包钢轴承钢的研制与开发[*1]

武艳香

(内蒙古包钢钢联股份有限公司长材厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 通过对转炉终点、LF炉精炼、VD真空处理及全保护连铸及加热制度、轧钢工艺、非金属夹杂,碳偏析的严格控制等环节以及对轴承钢成品金相、缺陷裂纹、低倍炼钢成分分析,成功的研制与开发了轴承钢,满足了GB/T 18254—2016的标准要求,进入了市场。

关键词: 轴承钢; 转炉; 氧含量; 金相检测

中图分类号: TF762 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)02-0049-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.02.014

Research and Development of Bearing Steel in Baotou Steel

WU Yan-xiang

(*Long Products Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Inner Mongolia*, *China*)

Abstract: Through the end of converter, LF refining, VD vacuum treatment and full protection continuous casting and heating system, rolling process, non-metallic inclusion, strict control of carbon segregation and other aspects, and the analysis of metallographic phase for finished bearing steel, crack defect, low power steelmaking composition, the bearing steel is successfully researched and developed, meeting the standard requirements of GB/T18254 - 2016 and entering the market.

Key words: bearing steel; converter; oxygen content; metallography detection

轴承在国际上素有“工业的心脏”的说法,因此,轴承钢是特殊钢中最具代表性的钢种,其质量很大程度上决定了机械产品的精度、性能、寿命与运行的可靠性[1],轴承钢的质量水平也成为一个国家钢铁冶炼水平的标志之一[2]。文章结合生产实际对包钢集团生产的轴承钢的炼钢工艺、轧钢工艺、化学成分、检验性能进行了研究 。得出该钢种性能稳定,精度虽然达不到高档级别,但也具备批量生产中低档GCr15轴承钢的能力,且满足要求。

1 生产工艺及设备

包钢GCr15轴承钢试制工作在炼钢生产线—线材生产线进行,具体工艺路线为:铁水预处理→120 t顶底复吹转炉→LF精炼→100 tVD真空脱气→连铸(Φ180 mm圆坯)→钢坯堆冷→蓄热式加热→线材厂轧制→轧材检验检查出库。

2 炼钢生产

2.1 转炉冶炼

* 收稿日期:2017-12-25

作者简介:武艳香(1976-),女,内蒙古包头市人,工程师,现从事金属材料金相检测与分析工作。

采用120 t复吹转炉生产GCr15轴承钢，为降低钢中初始氧含量，转炉终点应采用高拉碳为宜并尽量减少补吹次数，实际操作中，因包钢铁水中P含量较高，为在转炉工位单渣脱P，不得不增加吹氧，致使出钢碳常常低于要求的0.10%。另外，转炉出钢下渣控制难度较大，这对轴承钢洁净度的提高是不利条件，为减少出钢过程下渣，出钢前在出钢口进行挡渣。再则，在出钢过程中全程吹Ar并加入200 kg小粒白灰以利于精炼炉的造渣操作。转炉冶炼GCr15轴承钢采用单渣法生产，共计生产255炉，一次吹炼到位236炉，补吹20炉。总体看，255炉GCr15轴承钢的吹炼效果较好，转炉脱磷率为77%～97%，平均89%。采用硅锰、硅铁、铬铁脱氧合金化，终脱氧采用铝锰铁。

2.2 LF炉精炼

受转炉生产节奏及转炉出钢下渣不易控制的影响，采用转炉工艺生产GCr15轴承钢，对LF炉精炼提出了较高要求。另外，由于轴承钢对D类夹杂要求严格，精炼结束后不喂入硅钙线，故应尽可能地降低钢中夹杂物含量，否则会影响到钢水的可浇性，恶化钢的内部质量。在精炼工序主要采取了优化精炼渣系、控制合适的铝含量及精炼结束的软吹时间等措施。有文献对精炼渣进行了大量研究[2]，指出了适合中国LF炉精炼的氧化钙、氟化钙渣系，再结合其它钢厂的实践经验，包钢采用高碱度的CaO—SiO_2—Al_2O_3渣系进行精炼处理，以达到实现快速成渣、尽可能降低钢中氧含量、有效脱硫的目的。精炼过程中分批加入白灰、萤石、铝矾土、电石、铝线或铝锰铁进行钢渣脱氧造白渣。精炼渣成分如表1所示。

