包钢贝氏体钢冶炼中氢的控制研究

王鹏飞[1]，白国君[1]，韩春鹏[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： 文章介绍了钢中氢对钢质量的影响以及对贝氏体钢的危害，并通过生产实际试验数据，研究包钢 150 t 转炉冶炼贝氏体钢时，钢中氢的来源极其过程 w［H］，并提出了有效控制贝氏体钢中 w［H］的措施及效果。

关键词： 贝氏体钢；脱氢；精炼
中图分类号： TF703.8 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2017)02－0023－03
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.02.008

Study on Hydrogen Control During Smelting of Bainite Steel in Baotou Steel

WANG Peng－fei[1], *BAI Guo－jun*[1], *HAN Chun－peng*[2]

(1. *Steel－melting Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*;
2. *Technical Center of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: In the paper, it is introduced the effect of hydrogen on the steel quality and the damage to bainite steel. Through the actual production test data, it is studied the source of hydrogen in steel and w［H］during the process of bainite steel smelting in 150 t converter of Baotou Steel. And the measures and effects to effectively control w［H］in bainitic steel are put forward.

Key words: bainite steel; dehydrogenation; refine

在 20 世纪 80 年代，叫做“Titan”的贝氏体钢轨首先在美国研制成功，并成功用在高铁上，贝氏体钢轨具有良好的强韧性、耐磨性和使用寿命长等特点，抗拉强度达 1 400 MPa 时伸长率能达到 15% ~ 18%。贝氏体钢轨强度高、韧性好，显示出强度和塑韧性极好的配合，韧性是珠光体钢轨的 2 ~ 3 倍，所以目前世界上新高强度重载钢轨的研发重点在贝氏体钢轨的开发上。包钢生产的贝氏体钢轨（铁路道岔）已经铺设于京沪、京广、大秦等我国主要线路上使用，明显提高了道岔轨的使用寿命。但从铁道部铺设应用反馈回的信息显示，目前包钢贝氏体钢轨主要问题还是“氢脆”问题，因此，稳定控制钢中氢含量是提高贝氏体钢轨质量的关键。研究表明，当 w［H］$< 1.5 \times 10^{-6}$时，可消除成品钢轨中产生“白点”的可能性[1-2]。

1 氢对贝氏体钢轨的影响

氢在贝氏体钢轨上产生的主要缺陷为“白点”，即钢轨纵向断口轴心部位出现银亮小点，在钢轨横断面表现为肉眼能见到的发纹（或锯齿型小裂纹）。“白点”产生的机理为：当钢中一对氢原子形成稳定的分子时体积增大，压力增高，当其压力大于钢体屈服强度时，钢中白点产生。白点出现温度在 200 ℃以下。要想减少“白点”危害，首要任务是降低钢中氢含量。氢的危害还表现为“氢脆”，即固溶于钢中的氢使其塑性韧性下降，在低于极限强度应力作用

收稿日期： 2016－12－15
作者简介： 王鹏飞（1984－），男，内蒙古包头市人，工程师，现从事炼钢工艺技术及管理工作。

下服役一定时间后突然断裂。

2 钢液中氢检测手段及原理

通过采用浸入式直读定氢仪对钢水 w [H] 进行测定,定氢系统能够准确测量氮载气中氢的含量。其测量原理是在钢液中注入氮载气,并在钢液和气动柜之间循环。氮载气通过钢液中时会收集其中的氢。当溶解于钢液的 w [N] 与氮载气的氢达到平衡模式时,测量就会结束。测量过程中,钢液中的溶氢会通过扩散进入氮载气气泡中,从而在载流气泡与钢液之间达到平衡。测量结果显示在定氢仪面板上。钢液中的溶氢与载流气体气泡中的氢分压 P_{H_2} 存在以下函数关系[1](西华特定理):

$$w\ [H] = k_h f_h P_{H_2}$$

式中: k_h 为化学反应平衡常数,P_{H_2} 为氮载气泡中氢气的分压,f_h 为氢活度系数。

3 影响各工序钢液中氢变化因素

炼钢过程影响氢含量的主要因素为: 高炉铁水携带的氢,转炉冶炼过程加入炉料增氢,转炉吹氧脱氢,出钢过程加入合金材料及增碳剂增氢,LF 炉加入炉料增氢,真空处理过程脱氢,钢包或中包不干燥增氢,钢液与大气接触吸氢,浇注过程钢液温度降低降氢。

