

· 工艺技术 ·

120 t BOF-LF-VD-CC 流程生产磨球钢 B2 的工艺实践

丰 年

(山东钢铁股份有限公司莱芜分公司, 莱芜 271104)

摘 要 磨球钢 B2 (/% : 0.75 ~ 0.85C, 0.70 ~ 0.90Mn, ≤ 0.030P, ≤ 0.030S, 0.40 ~ 0.60Cr, ≤ 0.20Ni, ≤ 0.20Cu, 0.010 ~ 0.060Al) 的生产工艺流程为 120 t BOF-LF-VD-180 mm × 220 mm/260 mm × 300 mm 坯 CC。通过转炉枪位及供氧强度控制、转炉留渣量及底吹流量的优化、转炉全铝一次脱氧; LF 精炼渣系精炼渣碱度由 3.44 提高到 4.25、控制 VD 氩气流量, VD 后软吹 ≥ 15 min; 连铸使用整体塞棒包、全保护浇注工艺、钢水 10 ~ 25 °C 过热度操作、使用磨球钢专用保护渣和结晶器电磁搅拌 320 A, 4 Hz 末端 300 A, 10 Hz, 提高了磨球钢铸坯的内部质量, 钢材的各项指标满足标准要求。

关键词 磨球钢 B2 120 t BOF-LF-VD-CC 流程 工艺实践

Process Practice on Grinding Ball Steel B2 by 120 t BOF- LF- VD- CC Flowsheet

Feng Nian

(Laiwu Special Steel Division, Shandong Iron and Steel Corp Ltd, Laiwu 271104)

Abstract The production process flowsheet of grinding ball steel B2 (/% : 0.75 ~ 0.85C, 0.70 ~ 0.90Mn, ≤ 0.030P, ≤ 0.030S, 0.40 ~ 0.60Cr, ≤ 0.20Ni, ≤ 0.20Cu, 0.010 ~ 0.060Al) is 120 t BOF-LF-VD-180 mm × 220 mm/260 mm × 300 mm billet CC. With controlling BOF lance level and oxygen supplying rate, BOF heeling slag amount and optimizing bottom blown rate, and BOF full aluminium deoxidation; increasing LF refining slag basicity from 3.44 to 4.25, controlling VD process argon flow rate and soft blown ≥ 15 min after VD; in casting process with using integral stopper package in ladle, full shielding casting operation and liquid overheating extent 10 ~ 25 °C, using special shielding slag for grinding ball steel and mold electromagnetic stirring 320 A, 4 Hz and finishing electromagnetic stirring 300 A, 10 Hz, the internal quality of slab of grinding ball steel is improved and each index of steel products meets the requirement.

Material Index Grinding Ball Steel B2, 120 t BOF-LF-VD-CC Flowsheet, Process Practice

高碳磨球钢是制作耐磨钢球的主要钢种, 广泛应用于冶金矿山、水泥建材等领域。世界每年钢球的消耗量在 3 000 ~ 5 000 万 t, 其中中国钢球消耗量在 300 ~ 500 万 t, 是钢球消耗大国, 而且南美市场对钢球需求旺盛^[1]。由于用户对球磨机钢球用钢的质量要求十分严格, 且作业环境的恶劣, 要求必须具有较高的纯净度和均匀性, 具有很高的耐磨性, 良好的组织结构和表面质量^[2]。目前国内只有少数特钢企业通过电炉流程大批量的生产。由于转炉流程具有成本优势, 作业效率高优点, 莱钢特钢重点研究开发转炉流程生产球磨机钢球用钢产品质量及过程工艺控制技术, 实现转炉流程优质高效批量化生产球磨机钢球用钢, 其质量达到电炉球磨机钢球用钢水平。

1 工艺流程和技术要求

B2 磨球钢的主要工艺流程为: 铁水预处理 → 600 t 混铁炉 → 120 t 顶底复吹转炉冶炼 → 120 t LF → 120 t VD → 大方坯合金钢连铸 (180 mm × 220 mm/

