

贵阳特钢 60 t Consteel EAF-LF(VD)-CC 流程生产 GCr15 轴承钢的工艺实践

夏辉华 王翔 袁仁平 周英豪
(贵阳特殊钢有限责任公司, 贵阳 550005)

摘要 通过 Consteel 电弧炉偏心底出钢留渣作业, 熔炼过程温度控制为 1 560 ~ 1 590 °C, 全程泡沫渣冶炼, 出钢时 [P] ≤ 0.010%; LF 时用低碱度复合精炼渣精炼, VD 处理时, 真空度 ≤ 67 Pa, 氩气搅拌 20 min; 150 mm × 150 mm 方坯连铸采用全程保护浇铸和结晶器电磁搅拌, 使贵阳特钢 GCr15 轴承钢中的氧含量为 (5 ~ 11) × 10⁻⁶, 平均氧含量为 9 × 10⁻⁶。

关键词 GCr15 轴承钢 Consteel EAF LF(VD) 氧含量

Process Practice of GCr15 Bearing Steel With 60 t Consteel EAF - LF(VD) - CC Flow Sheet at Guiyang Steel

Xia Huihua, Wang Xiang, Yuan Renping and Zhou Yinghao
(Guiyang Special Steel Co Ltd, Guiyang 550005)

Abstract The P content in molten steel during eccentric bottom tapping of Consteel electric arc furnace was ≤ 0.010% by controlling temperature of molten steel 1 560 ~ 1 590 °C and melting with foaming slag in whole period. The oxygen content in bearing steel produced at Guiyang Steel was (5 ~ 11) × 10⁻⁶, average oxygen content was 9 × 10⁻⁶ by low basicity compound slag refining in ladle furnace, ≤ 67 Pa VD treatment with Ar stirring for 20 min, shield cast in whole period and mold electromagnetic stirring for 150 mm × 150 mm billet casting.

Material Index GCr15 Bearing Steel, Consteel EAF, LF(VD), Oxygen Content

利用电弧炉出钢过程增碳和复合精炼渣调整渣系, 经 VD 处理, 以提高钢水的纯净度。连铸采用低过热度 (20 ± 5) °C、弱冷、全程保护浇铸 + M-EMS + F-EMS 技术, 从而达到改善铸坯低倍组织和提高机械性能的目的。从用户反馈的信息来看, 2005 年生产的 12 000 t GCr15 钢, 其质量全部满足用户要求, 无一例质量异议。

1 GCr15 轴承钢的冶炼设备和工艺

贵阳特钢采用 60 t 超高功率 Consteel 电弧炉 + 60 t LF + VD + CCM (150 mm × 150 mm) 工艺生产 GCr15 轴承钢, LF 主要技术参数见表 1。

表 1 LF 主要技术参数
Table 1 Main technical parameters of LF

项目	参数
额定处理量/t	65
钢包直径/mm	3 125
自由空间/mm	970
变压器容量/MVA	12
升温速度/°C·min ⁻¹	3

1.1 电弧炉

GCr15 轴承钢的标准和内控化学成分列于表 2。

选择优质废钢并配以 30% 左右的优质生铁。前炉留钢量 30 t, 采用 Consteel 连续输料, 增加料层厚度 (700 mm), 以便利用冶炼过程产生的高温废气充分预热钢铁料; 送电并启动 C-O 枪, 5 min 后加入轻烧白云石 2 ~ 3 批, 每批 500 kg, 加石灰 3 ~ 4 批, 每批 500 ~ 1 000 kg。在送电前 5 min 内, 吹氧控制在 1 000 ~ 1 500 m³/h, 输料速度控制在 0.8 ~ 0.9 t/min; 然后根据熔池情况, 吹氧量为 1 500 ~ 3 000 m³/h, 输料速度 0.9 ~ 1.2 t/min。

合理喷碳, 由于前一炉留下大量的高温、高碱度渣, 因而有利于初渣形成; 输料过程中保持熔池温度在 1 560 ~ 1 580 °C, 全程造高碱度泡沫渣, 同时保持冶炼过程中钢水碳含量在 0.20% ~ 0.30%, 以提供良好的脱磷条件和碳氧充分反应。当钢水量达到 90 t 时停止加料, 测温、取样, 如成分、温度达 1 630 °C, [P] ≤ 0.010%, [S] ≤ 0.04% 时即出钢。采用偏心炉底挡渣 (挡渣量 100%) 出

