

150 t 转炉-LF + RH 流程生产 GCr15 轴承钢的有害元素控制

宋满堂^{1,2} 王会忠² 徐明²

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 本钢集团公司炼钢厂,本溪 117021)

摘要 本钢炼钢厂采用铁水脱硫-150 t 转炉-LF + RH-TB 精炼-350 mm × 470 mm 坯连铸流程生产 GCr15 轴承钢。通过使用优质铁水(% :0.000 2Ca, 0.002 7Cu, ≤0.001 As, ≤0.001 Sn, ≤0.001 Sb, 0.002 Pb), 控制铁水中 [P] ≤0.040%, [S] ≤0.003%, 转炉出钢合金化后 [Ti] 为 12×10^{-6} , 控制 LF + RH 精炼过程增 [Ti], LF 末期 [Als] 0.04% 等工艺措施, 有效地控制 GCr15 轴承钢的有害元素, 使成品钢 [Ti] ≤ 30×10^{-6} , [Ca] ≤ 8×10^{-6} , [O] ≤ 8×10^{-6} , [N] ≤ 38×10^{-6} , [H] ≤ 0.8×10^{-6} , 轧材低倍、夹杂物等指标均达到标准要求。

关键词 转炉 LF RH 连铸大方坯 GCr15 轴承钢 有害元素控制

Controlling of Deleterious Elements in Bearing Steel GCr15 Produced by 150 t LD-LF + RH Flow Sheet

Song Mantang^{1,2}, Wang Huizhong² and Xu Ming²

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Steelmaking Plant, Benxi Iron and Steel (Group) Co Ltd, Benxi 117021)

Abstract The GCr15 bearing steel is produced by hot metal desulphurizing - 150 t LD - LF + RH - TB refining - 350 mm × 470 mm bloom concasting flow sheet at steelmaking plant, Benxi Steel. With the operation practices including using quality hot metal (0.000 2Ca, 0.002 7Cu, ≤0.001 As, ≤0.001 Sn, ≤0.001 Sb, 0.002 Pb), controlling hot metal ≤0.040% [P] and ≤0.003% [S], 12×10^{-6} [Ti] after alloying in LD tapping, controlling increment of [Ti] in LF + RH refining process, 0.04% [Als] at end phase of refining, the deleterious elements in bearing steel GCr15 was controlled effectively, e. g. [Ti] ≤ 30×10^{-6} , [Ca] ≤ 8×10^{-6} , [O] ≤ 8×10^{-6} , [N] ≤ 38×10^{-6} , [H] ≤ 0.8×10^{-6} , and micro-structure, inclusion index etc of rolled products all met the requirements of standard.

Material Index LD, LF, RH, Concasting Bloom, Bearing Steel GCr15, Controlling of Deleterious Elements

考虑到转炉配精炼连铸生产特殊钢具有明显的技术优势^[1], 2005 年, 本钢在炼钢厂建了 1 台 4 流矩形坯连铸机, 通过“铁水脱硫扒渣→复吹转炉→LF 精炼→RH 精炼→大矩形坯连铸工艺”成功地生产纯净轴承钢。

1 GCr15 钢生产设备工艺和成分

炼钢厂主要设备及参数如表 1 所示。

1.1 转炉

要求经铁水脱硫扒渣处理后, 兑入转炉铁水 [P] ≤0.040%、[S] ≤0.003%; 采用全铁装入法治炼。转炉吹炼终点 [C] 控制在 0.15% 左右, 出钢用 电极碎块增 [C] 至 0.85% 左右。出钢过程采用低钛高碳铬铁进行铬合金化, 加铝锭脱氧; 出钢时向钢包内加入 500 kg 活性石灰。另外, 出钢挡渣。

1.2 LF

造渣前, 将 [Al] 调至标准上限。造渣材料采用活性石灰、精炼渣(主要成分% :42~50 CaO、4~6 SiO₂、40~46 Al₂O₃), 造渣过程加铝粒、碳粉进行扩散脱氧, 要造出还原渣, 在保证渣流动性的条件下,