表 1 B2 钢化学成分/%
Table 1 Chemical composition of steel B2 /%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
0.75 ~ 0.85	0.17 ~ 0.35	0.70 ~ 0.90	≤ 0.030	≤ 0.030	0.40 ~ 0.60	≤ 0.20	≤ 0.20	0.010 ~ 0.060

表 2 B2 钢低倍组织级别要求/级
Table 2 Requirement of raiting of steel B2 macrostructure/rating

一般疏松	中心疏松	锭型偏析	中心偏析
≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 1.5

260 mm × 300 mm) → 热轧圆钢 (Φ70 mm)。

B2 磨球钢的化学成分见表 1, 低倍组织级别见表 2。

2 工艺控制

2.1 转炉冶炼工艺控制

(1) 单渣法高拉碳枪位及供氧强度控制。

转炉采用单渣法高拉碳工艺, 控制转炉喷溅, 减少终点钢水氧化性。吹炼初期, 开吹枪位提高至

1 400 mm,使渣中(FeO)迅速增加,有助于石灰熔化、降低炉渣的黏度,提高成渣速度,确保前期高效脱磷。吹炼中期枪位控制在1 800~2 000 mm控制脱碳速度,维持渣中 TFe 含量保持 16% 以上,使脱磷反应继续快速进行。吹炼后期“冲枪”调渣,枪位控制在1 100~1 300 mm,短时间高低枪位交替作业,避免炉渣返干回磷。高枪位下为保证冲击氧气的搅拌能,采用高压操作,前期 0.85 MPa,3 min 出现溢渣,氧压降至 0.70~0.80 MPa,溢渣结束,氧压提至 0.85 MPa,维持高压至冶炼终点。

(2) 调整转炉留渣量。

高碳钢冶炼时间短,提早形成活跃性的碱性炉渣,才能使得脱磷过程提前^[3]。留渣保证了初渣的高氧化性和碱度,能使前期渣早化,对化渣具有促进作用,为去磷创造良好的条件^[4]。根据前一炉出钢时终点碳含量及过氧化程度,掌握好留渣量的大小,终点碳含量 < 0.20% 不留渣。终点碳 ≥ 0.20% 转炉实施留渣作业,留渣量为 4 t 左右。

(3) 转炉底吹流量的优化。

吹炼期前期底吹流量由 400 m³/h 减少为 270 m³/h,主要为促进前期渣早化,加快成渣速率,避免过大的搅拌强度对前期泡沫渣维持不利,碳氧反应提前,影响去磷、去硫效果。吹炼后期,主要在拉碳前采用强搅,降低终点 TFe 含量。而实际后期返干期未结束,过大的底吹流量增加返干程度,造成调渣困难,拉碳渣化不透,此为一次拉碳率低的主要原因,将底吹流量由 340 m³/h 减少为 270 m³/h。测温取样阶段将底吹流量由 360 m³/h 减少到 220 m³/h。转炉流量的优化前后技术参数见表 3。通过转炉底吹流量的优化调整后终点碳氧积控制在 0.001 8~0.002 8,而且波动范围比调整前更加平稳。

(4) 转炉全铝一次脱氧。

为稳定钢水脱氧效果,提高夹杂去除效果,根据

终点碳和铝含量要求实施转炉动态铝脱氧,要求转炉终点碳控制大于 0.20%,转炉终点磷小于 0.020%,温度控制在 1 570~1 590 ℃。钢芯铝加入量根据转炉终点碳进行动态调整。终点碳 ≥ 0.25%,2.0 kg/吨钢;终点碳 ≥ 0.20%,2.5 kg/吨钢;终点碳 ≤ 0.15%,3.0 kg/吨钢;转炉下渣或过氧化炉次可以适当增加 30~50 kg 钢芯铝。

2.2 LF/VD 过程工艺控制

(1) LF 精炼过程控制。

精炼主要采用碳化钙和碳化硅造渣,采用含 Al₂O₃ 的预熔调渣剂(表 4)替代萤石,再配加一定比例活性石灰,对 LF 精炼渣系进行适当优化调整,调整前后精炼炉渣成分见表 5。精炼渣碱度控制在 4.0~4.5,(TFe + MnO) ≤ 0.5%。精炼白渣形成后一次喂入铝线(根据初炼铝含量)不补喂,保证白渣精炼时间大于 15 min。LF 出站前进行钙处理。