表1 各工序钢水中氢的测量值(质量分数) 10^{-6}

工序	测试炉数	定氢含量
转炉	8	2.3~3.0
LF 前	8	3.3~5.5
LF 后	8	3.0~5.8
VD 后	8	1.0~2.0

3.1 转炉冶炼过程

转炉冶炼过程中氢的可能来源主要有以下几个方面: ①铁水携带的氢; ②冶炼时加入的各种炉料所携带的水分; ③新修转炉耐火材料烘干不彻底所含水分; ④冷却设备漏水引起的增氢。高炉铁水所带入的氢可看成一个常数。在正常生产情况下,转炉冶炼过程中增氢主要为炉料带入的水分。转炉冶炼过程中,顶底复吹会产生大量 CO 气泡,气泡上浮会将钢水中氢带走。转炉出钢前 w [H] = (2.3~3.0) $\times 10^{-6}$,若吹炼后期炉料加入量过大,会导致转炉钢水中增氢[3]。

3.2 转炉出钢过程

转炉出钢过程中钢液中氢的来源主要有: 钢水中携带的氢、出钢时加入钢包的增碳剂、合金材料等携带的水分、钢包耐火材料烘烤不彻底所带入的水分、出钢时从大气中所吸收的氢气。现场实验表明,转炉出钢过程中钢液增氢主要源于加入焦炭合金等材料含水分引起的,北方全年属于干燥气候,因此,气候变化对其增氢影响可忽略。

3.3 LF 精炼过程

从表1可知钢水从出钢后到 LF 精炼炉就位,整个过程增氢量很小。这是因为在 LF 精炼工序加入的渣料在钢渣中,其水分很快被高温发。同时 LF 精炼过程出氩产生的小气泡,当小气泡上浮时,钢液中氢会被带走。所以,精炼过程引起的增氢量较小。

3.4 中包浇注过程

中间包烘烤不彻底会导致中包内钢液中 w [H] 增加,缘于包衬深处的水份在浇铸过程中会慢慢释放氢,使得中包前期钢水氢含量升高,从实际测试结果来看,开浇第一炉尤为严重。包钢目前重轨钢的生产均采取开浇第一炉进行铸坯缓冷的方式进行,以使铸坯中的氢扩散。并且要求 VD 真空处理结束钢水氢含量为 w [H] $<1.5\times10^{-6}$,以满足中包钢水 w [H] $<2.0\times10^{-6}$ 的要求。

表2 中间包钢液 w [N] 的分布

浇次	炉数	w [H] $>2.0\times10^{-6}$ 炉数	中包第一炉炉数	占比/%
11	88	7	6	85.71

4 贝氏体钢液脱氢方式

依据影响贝氏体钢液主要增氢因素,包钢冶炼贝氏体钢主要通过增设转炉合金烘烤装置及 VD 真空脱氢来控制钢水中氢含量。现如今通过措施实施可使钢水中 w [H] 平均脱至 1.5×10^{-6} 以下。对 2016 年8—11月份重轨共计753炉钢进行 w [H] 统计,w [H] 高于 2.0×10^{-6} 的比率控制在5%以内,且平均水平在(1.4~1.5) $\times10^{-6}$ 之间波动,见表3。

4.1 转炉合金烘烤装置

转炉出钢过程中合金等材料是增加钢水 w [H] 的主要影响因素,为了能够有效的去除影响,包钢150 t 转炉于2015年通过自主改善增加了转炉出钢后的合金烘烤装置(见图1),它的应用大大降低了增氢影响,为 VD 真空脱氢减轻了负担,有效的降低了钢水乃至铸坯的 w [H]。

表 3　重轨钢中 w [H] 的情况

月份	炉数/炉	w [H] ≥2.0×10^{-6} 炉数/炉	w [H] ≥2.0×10^{-6} 占比/%	w [H] <2.0×10^{-6} 炉数/炉	w [H] <2.0×10^{-6} 占比/%	w [H]$_{max}$	w [H]$_{min}$	w [H]$_{avg}$
8	156	18	11.54	138	88.46	2.5	0.98	1.50
9	110	12	10.91	98	89.09	2.3	0.95	1.50
10	322	8	2.48	314	97.52	2.4	0.3	1.4
11	165	6	3.64	159	96.36	2.5	0.5	1.39
合计	753	44	5.84	709	94.16	2.4	0.7	1.45