表 2 GCr15 轴承钢的化学成分/%
Table 2 Chemical compositions of GCr15 bearing steel /%

项目	化学成分/%									气体含量/ 10^{-6}	
	C	Si	Mn	Cr	P	S	Cu	Ni	Mo	[O]	[H]
标准	0.95~1.05	0.15~0.35	0.25~0.45	1.40~1.65	≤0.025	≤0.025	≤0.25	≤0.30	≤0.10	≤12	-
到 LF 工位	0.90~0.95	0.10~0.20	0.25~0.35	1.40~1.50	≤0.010	≤0.04	≤0.10	≤0.05	≤0.03	-	-
内控	0.96~1.00	0.20~0.30	0.30~0.35	1.45~1.55	≤0.010	≤0.010	≤0.10	≤0.05	≤0.03	≤10	≤2

钢,在出钢过程中,加入合金和复合精炼渣料同时增碳,出钢量(60±1)t时停止出钢,加入铝块 2×17 kg。

1.2 LF(VD)精炼

采用复合精炼渣(表 3)进行渣系的调整,同时采用快速定氧操作。电弧炉出钢过程中加入合金和复合精炼渣料的同时增碳,以提高钢水的清洁性。出钢完毕,要求其成分达到表 2 要求,温度为 1560 ℃。

到达 LF 工位时,送电加热、吹氩搅拌。根据渣况,加入复合精炼渣进行渣的微调:采用超低碱度还原渣,并确保渣具有良好的流动性。在精炼过程中氩气压力控制在 0.3~0.4 MPa,待渣变白后,取样分析,根据分析结果,进行成分微调。根据定氧情况,喂入适当 Al 线进行沉淀脱氧,将氧含量控制在 5×10^{-6} 以下,温度达到 1600 ℃ 以上时,测温、取样分析。当成分符合工艺要求,温度达到 1600~1610 ℃ 时,进入 VD 工位,真空度 ≤ 67 Pa,吹氩精炼 20 min;破空后,将氩气压力控制在 0.15 MPa 以下进行软吹,软吹氩时间 ≥ 15 min,吊包浇铸。

表 3 复合精炼渣成分/%
Table 3 Ingredient of compound refining slag /%

SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	C	发泡元素
≤12	25~40	30~50	≤5	5~12

1.3 连铸工艺

连铸设备为 Concast 三机三流小方坯连铸机,连铸采用低过热度、弱冷、全程保护浇铸技术:过热度控制在 15~25 ℃,拉速 1.8~2.3 m/min,二冷比水量 0.60~0.65 L/kg,结晶器电磁搅拌电流 390 A,频率 4.5 Hz,凝固末端电磁搅拌电流 200 A,频率 17 Hz,同时为了防止铸坯产生白亮带,FEMS 还采用正反方向搅拌措施。

为防止钢水二次污染,中间包采用镁质涂料并增加烘烤时间,中间包钢水采用双层覆盖渣,钢

包至中间包采用长水口,中间包至结晶器采用内装浸入式水口,所有接点均用氩气密封。

2 连铸坯质量与轧材分析

2.1 连铸坯低倍组织

根据试制一个浇次 5 炉 GCr15 钢 150 mm × 150 mm 方坯连铸低倍检验结果,连铸坯低倍组织均匀细致,表面质量较好,疏松和缩孔均 ≤ 1.0 级、未出现裂纹、皮下气泡和宏观夹杂等缺陷。

2.2 C 偏析

采用 Φ6 mm 钻花,对连铸坯低倍片上从中心到边缘均分 7 个点取样分析,C 偏析指数 ≤ 1.1。

2.3 纯净度

按 GB/T18254-2002 要求对 5 炉 GCr15 钢轧制成 Φ13~48 mm 钢材进行高倍组织检验分析,采用此工艺生产的 GCr15 钢纯净度较高,[O]为 $(5 \sim 11) \times 10^{-6}$,平均 9×10^{-6} ,[S] 0.005%~0.010%, [P] 0.006%~0.010%,尤其是 A 类夹杂和 B 类夹杂中的粗类夹杂以及 C 类夹杂和 D 类夹杂物均为 0~1.0 级。

经公司技术中心对轧材性能的测试,HB 硬度值 197,顶锻检验合格,碳化物液析 ≤ 1.0 级,各项技术指标均达到 GB/T18254-2002 及用户要求。

3 结论

(1) 经过工艺优化,采用出钢过程中增 C、精炼过程中采用复合精炼渣调整渣系以及定氧操作,从而有利于提高钢水的纯净度,贵阳特钢生产的 GCr15 钢中氧含量为 $(5 \sim 11) \times 10^{-6}$ 。

(2) 通过采取低过热度、全程保护浇铸以及应用 M-EMS + F-EMS 复合电磁搅拌技术,可得到低倍组织良好、低夹杂物、低 C 偏析的连铸坯。

夏辉华(1974-),男,助理工程师。1999 年贵州工业大学毕业,从事特殊钢冶炼与工艺技术工作。