

150 t 转炉高拉碳冶炼 GCr15 轴承钢的工艺实践

范连明 李锡峰 胡维铸

(本溪钢铁集团公司技术中心, 本溪 117000)

摘要 本钢通过预处理铁水(0.050% P, \leq 0.005% S)-150 t 转炉高拉碳吹炼的 LF(RH)-350 mm \times 470 mm 连铸坯-800 mm 棒线连轧机组工艺流程生产 GCr15 轴承钢。操作结果表明,高枪位条件下的高氧化性利于去除钢水中的磷,实现高碳出钢,使转炉终点[C]为 0.41% ~ 0.67%, [P]-0.013% ~ 0.017%, 中间包[C]为 0.96% ~ 0.98%, [P]-0.014% ~ 0.020%, [S]-0.002% ~ 0.005%, 钢的化学成分和冶金质量均满足标准要求。

关键词 150 t 转炉 GCr15 轴承钢 高拉碳操作

Process Practice of Bearing Steel GCr15 Steelmaking by 150 t BOF Catch Carbon Blowing Process

Fan Lianming, Li Xifeng and Hu Weizhu

(Technology Center, Benxi Iron and Steel (Group) Co, Benxi 117000)

Abstract The bearing steel GCr15 is produced by pretreated hot metal (0.050% P, \leq 0.005% S)-150 t BOF catch carbon blowing LF (RH)-350 mm \times 470 mm bloom casting-800 mm bar-rod continuous rolling mill process at Benxi Steel. Operation practice results show that the higher oxidative state of liquid at condition of high lance height is favorable to remove the phosphorus in steel and realize high [C] at tapping, i. e. BOF end [C]-0.41% ~ 0.67% and [P]-0.013% ~ 0.017%; the tundish [C] is 0.96% ~ 0.98%, [P] 0.014% ~ 0.020% and [S] 0.002% ~ 0.005%; and the chemical composition and metallurgical quality of steel meet the requirement of standard.

Material Index 150 t BOF, Bearing Steel GCr15, Catch Carbon Operation

本钢自 2006 年矩形坯连铸机投产以来,开始研发转炉矩形坯连铸生产轴承钢 GCr15,轴承钢转炉冶炼一直使用增碳法,由于增碳法转炉终点(C)很低,在 0.10% 左右,需要在炉后和 LF 精炼大量增碳及调整碳含量,影响生产效率和成本。因此,本钢进行单渣法高拉碳冶炼轴承钢试验,以减少炉后增碳剂的加入量,提高生产效率,降低生产成本。

1 高拉碳冶炼轴承钢的可行性

1.1 本钢转炉冶炼轴承钢现状

现阶段本钢转炉生产轴承钢 GCr15 一直采用增碳法,即转炉单渣法吹炼,一次吹炼碳降低至 0.10% 左右,温度和有害元素 P 含量合格后出钢,出钢时首先在钢包底投部分碳粉,然后在出钢过程中加入剩余的碳粉增碳,加入合金料配合金,加铝锭脱氧。该操作增加 LF 精炼时间。

矩形坯连铸机连铸 1 炉轴承钢所需要时间大约 1 h,而轴承钢在 LF 精炼时间大约要 2 h,再加上 RH 和软吹氩气的时间,精炼完 1 炉轴承钢至少需要 3.5 h。该操作生产效率较低,成本高,且不利于提高钢水的质量。

1.2 高拉碳工艺可行性分析

铁水预处理的作用包括脱硅、脱磷、脱硫,但目前本钢的铁水预处理只有脱硫作用,没有进行脱硅、脱磷工艺操作,为了更好冶炼轴承钢 GCr15,要求转炉的入炉铁水 P 含量一般在 0.050% 左右, S 含量 \leq 0.005%。

氧枪的高枪位会造成作用于钢液面的氧气流减弱,减弱钢液的搅拌过程,称为软吹,容易造成钢液局部过氧化,钢液中的 FeO 等氧化物增多。因此,本钢一般规定转炉生产不允许高吊氧枪,尽量不补吹,避免补吹时氧枪上下移动时造成“软吹”,考核一次吹炼合格率。

