Si被还原,精炼炉最后成分分析表明,钢中Si已经上升到0.03%,见表5。

表5 试验炉次(16X920炉)各过程钢液成分 %

取样位置	C	Si	Mn	P	S	Alt
转炉终点	0.05	0	0.08	0.010	0.019	0.335
氩站	0.04	0.01	0.13	0.010	0.017	0.125
精炼1	0.05	0.02	0.15	0.010	0.016	0.073
精炼2	0.05	0.02	0.18	0.009	0.016	0.059
精炼3	0.05	0.03	0.18	0.010	0.014	0.066

## 2.2 调整后的试制方案及结果

第1次试验失败后,在精炼炉做如下调整:

1)总渣量增加,石灰量增加到1 100~1 300 kg,尽可能做到9~12 kg/t的渣量,增加碱度,增强吸附能力。第1批石灰加入量为500~800 kg,第2批加入量为400~600 kg,萤石加入时机向后推迟,将之前第1批石灰加入的萤石延后到第2批石灰之后加入,萤石用量减少,根据化渣情况可适当调整。

2)前期将钢中铝配至0.08%~0.1%,在第1批石灰加入后增大氩气搅拌化渣,利用钢中的铝脱氧。此时渣中并未完全脱氧,取渣样分析,渣中TFe

>6%,抑制了Al与 $SiO_2$ 的反应,并不会造成回硅,可以通过控制碱度来控制增Si总量,通过脱氧来控制增Si速度<sup>[3]</sup>。强吹氩2~3 min后,减小氩气流量,通电,加入第2批石灰,化开后根据炉渣的流动性及黏稠度酌量加入少量萤石化渣,少量配加电石,保证炉内的还原气氛。

3)为抑制铝与渣中 $SiO_2$ 的反应,未要求精炼炉造出白渣,适当提高精炼炉渣中的TFe。试验后统计,精炼炉渣中平均TFe含量在2.57%(见表6)。

表6 调整方案后LF冶炼时的渣样成分 %

TFe	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO
2.57	6.06	55.58	6.67	16.9	0.78

4)减少精炼时间,控制精炼时间在25~35 min。

通过以上调整,在随后的3次试验中,共冶炼15炉,C、Si均能控制在要求范围内,结果见表7。

表7 调整方案后SPHD的中包成分 %

项目	C	Si	Mn	P	S	Alt
最大	0.06	0.03	0.28	0.022	0.013	0.081
最小	0.03	0.01	0.21	0.009	0.003	0.028
平均	0.043	0.018	0.244	0.014	0.007	0.046

对比表4、表6可知,渣中TFe由7.65%下降至2.57%,MnO由1.65%下降至0.78%,渣中 $SiO_2$ 虽然由5.35%上升至6.06%,但钢中的Si却由0.03%(表5)降至0.018%(表7),表明调整后的方案是可行的。

最终铸坯质量良好。取2炉低倍样,做酸蚀检验,中心疏松0.5级,满足客户要求。低倍酸蚀照片见图1。

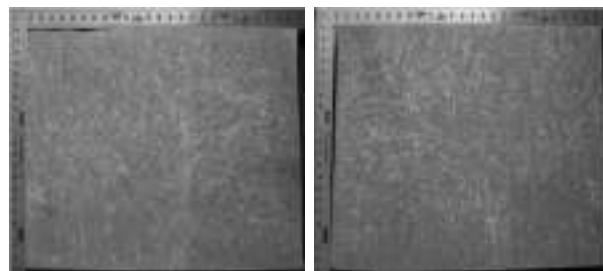


图1 试制的SPHD低倍酸蚀照片

日钢生产的SPHD使用效果良好,目前虽未形成大规模生产,但订单逐月增多,2011年8月已排生产计划1万t,效益日益显现。

## 3 结论

冶炼SPHD时LF炉宜采用大渣量操作,增强埋弧效果,避免电极增碳。LF炉的除尘风量应控制。为控制LF炉增碳,完全不使用电石,炉内没有还原气氛是不恰当的,单纯使用Al粒脱氧并不能达到好的脱氧效果;可以前期使用Al粒脱除大部分氧,剩余部分采用电石扩散脱氧。转炉出(下转第26页)