表1 精炼渣成分(质量分数) %

CaO	MgO	Al_2O_3	SiO_2	MnO	TFe	*R* 碱度
45～56	3.7～11.6	15.1～30.7	6.6～17.2	0.026～0.052	0.5～1.7	≥3.0

2.3 钢中Al含量控制

为有效控制轴承钢中的O含量，需保证钢中有一定的Al，但钢中Al含量过高易造成钢水的流动性变差，影响可浇性和钢的内部质量，严重时造成断流事故。根据其它钢厂经验，我们要求将LF离位钢中 w[Al_s]控制在0.02%～0.04%，不足0.02%在LF后补加，以保证成品钢水中 w[Al_s]含量控制在0.01%～0.03%之间。

2.4 VD真空脱气处理

LF钢包炉完成造渣、成分和温度的调整后，将钢包运送到VD工位。有资料介绍[3]，VD炉的搅拌能力是钢包炉的8倍，吹氩搅拌钢液是VD炉的重要功能，它可促进渣、钢的反应，加速钢、渣间的物质传递，有利于脱氧、脱硫、去除非金属夹杂物，均匀钢液成分及温度。氩气搅拌强度控制在50～150 m^3/min，真空度控制在60 Pa以下，深真空时间≥13 min。VD处理过程中的大强度氩气搅拌，会使钢水剧烈翻腾，致使钢中夹杂物在上浮到钢渣界面容易被重新卷入钢水中，甚至可能发生卷渣。因此在VD结束以后进行吹氩弱搅拌非常必要，控制VD处理结束以后吹氩弱搅拌时间大于等于10 min。

2.5 连铸控制

轴承钢的O含量要求严格，GB/T18254—2016[4]中要求连铸钢中 w[O]≤12×10^{-6}，连铸过程应加强保护。大包采用长水口保护，中包采用浸入式水口保护，防止钢水二次氧化。另外，为有效控制钢的低倍质量，加强了连铸中包过热度的控制，要求过热度控制在30 ℃以内。VD后的钢水经五机五流圆坯连铸机拉成Φ180 mm连铸坯，铸机弧半径12 m。255炉中，除开浇第一炉外，有27炉钢水过热度大于30 ℃，占10.5%，最高36 ℃，其余炉次的钢水过热度均小于30 ℃。铸坯拉速1.8～2.0 m/min。采用结晶器电磁搅拌，使用西峡龙城轴承钢专用保护渣。保护渣的化学成分、成品钢水成分如表2所示、表3，此2表同时列出了石钢所用轴承钢保护渣、成品的对应数据。

表2 结晶器保护渣的化学成分(质量分数) %

企业	SiO_2	Al_2O_3	FeO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	F	H_2O	C
包钢	30.81	4.49	0.72	21.40	2.60	0.52	10.08	3.70		23.61
石钢	33.70	5.32	0.89	21.98	1.65	0.24	0.20	4.62	0.30	19.50

表 3　成品钢水成分(质量分数)　　%

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al
最大	1.05	0.34	0.44	0.025	0.016	1.61	0.029
最小	0.95	0.15	0.28	0.008	0.002	1.45	0.010
平均	1.00	0.25	0.34	0.015	0.004	1.50	0.016
标准	0.95 ~ 1.05	0.15 ~ 0.35	0.25 ~ 0.45	≤0.025	≤0.025	1.40 ~ 1.65	

由表 3 结果看,成品钢水成分满足标准要求。在结晶器处检验了钢中氢含量,结果均 $\leqslant 2.5 \times 10^{-6}$,满足质量计划的要求。