表 1 炼钢厂的主要设备参数

Table 1 Parameters of main equipment at steelmaking plant

名称	参数及功能
铁水脱硫扒渣站	脱硫粉剂为钝化镁粉和石灰, 比例为 1: 3。喷吹速度 8~14 kg/min, 镁粉消耗 0.61 kg/t。
转炉	顶底复吹转炉, 公称容量 150 t, 副枪自动化炼钢, 供氧时间 14~16 min, 挡渣标挡渣。
LF	电极旋转式双工位 150 t LF, 变压器容量 35 MVA, 升温速度 1~5 °C/min。
RH	单工位 RH-TB, 六级真空泵, 67 Pa 时抽气能力为 600 kg/h, 钢液循环速度 130 l/min。
矩形坯连铸机	弧形连铸机, 4 机 4 流, 断面 350 mm × 470 mm, 中间包容量 32 t, 拉速 0.46~0.50 m/min。

控制渣碱度 (CaO)/(SiO₂) ≥6 和渣中 FeO + MnO ≤1%。然后合金化, 用低钛高碳铬铁调整 [Cr]。控制底吹强度, 避免钢液二次氧化。离站时 [C]、[Al] 按内控上限控制, 以防到 RH 钢水循环烧损。控制好钢水离站时温度, 避免 RH 处理过程中进行升降温操作。

1.3 RH

RH 预抽真空, 在最高真空度下较长时间进行

脱气处理(100 Pa 以下保持 15 min 以上)。在 RH 钢水循环过程中,将化学成分调整至目标,保证 RH 循环时间大于 25 min。当温度合格后,复压破真空,然后软吹氩搅拌 15 min 以上。

1.4 铸机

中间包要密封好,中间包内氩气保护浇铸;中间包渣要勤加入,严禁钢液面裸露。做好长水口密封,防止钢包下渣,控制好停浇吨位(按中间包液面 400 mm)。控制中间包过热度 $\leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$,拉速与过热度相配,拉速范围 0.46~0.50 m/min;电磁搅拌电流 550 A;根据过热度、拉速控制轻压下。

1.5 GCr15 标准化学成分与成品实际值

参照瑞典 SKF 企业标准 SKF D33 和我国 GB/T18254-2002《高碳铬轴承钢》标准,制定本钢 BX550-2007 标准,其 GCr15 钢的标准化学成分和成品钢实际值如表 2 所示:

2 有害元素控制结果分析

2.1 残余元素

由表 2 可见,GCr15 钢成品的化学成分中 Ni、Mo、Cu、As、Sn、Sb 和 Pb 等残余元素远比标准要求低。表 3 显示了本钢铁水的部分残余元素含量。由表 3 可见,利用本钢自产的优质铁水,转炉采用全铁法冶炼特殊钢有着明显的优势。

表 2 GCr15 轴承钢的主要化学成分要求和成品钢分析值,4 炉/%

Table 2 Requirement of main chemical composition for bearing steel GCr15 and analysis of finished products, 4 heats / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Ca	Al	As	Sn	Sb	Pb	O	N	H
标准	0.95 ~ 1.05	0.15 ~ 0.35	0.25 ~ 0.45	≤ 0.025	≤ 0.015	1.40 ~ 1.65	≤ 0.0030	≤ 0.0010	0.010 ~ 0.050	≤ 0.04	≤ 0.03	≤ 0.005	≤ 0.002	≤ 0.0010	≤ 0.0060	≤ 0.00015
内控	0.96 ~ 1.00	0.20 ~ 0.30	0.31 ~ 0.39	≤ 0.015	≤ 0.010	1.45 ~ 1.55	≤ 0.0025	≤ 0.0008	0.010 ~ 0.040	≤ 0.04	≤ 0.03	≤ 0.005	≤ 0.002	≤ 0.0008	≤ 0.0050	≤ 0.00012
目标	0.98	0.25	0.35	≤ 0.012	≤ 0.008	1.50	≤ 0.0025	≤ 0.0005	≤ 0.025	≤ 0.04	≤ 0.03	≤ 0.005	≤ 0.002	≤ 0.0006	≤ 0.0035	≤ 0.00008
成品	0.97 ~ 0.98	0.21 ~ 0.27	0.34 ~ 0.38	0.010 ~ 0.015	0.001 ~ 0.002	1.45 ~ 1.52	0.002 ~ 0.003	0.0002 ~ 0.0008	0.020 ~ 0.040	0.0002 ~ 0.0005	0.0003	0.0003 ~ 0.0005	0.0010 ~ 0.0030	0.0007 ~ 0.0010	0.0029 ~ 0.0038	0.00005 ~ 0.00008

