

150 t 转炉-LF-RH-350 mm × 470 mm CC 流程生产优质 轴承钢 GCr15 的工艺实践

黄涛 范连明 宋满堂

(本钢集团有限公司特殊钢项目部, 本溪 117000)

摘要 通过采用优质铁水, 高拉碳操作控制顶底复吹转炉终点 $[C] \geq 0.20\%$, LF 精炼造渣材料加入前 $[Als] \geq 0.03\%$, 精炼渣 $(FeO + MnO) \leq 1.0\%$, $RH \leq 100$ Pa 的时间 ≥ 15 min, 连铸钢水过热度 ≤ 30 °C, 结晶器电磁搅拌和凝固末端动态轻压等工艺措施, 本钢 GCr15 轴承钢的平均 $T[O] \leq 8 \times 10^{-6}$, $[Ti] \leq 25 \times 10^{-6}$, $[Ca] \leq 10 \times 10^{-6}$, 连铸坯中心疏松 0.5 ~ 1.0 级, 缩孔 0 ~ 1.0 级, 等轴晶率 41.5% ~ 43.2%。

关键词 150 t 顶底复吹转炉 350 mm × 470 mm 连铸 轴承钢

Process Practice of Quality Bearing Steel GCr15 produced by 150 t BOF-LF-RH-350 mm × 470 mm CC Flow Sheet

Huang Tao, Fan Lianming and Song Mantang

(Special Steel Project Department, Benxi Steel, Benxi 117000)

Abstract With using process measures including quality hot metal, catch carbon practice to control top and bottom combined blown converter end $[C] \geq 0.20\%$, $[Als] \geq 0.030\%$ before adding slag making materials in LF refining, refining slag $(FeO + MgO) \leq 1.0\%$, $RH \leq 100$ Pa refining ≥ 15 min, extend of overheating of liquid in casting ≤ 30 °C, mold electromagnetic stirring and dynamic light reduction at solidification front, the average $T[O]$ in bearing steel GCr15 produced at Bensteel is $\leq 8 \times 10^{-6}$, $[Ti] \leq 25 \times 10^{-6}$, $[Ca] \leq 10 \times 10^{-6}$, the rating of center porosity bloom is 0.5 ~ 1.0, the rating of shrinkage cavity is 0 ~ 1.0 and the ratio of equiaxed zone is 41.5% ~ 43.2%.

Material Index 150 t Top and Bottom Combined Blown Converter, 350 mm × 470 mm Bloom Casting, Bearing Steel

轴承钢被广泛应用于机械制造、铁道运输、汽车制造、国防工业领域, 主要是制造滚动轴承的滚动体和套圈, 一些大断面轴承钢也被用来制造机械加工用的工、模具^[1]。目前, 我国轴承钢总产量约为 360 万 t, 其中高碳铬轴承钢约占轴承钢总产量 93%。

本钢采用“铁水脱硫扒渣-150 t 复吹转炉-LF 精炼-RH 精炼-矩形坯连铸(350 mm × 470 mm)”工艺流程生产纯净轴承钢。

1 标准制定及工艺路线

1.1 标准制定

本钢最初试验时, 依据瑞典 SKF 企业标准 SKF D33, 同时参照我国 GB/T18254-2002《高碳铬轴承钢》, 制定了 BX550-2007《轴承套圈和滚动体用 GCr15 钢》技术条件。考虑到钢中氮、氢、氧元素含量对轴套的使用寿命有很大影响^[2], 因此, 将氧含量严格控制在 10×10^{-6} (成品) 以下, 同时增加了氮和氢的规定。

GCr15 钢的标准化学成分和成分控制范围、成分控制目标值见表 1。

1.2 生产工艺流程

生产工艺流程为: 铁水预处理 → 150 t 转炉冶炼 → LF 精炼 → RH 真空处理 → 连铸(350 mm × 470 mm) → 热送特钢厂 → 加热 → 800 棒材连轧机组 → 保温 → 修磨 → 检验 → 包装缴库 → 发货。

2 生产技术要点

2.1 原料

为了保证 GCr15 钢水的纯净度, 首先对铁水和合金的质量提出了严格的要求。铁水采用本钢自产矿石冶炼的铁水, 该铁水硫、磷等杂质含量低。为了控制铬铁带入有害元素钛, 选用了专用的低钛铬铁 ($Ti < 0.05\%$) 进行精炼期合金化微调成分。

表 1 GCr15 轴承钢的标准化学成分/%

Table 1 Standard 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: $[O] \leq 12 \times 10^{-6}$ 。

2.2 转炉冶炼

本钢转炉为150 t 顶底复吹转炉,兑入转炉铁水 $[S] \leq 0.005\%$, 90% 铁水和10% 优质废钢,出钢挡渣,钢包顶渣改质。经验表明,转炉过程采用高拉碳工艺操作,如果将出钢终点 C 控制在0.20% 以上,钢中的溶解氧会降低至0.02%,因为降低初炼钢水中的溶解氧不仅可以减轻精炼过程的脱氧负担,减少脱氧产物的生成量(夹杂物的主要来源),同时减少了脱氧剂的用量,可以降低冶炼成本^[3]。随机统计了本钢试验冶炼10 炉高拉碳工艺操作轴承钢的终点碳和氧含量,见表2。由表2 可见,高拉碳法可以达到预期目标效果。

