

冷轧用 SPHC 钢硼微合金化工艺实践

徐志荣¹ 颜慧成² 仇圣桃² 刘家琪² 刘建华¹ 孔庆福¹ 白连臣¹ 陈礼斌¹

(1 唐山钢铁股份有限责任公司,唐山 063016;2 钢铁研究总院国家连铸工程中心,北京 100081)

摘要 开发了唐钢 160 t LD-160 t LF-FTSR (Flexible Thin Slab Rolling) 流程生产冷轧用 SPHC 钢($\leq 0.07\% C$, $\leq 0.05\% Si$) 硼微合金化工艺,通过在精炼过程控制钢中 Al 含量(平均 0.038%)和 Si 含量(平均 0.038%),使 LF 精炼后钢中的硼含量为 0.003 0% ~ 0.004 0% (平均含量 0.003 5%),硼的收得率达 64%。

关键词 SPHC 钢 硼微合金化 LF 精炼

Practice of Boron Microalloying Process of SPHC Steel for Cold Rolling

Xu Zhirong¹, Yan Huicheng², Qiu Shengtao², Liu Jiaqi², Liu Jianhua¹, Kong Qingfu¹, Bai Lianchen¹ and Chen Libin¹

(1 Tangshan Steel Co Ltd, Tangshan 063016; 2 National Engineering Research Center of Continuous Casting Technology, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract The boron microalloying process of SPHC steel ($\leq 0.07\% C$, $\leq 0.05\% Si$) for cold rolling produced by 160 t LD - 160 t LF - FTSR (Flexible Thin Slab Rolling) flow sheet has been developed at Tangshan Steel, and with controlling Al content in steel (average 0.038%) and Si content (average 0.038%) during LF refining, the boron content in steel after LF refining was 0.003 0% ~ 0.004 0% (average content 0.003 5%), and the boron yield was up to 64%.

Material Index SPHC Steel, Boron Microalloying, LF Refining

随着唐钢 FTSR 流程的引进投产,开发冷轧板用 SPHC 钢成为企业利用该流程深度研究品种的重要方向。

1 工艺流程和 LF 精炼

在 B 微合金化使用中,存在两个问题: B 含量超过限量时出现 B 脆; B 收得率低且不稳定。为稳定 B 的收得率,钢铁研究总院开发了专利合金:含 B 复合软钢合金,合金特点是含有 Al、Mn,利用 Al 保 B,增加合金密度提高合金收得率。SPHC 钢化学成分见表 1。

1.1 工艺流程

唐钢生产 SPHC 冷轧用钢(表 1)的流程为:3 座 160 t 转炉-2 座 LF-FTSR 薄板坯连铸连轧。

表 1 SPHC 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of SPHC steel /%

成分	C	Si	Mn	P	S	Als	B
目标成分	≤ 0.07	≤ 0.05	0.15 ~ 0.30	≤ 0.020	≤ 0.010	0.02 ~ 0.05	0.001 0 ~ 0.005 0
代表成分	0.04	0.03	0.19	0.009	0.007	0.03	0.002 5

SPHC 钢 B 微合金化在 LF 精炼工序进行,为了确保 B 合金化的稳定性,提高 B 的收得率,LF 精炼操作要点为:

(1) LF 精炼白渣期间,加入含 B 复合软钢合金;(2)转炉出钢炉后与精炼过程 Mn、Al 控制进行相应调整;(3)降低转炉出钢 S 含量,减少转炉下渣量,提高石灰、萤石等原辅料品质,保证 LF 钢水进站质量;(4) LF 精炼成分合格后采用弱搅拌;(5)精炼出站到浇铸全过程钢水保护。

1.2 精炼过程 Si 的控制

精炼过程增 Si 原因分析表明:

(1) 转炉终渣 SiO₂ 高(HI-3094 炉 24.2%)和下渣量控制状况直接影响精炼渣中 SiO₂ 含量;(2) 进站 S 高增加 LF 精炼脱 S 负荷和 Al 的用量;(3) 渣料(如萤石)SiO₂ 高使得 LF 精炼渣 SiO₂ 增高;(4) 除热力学条件具有增 Si 的潜力外,钢渣反应的动力学因素是增 Si 的重要原因,增 Si 是反应 $3(SiO_2) + 4[Al] = 3[Si] + 2(Al_2O_3)$ 热力学与动力学条件共同作用的结果。

试验采取如下主要措施:(1)控制进站钢水 S 含量(见表 2),减轻 LF 脱 S 负担;(2)提高原材料质量,降低原、辅料 SiO₂ 含量;(3)做到转炉下渣量 < 4 kg/t 钢;(4)白渣形成后,避免氩气强搅拌;(5)调整 Als 含量范围与达到要求的时间。