注:标准要求 Cu $\leq 0.025\%$,Ni $\leq 0.25\%$,Mo $\leq 0.10\%$;成品 Cu 0.01%,Ni 0.01%~0.02%,Mo 0.001%~0.003%

表 3 本钢铁水的部分残余元素含量/%

Table 3 Residual elements content in Bangang hot metal / %

项目	Cr	Ti	Ca	Ni	Mo	Cu	As	Sn	Sb	Pb
波动范围	0.03 ~ 0.04	0.01 ~ 0.03	0.0001 ~ 0.0004	0.009 ~ 0.011	< 0.001	0.002 ~ 0.004	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001 ~ 0.003
平均	0.038	0.022	0.0002	0.010	<0.001	0.0027	<0.001	<0.001	<0.001	0.002

2.2 钢中[Ti]

钛是备受关注的有害元素,因为它引入了TiN夹杂,其危害程度非常大。因此,要严格控制各工序钛含量。冶炼过程中各工序[Ti]变化如图 1(a)所示。

由图 1(a)可见:(1)转炉出钢铬合金化、加铝脱氧、加石灰进行顶渣改质,LF 前钢中[Ti]仅为 12×10^{-6} 。(2)LF 精炼增[Ti]较大,达 12×10^{-6} ,这与铝、炉渣或铬铁含钛量较高有关。(3)RH 循环过程加铝后[Ti]微量增加,RH 时[Ti]略有减少。(4)钢液浇铸过程[Ti]基本无变化。因此,控制 LF 精炼前[Ti]及过程增[Ti]是关键。

2.3 [N]的控制

冶炼过程中[N]的变化如图 1(b)所示。

由图 1(b)可见:(1)LF 前钢水[N]较高,这是由于转炉补吹、出钢合金化、增碳剂带入等因素造成

的。(2)LF 精炼增[N] 22×10^{-6} ,增[N]量较大。RH 循环复压后降至 25×10^{-6} ,脱氮率为 41%。说明 LF 电弧加热、底吹氩、合金化、增[C]等操作有增[N]倾向,而 RH 钢水循环脱气可明显降[N]。因此,要充分利用 RH 脱氮功能。(3)成品[N]没有增加,表明铸机中间包保护浇铸好。

2.4 [Ca]的控制

对于轴承钢,钙也是有害元素。冶炼过程中[Ca]的变化如图 1(c)。

由图 1(c)可见:(1)在 LF 精炼过程中,钢液有增[Ca]现象,这与高碱度、高还原性顶渣有关。(2)经 RH 循环及软吹氩,钢中[Ca]大幅度降低,[Ca]降为 6×10^{-6} 。(3)铸机浇铸过程[Ca]无大变化,成品[Ca]略降为 5×10^{-6} 。试验表明,LF 精炼过程有增[Ca]现象,通过 RH 真空循环可降低

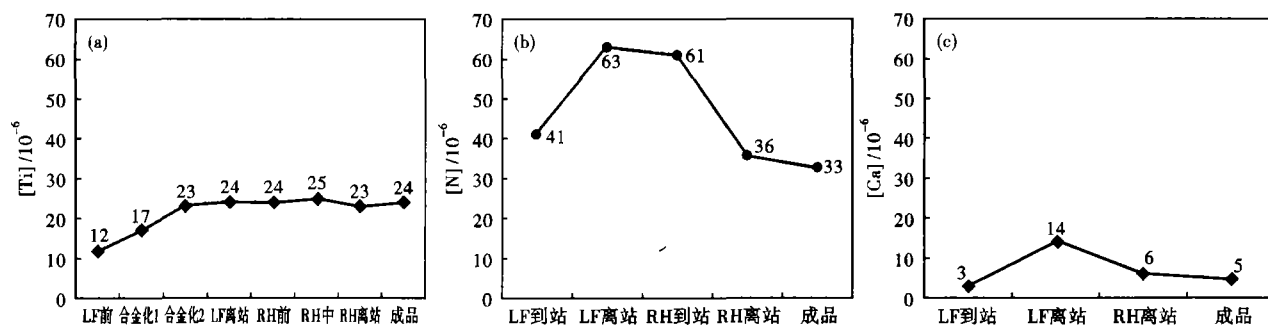


图1 冶炼过程[Ti] (a); [N] (b)和[Ca] (c)的变化
Fig.1 Change of [Ti] (a), [N] (b) and [Ca] (c) during steelmaking process