表2 转炉吹炼采用高拉碳法和增碳法时终点[C]和[O]对比
Table 2 Comparison of end [C] and [O] of converter blowing by using catching carbon practice and increasing carbon practice

项目	增碳法		高拉碳法	
	终点碳含量 [C]/%	定氧值 [O]/10 ⁻⁶	终点碳含量 [C]/%	定氧值 [O]/10 ⁻⁶
波动范围	0.07~0.11	316~865	0.34~0.59	68~122
平均值	0.09	460	0.47	96

2.3 LF

(1) 在造渣材料加入前要完成对钢水的脱氧,并使钢中 $[Al] \geq 0.03\%$ 。

(2) 预熔型精炼渣、埋弧型精炼渣和活性石灰按工艺要求的比例控制。根据顶渣的流动性对这3 种材料的加入量可做适当调整。

(3) 预熔型、埋弧型精炼渣和活性石灰的加入量按每炉1 000~1 500 kg 控制。

(4) 供电造渣阶段,前期采用低档电压起弧,起弧稳定后采用高档电压升温化渣,后期采用适中电压进行调温,完成造渣精炼。

(5) 供电3~5 min 炉渣基本熔化后开始加入铝屑、电石等扩散脱氧剂。扩散脱氧剂要小批量连续加入,直到炉渣颜色转为黄白色或浅绿色,最后炉渣颜色应为白色并持续保持。严格控制 LF 精炼过程炉渣成分,保证“白渣”时间,炉渣成分按表3 规定的要求范围控制^[4]。

表3 精炼渣成分控制范围/%

Table 3 Control range of ingredient of refining slag / %					
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaF ₂	FeO + MnO
45~55	<8	27~38	5~10	0~5	<1.0

(6) 在不供电期间要加强底吹氩气搅拌,尤其

是在炉渣颜色转为黄白色以后,以利于钢、渣充分接触,加快脱硫速度。

(7) 在 LF 处理过程中,要盖严炉盖及炉盖上的开口,以保持较高的还原性气氛并减少钢水增氮。

(8) 在 LF 精炼后期,底吹氩气量以钢包钢液面不“裸露”出钢水为原则。

(9) 温度控制按操作要点执行,合格后钢包方可吊出。

2.4 RH

(1) RH 真空罐必须预先“清洗”,不得有残钢残渣,以防 GCr15 钢在 RH 真空循环脱气时,造成 GCr15 钢水温度和成分的波动。

(2) RH 真空度达到100 Pa 以下后,循环时间要保持15 min 以上。

(3) 在 RH 循环过程中,要根据化学成分变化将其调整至目标。

(4) 合金元素调整合格后,保证 RH 循环时间大于25 min。

(5) 当钢水温度合格后,复压破真空。

(6) RH 复压后进行软吹氩搅拌(液面不裸露),搅拌时间 ≥ 15 min。

(7) 温度合格后钢包吊至铸机浇铸平台。

2.5 连铸过程

中间包温度按中下限控制(过热度控制在30 ℃ 以下)。结晶器内进行电磁搅拌,搅拌电流为550 A,根据过热度不大于30 ℃、拉速0.42 m/min,凝固末端动态轻压下,压下参数为2、3、4 辊压下,各压下2 mm。

2.6 热送及轧制

连铸坯保温车红送,特钢厂及时将连铸坯入坑。加热时执行高温扩散工艺,为了保证终轧温度,控制出钢速度,实行待温轧制,铸坯初轧后的预备方进入大棒线的温度为950~970 ℃。

控温轧制工艺为,矩形坯生产轴承钢 GCr15 轧制时,初轧后进入大棒线连轧机组前,停留等待57~186 s,平均约2 min,降低预备方坯的表面温度。控温轧制生产轴承钢的主要作用是改善轧材的芯部宏观组织,预备方坯表面温度低时,心部温度仍然比较高,从轧制时电流变化可以看出,低表面温度比非低温轧制电机电流大,提高了钢材轧制时的变形抗力,并且由于轧件表面和芯部具有一定的温度梯度,表面温度稍低,硬度高,芯部温度稍高,硬度相应低,因此,轧制力就容易渗透到心部,可以更好地焊合缩孔^[5],保证大规格轴承钢的低倍质量。轧后钢材保

温冷却。

3 结果及分析

现阶段本钢已实现轴承钢的批量生产,从 2009 年至今,已生产热轧圆钢约 500 多个批次,生产规格为 $\Phi 55 \sim \Phi 130$ mm。现以 $\Phi 130$ mm 规格材为例子,总结产品质量。

