

10B28 含硼冷镦钢结疤形成分析及控制实践

李智刚 和红杰 阎丽珍
(邢台钢铁有限责任公司炼钢厂, 邢台 054027)

摘要 分析得出 10B28 钢结疤的主要原因是钢水 N 含量偏高, 钢水中的 Ti 不足以完全固 N, 致使大量的细小的 BN 在晶界析出, 铸坯在矫直过程形成裂纹, 进而在轧制过程形成线材表面结疤。取样分析证实, 精炼过程使用高 N 含量(4.6%)缓释脱氧剂造渣是钢水含 N 高的主要原因; 使用铝粒替代缓释脱氧剂脱氧造渣, 精炼过程增 N 量可由 43.4×10^{-6} 降至 11.4×10^{-6} 。通过将转炉出钢 C 由 0.06% 提高至 $\geq 0.08\%$ 、降低精炼前期加热功率、铝粒替代缓释脱氧剂造渣等措施, 10B28 钢 N 含量稳定控制在 70×10^{-6} 以下, 线材合格率由不足 50% 提升至 $\geq 98\%$ 。

关键词 冷镦钢 10B28 线材 结疤 N 含量 缓释脱氧剂

Cause Analysis on Boron Bearing Cold Heading Steel 10B28 Scab and Control Practice

Li Zhigang, He Hongjie and Yan Lizhen
(Steel Making Plant of Xingtai Iron and Steel Co Ltd, Xingtai 054027)

Abstract Through the analysis it is obtained that main reason for steel 10B28 scab is that nitrogen content in the molten steel is too high, and titanium in molten steel is not enough to completely fix nitrogen, resulting in a large number of fine BN precipitates at grain boundary, and the slab cracks are formed in the straightening process to form the wire surface scab in rolling process. Through sampling analysis, it is confirmed that the main cause of high nitrogen content in molten steel is slagging to use high nitrogen content (4.6%) slow-release deoxidizer during refining. By using aluminum shot to replace slow-release deoxidizer, the nitrogen increases in refining process can be reduced from 43.4×10^{-6} to 11.4×10^{-6} . By the measures including increasing the BOF tapping carbon from 0.06% to $\geq 0.08\%$, reducing the heating power in the early stage of refining, and replace slow-release deoxidizer by Al shot, the nitrogen content of steel 10B28 is stably controlled below 70×10^{-6} , and the qualified rate of wire rod is increased from less than 50% to $\geq 98\%$.

Material Index Cold Heading Steel 10B28 Wire Rod, Scab, Nitrogen Content, Slow Release Deoxidizer

1 结疤形成分析

1.1 结疤金相检验分析

近期生产的 10B28 钢(表 1)结疤比例达到 50% 以上, 结疤缺陷主要集中在线材表面(图 1), 呈现不规则分布。结疤部位脱碳严重, 金相组织主要为铁素体, 而基体组织为正常的铁素体与珠光体, 金相组织差异较大。结疤与基体呈分层状, 根部与基体相连, 属于典型的有根结疤。对结疤位置电镜扫描能谱分析结果显示, 裂纹处充斥氧化铁皮等高温氧化物, 未发现结晶器保护渣成分及大颗粒夹杂物。

1.2 气体检验

对同浇次的盘条进行气体检验分析, 检验结果如表 2 所示。结疤批次的 N 含量普遍偏高, 正常批

次的 N 含量在 80×10^{-6} 以下, 结疤批次的 N 含量在 130×10^{-6} 左右, Ti/N 比在 3.0 以下。一般认为钢水中的 Ti/N 比控制在 3.4 以上, Ti 才能起到完全固 N 的作用, 因此结疤炉次钢水中的 Ti 未完全固 N。