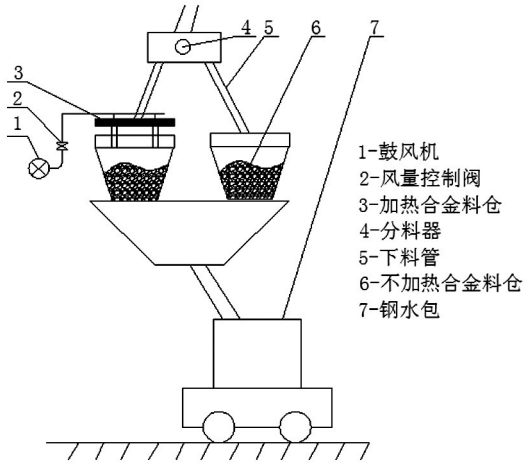


图 1　合金加热设备示意图

4.2　提高 VD 真空设备脱氢效率

包钢根据影响 VD 真空脱氢效果的因素有真空度及 VD 深真空下的氩气流量分阶段调节等，分别对应采取措施，在实际贝氏体钢应用中取得了显著效果。

4.2.1　降低 VD 真空设备真空度

真空度越低，脱氢效果越好，脱氢效率越高。为保证真空结束钢液中氢达到极低的水平，要求真空度越低越好（见图 2）。主要措施是要求 VD 真空泵有足够的抽气能力，做好真空室的密封，减少系统漏气。

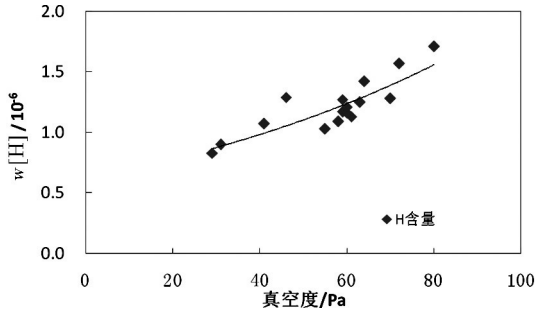


图 2　VD 真空度与钢中 w [H] 的关系

4.2.2　真空下分阶段调节氩气流量

若在真空度相对较高的情况下，必须合理调整氩气流量，以使钢液中氢进一步降低，从现场定氢数据表明，随着氩气流量的增大，钢水脱氢效果成正比降低，见图 3。

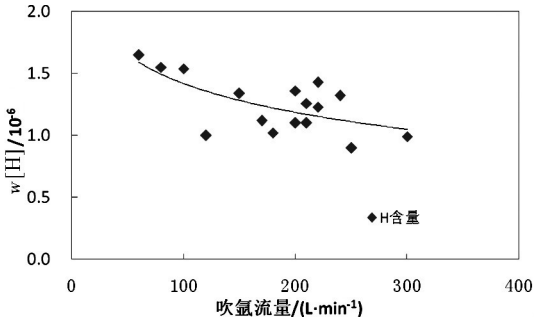


图 3　VD 氩气流量与钢中 w [H] 的关系

5　结论

（1）从生产实验数据表明，包钢冶炼贝氏体钢钢液中的氢主要来源于转炉出钢过程中加入的合金渣料中的水分。

（2）在转炉出钢过程中新增合金烘烤装置及通过优化 VD 真空设备的脱氢能力，大大降低了贝氏体钢钢液中氢含量。

（3）包钢 2016 年以后生产的贝氏体钢轨，铸机中包钢水定氢 w [H] 平均脱至 1.5×10^{-6}。钢轨中的 w [H] 为 0.2×10^{-6}，有效避免了“氢脆”的产生。

参　考　文　献

[1]　吴铿，梁志刚. VD 脱氢前重轨钢液中氢含量变化 [J]. 钢铁，2000，35(11)：19－22.

[2]　吴铿，梁志刚. 包钢重轨钢从转炉出钢到中间包过程中氢含量的变化 [J]. 中国有色金属学报，2000，10：242－245.

[3]　王光进，陈浩，钱高伟，等. 重轨钢中的氢及其控制工艺 [J]. 炼钢，2011，27(3)：4－6.