表 2 LF 精炼前钢中平均 S 含量和 LF 精炼后钢中平均 Si 含量/%

Table 2 Average S content in steel before LF refining and average Si content in steel after LF refining /%

试验次数	精炼前(进站)S	精炼后(出站)Si
1	0.045	0.068
2	0.030	0.056
3	0.021	0.038

在进站钢水中 S 含量下降并且执行上述措施后,增 Si 现象得到有效控制。比较前两次试验,第三次试验平均 Si 含量明显下降,出站 Si 平均含量达到 0.038%,试验 7 炉钢中只有 1 炉因操作异常该炉 Si 含量为 0.052%。

1.3 精炼过程 Al 的控制

由于精炼渣系增 Si 的潜力很大,同时精炼又要求一定的 Als 含量,因此应尽量减少钢-渣反应的动力学条件,主要有:降低进站钢水 S 含量、减少下渣,可以节省 Al 用量和缩短精炼时间;转炉炉后采用弱脱氧,Als 达到要求含量的时间往后调整;严格控制底吹氩强度,避免精炼后期的增 Si 和 Al 的烧损。

通过工艺调整,B 微合金化第 2 阶段试验出站钢水平均 Al 含量为 0.038%时,平均 Si 含量为 0.038%。Al 的实际过程控制见表 3,由于进站 S 含量高,第 2 阶段进站 Al 比第 1 阶段高,出站 Al 含量处在同一水平;过程 Al 含量变化为:渣白脱 S 基本完成时 Al 下降,由于 B 合金加入出站时又急剧升高,Als/Alt 呈不断上升趋势。

1.4 Ca 处理

SPHC 钢由于要求较高的 Al 含量,按照 Ca/

表 3 不同精炼期钢中 Al 平均含量的变化/%

Table 3 Change of average Al content in steel at different refining phase /%

精炼阶段	试验阶段			
	1		2	
	Alt	Als	Alt	Als
精炼前(进站)	0.016	0.012	0.019	0.018
白渣期	0.017	0.015	0.015	0.013
精炼后(出站)	0.028	0.026	0.038	0.036

Als ≥ 0.1 经验,不仅增加了喂 Ca 线成本,而且曾出现过中间包塞头侵蚀现象。本工艺考虑喂 Ca 线是为了使 Al₂O₃ 成为低熔点夹杂物 12CaO · 7Al₂O₃,钢水中即使 Al ≥ 0.03% 时,夹杂物 Al₂O₃ 中 Al 含量一般在 (20 ~ 25) × 10⁻⁶。由于钢水中 Ca 的溶解量很小,基本可以认为钢水中总 Ca 含量就是 CaO;而 12CaO · 7Al₂O₃ 中 Ca/Al 质量比为 1.26,因此当钢水中 Ca/Al_{夹杂} = 1.26 时,可以得到低熔点 12CaO · 7Al₂O₃,实现夹杂物变性。当钢水中 Al_{夹杂} 含量为 (20 ~ 25) × 10⁻⁶,计算钢水中 Ca 含量在 (25 ~ 32) × 10⁻⁶,钢水中 Ca 含量为现行生产控制水平。为此,试验按常规工艺执行,喂 Ca 线 600 ~ 800 m,精炼出站 Ca 平均成分为 0.0028%,未出现水口结瘤现象。

2 B 微合金化效果

试验分为第 1 阶段、第 2 阶段,LF 出站钢水 B 含量与收得率见表 4。第 1 阶段为探索性试验,通过 LF 工艺优化和原辅料的严格要求,第 2 阶段收得率明显提高,LF 精炼出站 B 平均含量为 35 × 10⁻⁶,B 平均收得率为 64%,在 57% ~ 77% 之间变化,远高于第 1 阶段平均收得率 46.32%。化学分析表明,出站钢水 B 含量主要为酸溶 B,精炼渣与钢水中不存在硼氧化物,与计算结果一致。

表 4 LF 精炼后钢水平均 B 含量与收得率

Table 4 Average B content in steel and yield after LF refining

阶段	平均含量/ 10 ⁻⁶	波动范围/ 10 ⁻⁶	平均收得率/ %
1	28	25 ~ 35	46
2	35	30 ~ 40	64

3 结语

(1) 含 B 复合软钢合金中 Al 有效地保护了 B 合金化,B 收得率高达 64%,含量波动 ± 5%。

(2) LF 进站钢水 S 含量高将增加 Al 的用量,延长精炼时间,成为成品钢水增 Si 的主要原因。

(3) Ca 处理达到钢水中 Ca/Al_{夹杂} = 1.26 时,水口浇铸顺利,节省 Ca 线用量。

徐志荣(1962-),男,工学硕士,厂长,从事钢铁冶金领域研究与生产组织工作。

收稿日期:2006-03-31