3　轴承钢轧制加热温度

控制炉尾温度 < 700 ℃。炉内风量不能过大,保持微还原性火焰。高线生产线首次用 Φ180 mm 圆管坯试轧 10 支 GCr15,规格 Φ10 mm,熔炼号 10709659,总加热时间控制 3.6 h。预热段时间 1.3 h,平均预热温度: 786 ℃; 加热段时间 1.3 h,加热段温度加上 1 186 ~ 1 216 ℃,加下 1 199 ~ 1 220 ℃; 均热段时间 1 h,温度均上 1 189 ℃,均下 1 154 ℃,钢坯开轧温度 1 020 ± 20 ℃。经测量,GCr15φ10 mm 轴承钢尺寸均在 9.85 ~ 10.15 mm 范围,不圆度均小于 0.24 mm,满足 B 级盘条尺寸精度的要求。

通过调节水量、降低开轧温度和精轧机速度、精轧入口温度,保证吐丝温度 830 ± 20 ℃。对每卷钢进行取样分析,各项技术指标均满足国标的要求。为进一步提高轧制节奏及产量,缩短加热时间,在生产 Φ6.5 mm 盘条时进行了 2.8 h、3.3 h、3.8 h 和 4.5 h 四个不同加热时间的盘条技术指标对比。

目前加热温度控制在 3 h,其中预热段 0.83 h,加热段 1.16 h,均热段 1 h,预热段温度 850 ~ 900 ℃,加热段 1 190 ~ 1 240 ℃,均热段 1 180 ~ 1 200 ℃。开轧温度 1 000 ± 20 ℃。

4　检验

4.1　连铸坯硫印检验

对 Φ180 mm 连铸圆坯逐炉进行硫印检验,结果表明,皮下裂纹均为 0 级,夹杂物均为 1 级,中心裂纹 0 级占 58%,1 级占 42%,中间裂纹 0 级占 98%,1 级占 2%。由检验结果可见,铸坯硫印检验结果良好。

4.2　钢中氧含量

逐炉检测了 255 炉 GCr15 轴承钢的钢中氧含量,最低 6×10^{-6},最高 12×10^{-6}。虽然全部满足国标中 $\leqslant 12 \times 10^{-6}$ 的规定,但包钢 GCr15 轴承钢钢中氧含量大于 10×10^{-6} 的比例占到 66%,据了解石钢、淮钢等企业目前可将转炉轴承钢钢中氧含量稳定控制在 10×10^{-6} 以下,说明包钢在轴承钢生产行业中处于偏下水平,因此包钢轴承钢钢中氧含量控制技术仍有大量研究工作。

对轧制的 255 炉 GCr15 轴承钢逐炉进行了钢中非金属夹杂物夹杂物检验,检验结果表明,255 炉 GCr15 轴承钢钢中非金属夹杂物级别满足国标中 A 类夹杂 ≤2.5 级,B 类夹杂 ≤2.0 级,C 类夹杂 ≤0.5 级,D 类夹杂 ≤1.0 级的要求。所有检验结果均为细系夹杂,未发现粗系夹杂。对轧制的 255 炉 GCr15 轴承钢逐炉进行了钢中碳化物液析检验,结果表明,所有结果均满足国标中直径 ≤60 mm 盘条及圆钢碳化物液析级别 ≤2.0 级,直径 > 60 mm 圆钢碳化物液析级别 ≤2.5 级的规定。对轧制的 255 炉 GCr15 轴承钢逐炉进行了钢中碳化物带状检验,结果表明,所有结果均满足国标中直径 ≤80 mm 盘条及圆钢碳化物带状级别 ≤3.0 级的规定。对轧制的 255 炉 GCr15 轴承钢逐炉进行了钢中显微孔隙检验,均未发现显微孔隙。对轧制的 255 炉 GCr15 轴承钢根据轧制规格逐炉进行了脱碳层检验,结果全部满足标准要求。

4.3　圆钢低倍检验

对 10 炉轴承钢圆钢逐炉进行了低倍检验,结果表明,圆钢中心疏松、一般疏松及偏析均 ≤1.0 级,满足国标中连铸钢中心疏松 ≤1.5 级,一般疏松及偏析均 ≤1.0 级的要求。