1.3 结疤形成原因分析

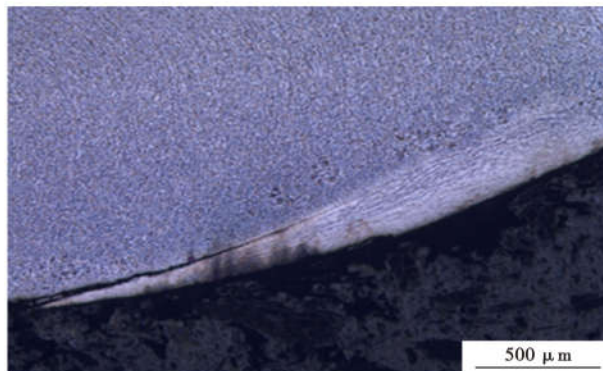


图 1 Φ10 mm 10B28 钢结疤处金相组织形貌
Fig. 1 Metallographic structure morphology of Φ10 mm 10B28 steel near scab

表 1 10B28 钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of 10B28 Steel/%

C	Si	Mn	S	P	B
0.26 ~ 0.32	≤ 0.40	0.70 ~ 1.00	≤ 0.030	≤ 0.030	0.008 ~ 0.0003

表 2 正常和结疤批次 [N]、[Ti] 分析结果

Table 2 Analysis results of [N] and [Ti] of normal and scab batch

线材表面	批次	N/%	Ti/%	Ti/N
正常	311910333	0.006 7	0.033	4.9
	311910445	0.007 1	0.033	4.6
	311910525	0.007 9	0.03 4	4.6
	311910382	0.012 5	0.033	2.6
结疤	311910427	0.013 8	0.034	2.5
	311910591	0.013 3	0.033	2.5

在 B 含量不变的前提下,随着 N 含量的增加,第三脆性区(即低谷区)的深度和宽度将增加,并向高温区移动,将明显恶化铸坯的热塑性,使得铸坯在矫直过程中形成裂纹^[1-2]。

为减少含硼线材结疤,必须提高 Ti/N 比,但是 Ti 加入过多会形成多角形状的 Ti(C, N) 沉淀,可能会作为裂纹源,对冲击韧性等形成负面影响^[3],因此必须降低钢水 N 含量从而减少线材结疤。

2 N 高原原因分析及解决方案

10B28 钢生产工艺流程为:混铁炉铁水 + 废钢 → 50 t 复吹转炉 → 50 t LF → 160 mm × 160 mm 小方坯连铸 → 线材轧制。

24 炉分析结果表明:混铁炉、出钢结束后、LF 离站、连铸中间包的 N 含量分别为 $(59 \sim 71) \times 10^{-6}$ 、 $(24.7 \sim 32.4) \times 10^{-6}$ 、 $(37.5 \sim 75.3) \times 10^{-6}$ 、 $(41.1 \sim 77.3) \times 10^{-6}$ 。通过取样分析可知,只有在转炉工序具有脱 N 效果,在其他工序均出现不同程度的增 N,尤其在 LF 精炼过程中钢水增 N 严重,从 9×10^{-6} 到 48×10^{-6} 不等(图 2),因此降低精炼过程增 N 是控制钢水 N 含量的主要环节。

2.1 精炼 N 高原原因分析

为进一步确定精炼过程增 N 的主要原因,在 LF

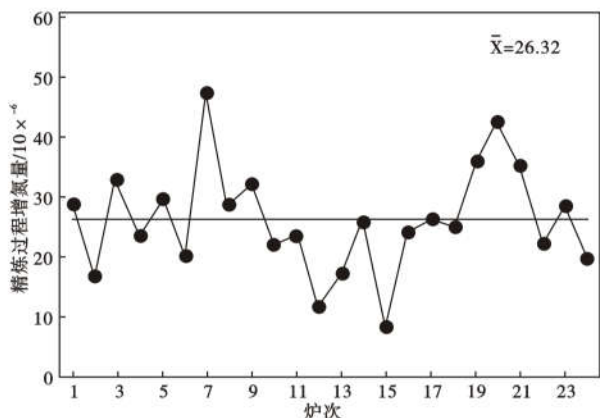


图 2 10B28 钢各炉次精炼过程钢水增 N 量

Fig. 2 Increment of Nitrogen in liquid of 10B28 steel each heat in refining

表 3 精炼过程不同阶段钢液 N 含量 / $\times 10^{-6}$

Table 3 Nitrogen content in liquid at each stage of refining / $\times 10^{-6}$

序号	LF 进站	第一次加热结束	第二次加热结束	处理结束
1	27.6	60.6	65.6	67.6
2	28.4	68.4	71.4	72.4
3	32.0	67.0	69.0	71.0
4	30.1	70.1	74.1	76.1
5	31.9	76.9	79.9	79.9