3.1 化学成分

由表 4 可见,GCr15 钢成品的化学成分中 Ca、Ti、Ni、Mo、Cu、As、Sn、Sb 和 Pb 等残余元素指标低,轴承钢质量纯净度高。

3.2 铸坯

通过多次调整动态轻压下,随即选择了 4 炉轴承

表 4 GCr15 钢成品成分和铸坯低倍组织
Table 4 Analysis of finished bearing steel GCr15 and macrostructure of bloom

试样	化学成分/%														中心疏松/级	缩孔/级	等轴晶率/%
	C	Si	Mn	P	S	Alt	Cr	Ti	Ca	Ni	O	N	H				
No1	0.98	0.21	0.34	0.015	0.001 0	0.030	1.45	0.002 4	0.000 2	0.020	0.000 8	0.003 8	0.000 08	0.5 ~ 1.0	0 ~ 1.0	42.1 ~ 43.1	
No2	0.97	0.27	0.38	0.011	0.002 0	0.040	1.50	0.002 1	0.000 8	0.010	0.000 9	0.003 5	0.000 07	0.5	0 ~ 0.5	42.5 ~ 43.2	
No3	0.98	0.27	0.35	0.011	0.002 0	0.020	1.48	0.002 2	0.000 6	0.015	0.000 5	0.003 0	0.000 05	1.0	0 ~ 1.0	42.5 ~ 43.0	
No4	0.98	0.26	0.36	0.010	0.002 0	0.030	1.52	0.002 0	0.000 4	0.010	0.000 9	0.002 9	0.000 05	0.5	0.5 ~ 1.0	41.5 ~ 42.8	

注:1- 平均残余元素(/%):0.002Mo,0.01Cu,0.000 3As,0.000 3Sn,0.000 5Sb,0.001 2Pb;2- 表中轴晶率为铸坯短边长度比率。

钢进行了铸坯的取样和低倍检验,结果如表 4 所示。

由表 4 可见,铸坯中心疏松级别和缩孔级别均较低,等轴晶率较高,约 42.5%。铸坯内部质量达到了较高水平。

3.3 轧材

由表 5 可见,(1)低倍的 3 项检验指标均合格。(2)夹杂物检验符合 GB/T18254-2002 标准要求。(3)碳化物和脱碳层的检验指标均达到标准要求。

表 5 GCr15 $\Phi 130$ mm 热轧圆钢检验结果

Table 5 Examination results of $\Phi 130$ mm hot rolled round bar of bearing steel GCr15

项目	类别	标准/级	实检值/级
低倍	一般疏松	≤ 1.0	0 ~ 0.5
	中心疏松	≤ 1.5	1.0 ~ 1.5
	中心偏析	≤ 1.0	0 ~ 0.5
夹杂物	A 粗	≤ 1.5	0 ~ 1.0
	A 细	≤ 2.5	0 ~ 1.5
	B 粗	≤ 1.0	0 ~ 0.5
	B 细	≤ 2.0	0 ~ 1.0
	C 粗、C 细	≤ 0.5	0
碳化物	D 粗、D 细	≤ 1.0	0 ~ 0.5
	带状	≤ 3.0	0 ~ 1.0
脱碳层/mm		≤ 1.2	0.45 ~ 0.70

4 结论

(1)采取的高拉碳工艺有助于提高转炉终点 [C],并且大幅度降低了转炉终点的氧含量,有利于降低成本和提高钢质纯净度,并且通过 LF 和 RH 工

艺的严格控制,轴承钢质量具有较高的纯净度。

(2)初轧后预备方坯的控温轧制增加了轧制力和轧制力的渗透,有助于大规格轴承钢 GCr15 芯部孔隙性缺陷的压合,能更好的焊合缩孔,对芯部质量改善明显。

(3)GCr15 钢平均全氧含量 $\leq 8 \times 10^{-6}$,Ti 含量 $\leq 25 \times 10^{-6}$,Ca 含量 $\leq 10 \times 10^{-6}$;采用调整后的轻压下技术,350 mm \times 470 mm 矩形坯检验结果,中心疏松级别和缩孔级别较低,等轴晶率较高(约 42.5%); $\Phi 130$ mm 热轧圆钢低倍、夹杂物、碳化物和脱碳检验均符合 GB/T18254-2002 标准要求。

参考文献

- [1] 吕其春,等. 钢铁辞典[M]. 北京:中国物价出版社,1995.
- [2] 孙盛玉. 高淬透性钢中的纵裂及其预防措施[J]. 理化检验-物理分册,1992,28(4):59.
- [3] 王博,姜周华,龚伟,等. GCr15 轴承钢夹杂物及全氧含量控制工艺分析[J]. 材料与冶金学报,2004,3(2):90-94.
- [4] 刘跃,吴伟,刘浏,等. 100 t 转炉-LF(VD)工艺冶炼轴承钢的氧含量控制[J]. 特殊钢,2005,26(6):47-49.
- [5] 黄永健,刘才,李会林. 影响棒材轧制芯部质量因素[R]. 中国钢铁业技术论坛,2009(5):17-20.

黄涛(1971-),男,高级工程师,特殊钢厂副厂长兼项目部副经理,东北大学毕业,钢铁冶金研究。

E-mail: bgszxx0206@163.com

收稿日期:2012-10-25