4.4　接触疲劳寿命

采用熔炼号为 11601727 轧制的 Φ60 mm 棒材在洛阳轴研股份有限公司(原洛阳轴承研究所)进行了包钢 GCr15 轴承钢接触疲劳寿命检验。试样载荷 4 508 MPa,主轴转速为 2 040 r/min。接触疲劳寿命的计算结果如表 4 所示。包钢目前 GCr15 轴承钢接触疲劳额定寿命 L10 仅比石钢 2005 年电渣

重熔钢的水平略高，但仅为石钢目前转炉 GCr15 轴承钢接触疲劳额定寿命的 63%，说明包钢 GCr15 轴承钢接触疲劳寿命有待进一步提高。

表4 石钢 GCr15 轴承钢接触疲劳寿命 P－N 曲线参数计算结果

钢厂	工艺	斜率/b	额定寿命	中值寿命	特征寿命
石钢	真空脱气钢	2.196 7	$0.301\ 4\times10^7$	$0.710\ 5\times10^7$	$0.839\ 5\times10^7$
	优质真空脱气钢	2.445 3	$0.399\ 9\times10^7$	$0.864\ 0\times10^7$	$1.003\ 7\times10^7$
	电渣重熔钢	2.224 9	$0.511\ 3\times10^7$	$1.192\ 4\times10^7$	$1.406\ 0\times10^7$
	目前转炉	1.597 0	$1.024\ 0\times10^7$	$3.333\ 0\times10^7$	$4.193\ 0\times10^7$
包钢	目前转炉参数	1.744 0	$0.645\ 0\times10^7$	$1.899\ 0\times10^7$	$2.343\ 0\times10^7$

4.5 质量对比

随机抽取包钢 Φ6.5 mm、南钢 Φ6.5 mm、邢钢 Φ6.5 mm 及石钢 Φ14 mm 的 GCr15 轴承钢盘条进行了冶金质量对比，对比结果如表5所示。

表5 不同钢厂轴承钢盘条冶金质量对比

企业	非金属夹杂/级				液析/级	带状/级	孔隙	脱碳层/mm
	A	B	C	D				
包钢	0.5	0.5	0.5	0.5	1	无	无	无
南钢	0.5	1.0	0.5	0.5	无	无	无	无
邢钢	0.5	0.5	0.5	0.5	无	无	无	无
石钢	1.0	1.0	0.5	0.5	1	无	1	无
标准	≤2.5	≤2.0	≤0.5	≤1.0	≤2.0	≤3.0	无	≤0.015

由表5结果可见，包钢 GCr15 轴承钢盘条冶金质量水平与南钢、邢钢及石钢水平相当，但是包钢碳化物液析、碳化物带状有个别稍高一些，这与炼钢原料坯心部碳偏析有关。

5 结束语

采用现有准备条件及制定的工艺制度，包钢可生产出满足国标要求的 GCr15 轴承钢盘条及圆钢。GCr15 轴承钢盘条冶金质量水平与南钢、邢钢及石钢水平相当。目前条件下生产的 GCr15 轴承钢钢中氧含量虽然满足国标中连铸钢 $\leqslant 12\times10^{-6}$ 的要求，但在同类行业中仍处于偏下水平，应采取有效手段控制钢中氧含量。GCr15 轴承钢盘条碳化物带状和液析在同类行业中仍处于偏下水平，只能轧出 B 级精度的产品，炼钢厂需从减少芯部碳偏析着手并且保证原料坯缓冷工艺。

参 考 文 献

[1] 刘浏. 轴承钢产品质量与生产工艺研究 [J]. 河南冶金. 2003，11(3)：11－12.

[2] 韦泽洪，郭元奎. 高碳铬轴承钢 GCrl5 冶炼工艺探索及质量控制 [J]. 河南冶金，2006，14(9)：88－90.

[3] 陈襄武. 钢铁冶金物理化学 [M]. 北京：冶金工业出版社，1990.

[4] GB/T18254—2016，轴承钢标准 [S].