在本钢转炉高拉碳冶炼轴承钢 GCr15 吹炼试验的工艺设计中,正是利用氧枪“软吹”,高枪位使钢液表面 FeO 增多,由于钢液时刻处于搅拌状态,提高了钢液的氧化性,以达到迅速脱硅、脱磷,并保留转炉终点的 C 含量,可使转炉终点 C 含量在 0.40% ~ 0.60%^[1]。然后在转炉后续的工序精炼炉 LF 造还原渣,加强脱氧脱硫操作。

2 轴承钢化学成分控制及生产工艺

2.1 轴承钢化学成分控制要求

本钢转炉生产轴承钢 GCr15(表1)工艺流程

表 1 GCr15 轴承钢的化学成分/%
Table 1 Chemical composition of bearing steel GCr15 /%

项目	C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S	Ni	Cu
标准	0.95~1.05	0.15~0.35	0.25~0.45	1.40~1.65	≤0.10	≤0.025	≤0.025	≤0.30	≤0.20
内控	0.96~1.04	0.17~0.32	0.27~0.42	1.45~1.60	≤0.10	≤0.025	≤0.020	≤0.20	≤0.20
目标	1.00	0.25	0.35	1.52	≤0.05	≤0.020	≤0.018	≤0.10	≤0.10

注:钢材中气体[O] ≤ 15 × 10⁻⁶。

为:铁水脱硫(0.005%)→转炉→LF+RH→矩形坯连铸→热送特钢厂→加热→800 mm 大棒线连轧机组轧制成材→保温→包装缴库。

2.2 高拉碳冶炼轴承钢 GCr15 转炉操作要点

本钢有转炉 6 座,其中 3 座公称容量为 150 t,3 座公称容量为 180 t,由于 3 座 150 t 转炉距离矩形坯连铸机距离近,根据生产安排,冶炼轴承钢均在 3 座公称容量为 150 t 的转炉进行。

增碳法吹炼氧枪的喷头随时间变化比较简单,不再画出曲线图,枪位 1.8 m(氧枪喷头距离钢液面,以下枪位表示方法均同)吹炼 14 min 左右,然后下压氧枪的枪位为 1.5 m 吹炼 30 s 左右,进行强搅拌后,副枪取样测温,检验试样合格后,即可出钢。出钢进行脱氧合金化操作,并且增碳。要求碳、温一次合格,不得补吹,以保证钢水的质量,因为在补吹中,氧枪枪位下压和提升氧枪时,由于喷头持续吹氧,枪位较高时,容易造成“软吹”,使钢水局部过氧化,影响钢水质量。

高拉碳吹炼轴承钢的枪位随时间变化的曲线图如图 1 所示。具体工艺操作为,首先正常枪位 1.8 m,吹炼 6 min 左右,使钢水中的 Si 全部氧化后,再提高氧枪,减弱搅拌效果,进行“软吹”,在钢水中产生大量 FeO,提高钢水的局部氧化性,将钢水中的 P 氧化,及时加入造渣剂,使渣吸收 P 的氧化物。加

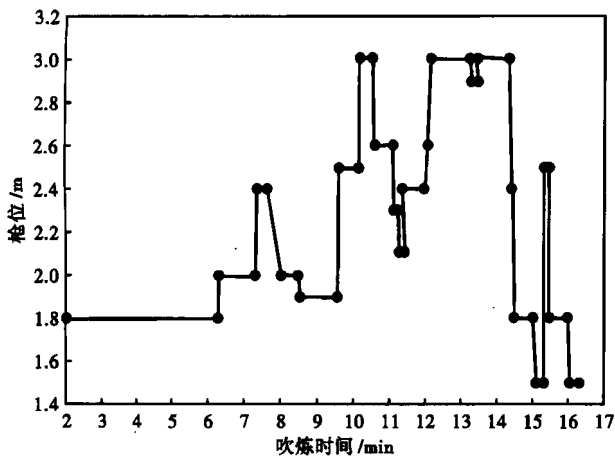


图 1 软吹过程氧枪枪位变化曲线图

Fig. 1 Curve of lance height changed in blowing process

人造渣料步骤是,转炉操作使用单渣法冶炼,开吹后先加入 2 t 活性石灰,在 3 min 之内加入轻烧白云石 4.28 t,随后加入铁矿石 1.2 t,铁矿石是氧化性物质,能更快氧化钢水中的 Si、P 等,然后每分钟加入 1~1.5 t 活性石灰,共加入活性石灰 11.5 t 左右。