钢中[Ca]。

2.5 [H]的控制

冶炼过程中[H]变化为:LF到站 2.6×10^{-6} , LF离站 2.8×10^{-6} , RH离站 0.9×10^{-6} , 成品 0.6×10^{-6} 。

由[H]分析结果可见:(1)LF精炼略有增[H],说明LF精炼过程有增加趋势。这可能与LF用原材料有关。(2)RH有明显的脱氢作用,是降低钢中[H]的重要手段。(3)成品[H]进一步降低,与后续加热轧制退火工艺有关。

2.6 [O]的控制

生产过程取样分析[O]值较为困难。成品材上分析[O]平均为 8×10^{-6} 。

生产过程控制钢中[O]的措施有:(1)转炉钢包[Als]按0.07%、LF离站[Als]按0.04%控制,RH循环中、后期不进行补铝操作。(2)RH软吹氩时间 ≥ 15 min。(3)采用高碱度中间包渣,做好保护浇铸。避免二次氧化。

3 轧材检验

$\Phi 130$ mm 热轧圆钢低倍、夹杂物、碳化物和脱碳检验结果如表4所示。

由表4可见:(1)低倍的三项检验指标均合格,但中心疏松级别较高,偏上限。(2)夹杂物检验符合BX550-2007及GB/T18254-2002标准要求。(3)碳化物和脱碳三项检验指标均达到标准要求。

表4 $\Phi 130$ mm 热轧圆钢检验结果/级
Table 4 Examination results of $\Phi 130$ mm hot rolled bar /rating

项目	低倍			夹杂物								碳化物		脱碳
	一般疏松	中心疏松	中心偏析	A _粗	A _细	B _粗	B _细	C _粗	C _细	D _粗	D _细	带状	网状	
标准 ¹	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 2.0	≤ 0.5	≤ 1.5	≤ 0	≤ 0	≤ 0	≤ 0	$\leq C76.3$	$\leq CN5.3$	≤ 1.20
实验值	0~0.5	1.0~1.5	0	0.5~1.0	0.5~1.0	0.5	0.5~1.0	0	0	0	0	0	0	0.45~0.50

注:1)BX550-2007标准。

4 结论

(1)在冶炼过程中,转炉重点是控制好钢中[Ti];LF重点是造好还原渣,避免增[Ti]、增[N];RH重点是充分利用循环脱气及软吹氩搅拌;铸机重点是保护浇铸。这样可有效控制有害元素 $[Ti] \leq 30 \times 10^{-6}$, $[Ca] \leq 8 \times 10^{-6}$, $[O] \leq 8 \times 10^{-6}$, $[N] \leq 38 \times 10^{-6}$, $[H] \leq 0.8 \times 10^{-6}$ 。

(2)轧材低倍检验指标合格,夹杂物检验符合BX550-2007及GB/T18254-2002标准要求,碳化物和脱碳检验指标均达到标准要求。

(3)试生产的4炉GCr15钢的化学成分全部达到了GB/T18254-2002标准的成分要求,也满足瑞

典SKF标准SKF D33的成分要求。生产实践表明,采用铁水脱硫扒渣→转炉→精炼(LF+RH)→矩形坯连铸生产GCr15轴承钢的生产工艺是可行的。

参考文献

1 赵沛,成国光,沈甦.炉外精炼及铁水预处理实用技术手册.北京:冶金工业出版社,2004

宋满堂(1961-),男,硕士研究生,教授研究级高级工程师,1989年东北大学毕业,铁水脱硫、转炉炼钢、二次精炼和连铸研究。

收稿日期:2008-07-05