出口总收缩量应为 6.07 mm; 扇形段内的收缩量为 3.9(6.2-1.5-0.8)mm。

在已知总收缩量的情况下, 根据 1、2 段温度高收缩小, 3、4 段矫直控制表面横裂纹采取小压下量,

5、6 段凝固末端应加大压下量来控制铸坯的中心偏析、疏松、缩孔的原则, 来合理控制 1~7 段之间的收缩量分配。根据以上设计原则和思路形成的济钢板坯铸机开口度工艺参数见表 2(偏差  $\pm 0.10$  mm)。

表 2 铸机扇形段开口度标准 mm

项目	结晶器	足辊	0段	1段	2段	3段	4段	5段	6段	7段
上口	207.5	206.0	206.0	205.2	204.8	204.3	203.8	203.3	202.6	201.9
下口	206.6		205.2	204.8	204.3	203.8	203.3	202.6	201.9	201.3
收缩量	0.9	0.6	0.8	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.6

## 5 铸坯质量统计分析

通过以上方法设定的板坯铸机开口度参数, 经过 3 台板坯铸机在线 5.5 a 的实际运行, 铸坯质量好。2005~2011 年共检验 1 368 次, 铸坯低倍内部质量统计结果如表 3 所示。

表 3 2005~2011 年板坯低倍检验缺陷情况

缺陷类型	发生次数	占检验次数比例/%
中间裂纹 $\geq 0.5$ 级	20	1.46
中心线裂纹	0	0
中心偏析 $\geq C$ 类 1 级	31	2.27
中心疏松 $\geq 0.5$ 级	48	3.51
缩孔	68	4.97

由表 3 可以看出, 铸坯的内部质量缺陷, 特别是中间裂纹、中心偏析控制在较低水平。

## 6 结 语

根据钢种凝固收缩特点、铸机具体工况和相应质量要求来分别计算铸机长度上不同位置的收缩量, 并以此为依据来设计铸机的开口度工艺参数, 是一项理论结合实践的系统工作, 需要综合考虑铸机生产钢种成分、典型拉速、冷却水量及铸机不同位置对铸坯质量的影响等因素。济钢板坯铸机开口度工艺参数设计的实践证明, 在经验和理论数据的指导下, 完全可以设计出满足生产需求的铸机开口度工艺参数。

### 参考文献:

- [1] 曹广畴. 现代板坯连铸[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994: 70.
- [2] 宋维锡. 金属学[M]. 修订版. 北京: 冶金工业出版社, 1988: 167.

## Solidification Shrinkage of Liquid Steel in Slab Continuous Casting and the Design of the Gap Parameters

GAO Long-yong

(The Steelmaking Plant of Jinan Iron and Steel Co., Ltd., Jinan 250101, China)

**Abstract:** This article analyzed the solidification shrinkage characteristics of liquid steel, the influences of the gap parameters on the production of CCM and the basis of the gap calculation and so on. An example of designing practice on the slab CCM in Jinan Steel was given out also. The production practices proved that the method studied is practical and suitable and the internal quality defects especially the cracks and center segregation were controlled in low level.

**Key words:** slab CCM; gap; process parameter; solidification shrinkage

(上接第 23 页) 钢控制下渣, LF 炉控制萤石用量, 加入时机向后推迟, 以减少 Al 与 SiO<sub>2</sub> 的反应时间; 适当减少精炼冶炼时间, 控制在 25~35 min 较为合适。

### 参考文献:

- [1] 丁广友, 史翠薇, 田启新, 等. 冶炼冷轧用钢 SPHD 低硅控制的生产实践[C]//河北省冶金协会. 河北省冶金协会炼钢连铸技

术与学术交流论文集. 2006: 196-198.

- [2] 《新编钢水精炼暨铁水预处理 1 500 问》编辑委员会. 新编钢水精炼暨铁水预处理 1 500 问[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2007.
- [3] 单庆林. 150 t LF 冷轧料用钢 SPHD 生产实践[J]. 南方金属, 2007(4): 56-60.

## Practice of Controlling Carburization and Controlling Increasing Silicon in Smelting SPHD Steel

ZHANG Xing-jian, XIE Ji-biao, CHU Bin, PENG Zhi-jun

(The Second Steelmaking Plant of Jinghua Rizhao Steel Group International Trade Company, Rizhao 276800, China)

**Abstract:** In order to control carburization and increasing silicon in LF refining, Rizhao Steel operated by large slag, deoxidized with Al ball, controlled the amount of fluorite, and controlled the refine time between 25 min and 35 min etc, developing SPHD successfully. The slab quality is good and central unsoundness is 0.5 grades.

**Key words:** SPHD; LF refiner furnace; controlling carburization; controlling increasing silicon