由于在高枪位吹炼时,钢渣中 FeO 增加时,氧化渣容易返干,钢水中的氧与 C 反应生成的大量 CO 就会滞留在返干的氧化渣中,使转炉渣起泡,起泡严重时甚至产生喷溅,故在高枪位吹炼的时候,渣返干喷溅严重时,要及时降低氧枪,以减轻转炉渣的起泡程度,避免发生严重喷溅。因此,在转炉高拉碳吹炼轴承钢的过程中,氧枪可能需要多次提升和下压,具体依据操作过程中转炉渣喷溅的情况而定。转炉吹炼 15 min 左右后,降低氧枪为 1.5 m,吹炼 30 s 左右,副枪取样测温,检验试样合格后,即可出钢,出钢进行合金化和增碳操作,GCr15 使用铝锭脱氧。出钢用时约 5 min。

高拉碳生产轴承钢 GCr15 工艺要点为:

(1) 铁水中的 P ≤ 0.060%, (S) ≤ 0.005%。入炉铁水温度 ≥ 1300 ℃。

(2) 做好脱磷操作,终点一次拉碳目标碳含量 ≥ 0.40%,碳、温一次命中,不得补吹。挡渣出钢,钢包渣厚和净空要确保精炼要求。出钢进行 C、Si、Mn、Cr 的合金化,加入铝锭脱氧,进行钢包底吹氩。

(3) 造还原渣对钢水脱氧脱硫,在还原渣下保持时间大于 15 min,全过程钢包底吹氩搅拌。调整成分和温度^[2],要考虑 RH 精炼对钢水成分和温度的影响。

(4) RH 处理脱气时间 ≥ 15 min。RH“复压”后进行钢包“软吹氩”操作,“软吹氩”搅拌时间 ≥ 15 min。

(5) 连铸钢水过热度 ≤ 25 ℃,四流同时开浇,开浇吨位按 15 t 控制,结晶器电磁搅拌电流 550 A,结晶器水量为宽侧 1080 L/min,窄侧 810 L/min,二冷水比水量 0.16 L/kg,结晶器自动液位控制操作,拉速按 0.40 m/min 恒拉速控制,轻压下采用 2、3、4 辊压下,各辊压下量均为 2.0 mm。生产铸坯规格为

350 mm × 470 mm。

(6) 生产各工序中的温度制度见表 2。

表 2 各工序冶炼温度制度

Table 2 Schedule of temperature of liquid steel at each steelmaking period

工序	温度/℃	工序	温度/℃
出钢	1 670 ± 7	中间包	1 481 ± 5
钢包	1 595 ± 7	液相线	1 451
LF 前	1 560 ± 5	连浇第 1 炉平台	1 536 ~ 1 546
LF 后	1 584 ± 5	平台其它炉次	1 523 ~ 1 536
RH 后	1 534 ± 5	中间包	≥ 1 461
平台	1 531 ± 5		

3 试验结果分析

本钢试验生产轴承钢 GCr15 一个浇次,共 3 炉,钢材规格为 Φ60 mm,低倍检验全部合格,对 100% 超声波 B 级探伤合格,各项理化性能全部满足标准要求。高拉碳冶炼的 GCr15 钢转炉终点化学成分分析结果见表 3。

表 3 转炉终点-LF 精炼钢水的化学成分和温度

Table 3 Chemical composition and temperature of liquid steel at BOF end and in LF refining process