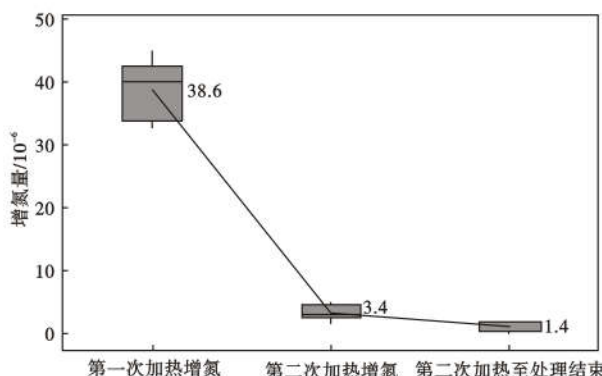


图 3 精炼过程不同阶段钢液增 N 量

Fig. 3 Increment of Nitrogen content in liquid at each stage of refining

表 4 渣料 N 含量 / %

Table 4 Nitrogen content in slag material / %

石灰	缓释脱氧剂	铝粒
0.013	4.3	0.0007

钢水进站、第一次加热结束(加热 10 min)、第二次加热结束(加热 20 min)、处理结束(钙处理结束)四个节点取样进行气体检验分析,气体检验结果如表 3、图 3 所示。从检验结果可以看出,精炼过程增 N 主要集中在第一次加热阶段,平均增 N 量在 38×10^{-6} ,远高于其他两个阶段。由于精炼过程的大部分渣料主要在第一次加热时加入,因此该阶段增 N 除了与精炼渣埋弧效果差有关外,还可能与渣料中的 N 含量偏高有关。

2.2 渣料 N 含量检验分析

对第一次加热使用的渣料 N 含量进行检验分析,检验结果如表 4 所示,精炼过程使用的渣料中缓释脱氧剂的 N 含量高达 4.3%,远高于石灰及铝粒的 N 含量。50 t 精炼炉每炉大约使用 80 kg 缓释脱氧剂用作精炼过程造渣,主要作用为扩散脱氧并改善精炼渣组分。

2.3 缓释脱氧剂增 N 机理分析

缓释脱氧剂的生产过程中主要使用 N_2 将高温熔融状态铝渣吹扫成团, N_2 与熔融状态的铝会发

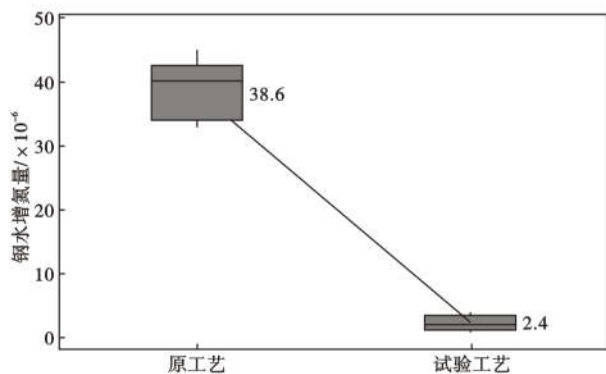
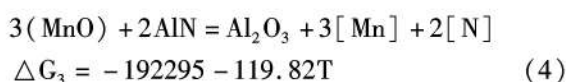
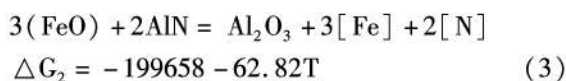
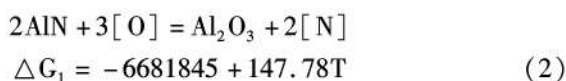


图4 原工艺和试验工艺精炼过程第一次加热钢水增N量
Fig.4 Increment of Nitrogen in liquid at first heating stage of refining for original process and test process