炉号	工序	成分/%							温度/℃
		C	Si	Mn	P	S	Als	Cr	
L1	转炉终点	0.59	0.10	0.17	0.017	0.008			1 675
	LF 前	0.88	0.19	0.38	0.017	0.015	0.001	1.48	1 592
	成品	0.98	0.23	0.41	0.019	0.002	0.002	1.52	
L2	转炉终点	0.41	0.20	0.15	0.016	0.012			1 670
	LF 前	0.87	0.18	0.37	0.014	0.010	0.005	1.52	1 590
	成品	0.96	0.20	0.36	0.020	0.005	0.005	1.49	
L3	转炉终点	0.67	0.10	0.14	0.013	0.010			1 670
	LF 前	0.95	0.21	0.36	0.011	0.012	0.010	1.65	1 593
	成品	0.97	0.24	0.35	0.014	0.002	0.010	1.50	

由表 3 可以看出,该次试验转炉终点(C)为 0.41% ~ 0.67%,平均(C)为 0.56%,理论上计算,公称容量 150 t 转炉,(C)每增加 0.01% 需 15 kg 增碳剂,相比转炉终点 0.10% 碳含量,高拉碳工艺平均可减少炉后增碳剂使用量 690 kg。

由表 4 可以看出,转炉终点渣样为高氧化渣,碱度为 3.5 左右,由于吹炼过程中返干严重,转炉渣黏度大,在出钢时,挡渣标容易不起作用,需要在出钢时严格控制,防止下氧化渣,允许稍微留钢,以免增加在 LF 精炼工序造还原渣的难度。在中间包浇注

表 4 转炉渣成分/%

Table 4 Ingredient of BOF slag / %

炉号	CaO	SiO ₂	MgO	FeO	P	TFe
L1	53.96	15.37	10.25	15.78	0.626	11.96
L2	54.26	15.39	10.24	10.45	0.637	11.88
L3	53.91	15.43	10.23	15.84	0.622	11.98

时,3 炉钢熔炼成品化学成分见表 3。

分析检验了轧制成材后 3 炉钢的氧含量,分别为: 11×10^{-6} 、 10×10^{-6} 、 11×10^{-6} , 满足标准要求。

对试验批次钢材非金属夹杂物进行了重点检验分析,分析结果表明各项均符合标准要求(表 5)。

表 5 GCr15 轴承钢成品材的非金属夹杂物级别

Table 5 Rating of nonmetallic inclusions in finished products of bearing steel GCr15

项目	A		B		C		D	
	粗	细	粗	细	粗	细	粗	细
标准	≤1.5	≤2.5	≤1.0	≤2.0	≤0.5	≤0.5	≤1.0	≤1.0
结果	0.5 ~ 1.0	0.5 ~ 1.5	0.5 ~ 1.0	0.5 ~ 1.5	0	0	0 ~ 0.5	0 ~ 0.5

使用高拉碳冶炼轴承钢 GCr15 时,在 LF 精炼工序调节成分大约 1.5 h 即可完成,节省 LF 处理时间 1/3,其它工序所需要时间不变的情况下,3 h 即可完成冶炼过程。可见,高拉碳法提高了生产效率,并为生产安排提供了便利。

4 结论

(1) 高拉碳冶炼轴承钢转炉终点(C)在 0.41% ~ 0.67%,(P)在 0.013% ~ 0.017%,并在后续精炼过程回磷后,(P) ≤ 0.020%。

(2) 高拉碳冶炼生产的轴承钢 GCr15 各项理化检验满足 GB/T18254-2002 标准要求,并且经济高效,具有推广价值。

参考文献

- 曹国立,李士琦,陈 泽. 石钢 GCr15 轴承钢实践. 钢铁,2008,43(6):43
- 王忠英,全太钦,王 前,等. 准钢 80 t BOF-90 t LF-RH-CC 流程开发特殊钢的生产实践. 特殊钢,2009,30(4):29

范连明(1978-),男,工程师,2000 年北京科技大学毕业,转炉流程轴承钢生产工艺研究。

收稿日期:2010-04-07