生反应(1)形成AIN,因此缓释脱氧剂中的N主要以AIN的形式存在。



AIN在精炼过程中可能发生反应(2~4),通过热力学计算发现以上反应 ΔG 均小于0,说明AIN在精炼过程中会自发的与钢、渣中的氧化性物质发生反应,导致钢渣中的N含量增加。



按照精炼渣渣重800 kg、每炉钢加入80 kg缓释脱氧剂进行计算,则精炼渣中的N含量为 4300×10^{-6} ,CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO精炼渣N容量极低^[4],因此在钢、渣N分配比一定的条件下,钢渣中的N升高将导致钢水中的N含量升高。随着精炼渣中N含量的增加与之平衡的钢中N含量会逐渐增加^[5]。

2.4 工艺改进试验

为减少LF精炼过程中渣料引起的钢水增N,在10B28钢的生产过程进行了10炉次的铝粒替代缓释脱氧剂试验,结果如图4。取消缓释脱氧剂造渣后,精炼过程中第一次加热平均增N量由 38.6×10^{-6} 降至 2.4×10^{-6} ,使整个精炼过程平均增N量由 43.4×10^{-6} 降至 11.4×10^{-6} 。

3 结疤控制措施及效果

(1)通过将拉碳温度由1580℃提高至1600℃

以上,出钢碳由0.06%提高至0.08%以上,增加了转炉的脱N效果,降低了钢水N含量;

(2)在精炼炉加热过程中,前期使用低档加热待泡沫渣形成后使用高档加热,保证了埋弧效果,减少了精炼加热过程中的电离吸N;

(3)精炼工序使用铝粒替代高N含量铝脱氧球造渣,缓释脱氧剂使用量由1.6 kg/t_钢降为0 kg/t_钢,精炼过程增N量由 43.4×10^{-6} 降至 11.4×10^{-6} ;

(4)连铸浇注过程中将钢包长水口使用寿命由10炉以上降至6炉以下,避免因长水口长时间烧损造成的保护浇注效果变差。

采取以上控制措施进行了2000 t线材的生产和跟踪,盘条N含量稳定控制在 70×10^{-6} 以下,线材表面结疤得到稳定控制,10B28钢线材合格率达到98%以上。

4 结论

(1)线材结疤的主要原因是由于钢水中的N含量偏高,钢水中的Ti不能完全固N,导致BN在晶界析出,使钢的脆性区发生变化,矫直过程中形成铸坯裂纹,轧制后在线材表面形成结疤。

(2)主要在精炼工序,主要原因为使用了含N量较高的缓释脱氧剂进行造渣。

(3)取消缓释脱氧剂造渣改用铝粒造渣后,精炼工序增N由 43.4×10^{-6} 降低至 11.4×10^{-6} 。

(4)通过提高出钢温度、提高出钢C含量、降低精炼过程前期加热功率、取消缓释脱氧剂造渣、限制钢包长水口使用寿命等措施,10B28钢的N含量稳定控制在 70×10^{-6} 以下,保证了钢水Ti/N,线材合格率由不足50%提高至98%以上。

参考文献

- [1] 邹长东. 低碳含硼钢盘条表面缺陷产生原因的分析[J]. 连铸, 2018, 43(6): 55-60.
- [2] 李永超. 10B28冷镢钢线材表面结疤成因分析及控制措施[J]. 特殊钢, 2020, 41(4): 34-36.
- [3] 马福昌. 钢中铝钛含量对连铸坯轧制厚板表面质量的影响[J]. 钢铁, 1998, 33(2): 21-24.
- [4] 王敏. CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO精炼渣氮行为[J]. 北京科技大学学报, 2010, 32(2): 175-178.
- [5] 苏利川. LF精炼过程钢液氮含量控制[J]. 炼钢, 2015, 31(1): 52-55.

李智刚(1986-),男,工程师,2012年河北联合大学(本科)毕业,品种钢开发及工艺控制。E-mail:549061737@qq.com

收稿日期:2021-02-07