(2) VD 精炼过程控制。

进 VD 抽真空前组织倒渣 1/3~1/2,VD 真空度小于 67 Pa 保持时间 ≥ 15 min。VD 底吹氩气实行分阶段控制。真空度达到 67 Pa 以前,压力 5~10 L/min;真空度 < 67 Pa 保持阶段,流量 40 L/min;破空之前及软吹阶段,压力 5~10 L/min。VD 炉破空之后软吹时间 ≥ 15 min。

2.3 连铸工艺控制

连铸使用整体塞棒包,采用全保护浇注工艺,低过热度恒拉速操作,使用磨球钢专用保护渣,连铸二冷配水采用弱冷工艺,并配合结晶器电磁搅拌技术,取得了良好的连铸效果。

(1) 磨球钢专用保护渣的设计应用。

磨球用钢为高碳钢,连铸生产时浇注温度及浇注拉速较低,高碳钢初始生成的坯壳凝固收缩小,结晶器和凝固坯壳之间的液渣流入通道变得更窄,为了维持适当的结晶器内润滑,渣耗量的保证非常关

表 3 转炉底吹流量优化前后技术参数

Table 3 Technical parameters of BOF bottom blown flow rate before and after optimization

冶炼阶段	调整前底吹流量/ (m ³ ·h ⁻¹)	调整后底吹流量/ (m ³ ·h ⁻¹)	底吹气体
兑铁装料	360	220	N ₂
吹炼前期	400	270	N ₂
吹炼中期	250	220	N ₂
吹炼中后期	250	220	Ar
吹炼后期	340	270	Ar
测温取样	360	220	Ar
点吹	360	220	Ar
出钢	360	220	Ar
溅渣	500	430	N ₂

表 4 预熔调渣剂化学成分/%

Table 4 Ingredient of pre-melt adjusting slag agent / %

Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	H ₂ O
≥50	≤15	25~30	≤8	≤0.5

表 5 优化前后精炼炉渣化学成分和碱度

Table 5 Ingredient and basicity of refining slag before and after optimization

工艺	成分 / %				碱度 (R)	
	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃ (FeO + MnO)		
优化前	48.38	14.05	11.3	19.52	<0.5	3.44
优化后	50.88	11.96	13.7	19.56	<0.5	4.25

键^[5]。保护渣的选择上要确保充分的消耗量及润滑,根据以上保护渣性能指标分析情况,选择低碱度、低粘度的保护渣,为确保保温性能,需要增加保护渣中的游离碳,优化前后磨球钢专用保护渣成分见表6。优化后保护渣中 CaO 含量降低 3.18%,MnO 含量增加 2.34%,Al₂O₃ 含量降低 0.92%,碳含量增加 5.6%,碱度(R)降低 0.17。保护渣熔速较优化前提高了 7 s/1 350 ℃,保护渣熔点降低了 47 ℃,满足了磨球用钢低过热度浇注模式下消耗量及润滑需求(表7)。

(2) 温度和拉速控制。

过热度是影响等轴晶区面积的关键因素之一。过热度高时,柱状晶区便扩大,甚至产生柱状晶搭桥现象,从而形成中心疏松或缩孔,随之产生严重的中心偏析^[6]。

通过对钢包外层采取绝热板保温,顶层采取覆盖剂和碳化稻壳双层保温,控制每炉前后期温差小于 10 ℃,中间包采用全密封模式保证中间包连铸过热度控制在 10 ~ 25 ℃,实现中间包低过热度浇注。

连铸拉速增加,液相穴深度增大,更易形成凝固桥,造成铸坯中心偏析,缩孔缺陷^[7]。降低磨球钢拉速,同时采用不同的断面组合模式下浇注,延长浇注周期,给 LF-VD 充分的处理时间,VD 软吹时间由 10 min 增加到 15 min,使钢水夹杂物有充分的上浮时间,工艺优化前后拉速见表8。通过采取低拉速浇注模式提高铸坯内部质量。

(3) 连铸坯冷却制度的优化。

连铸二冷采用超弱冷工艺,对二冷配水模式进行优化,将配水由弱冷工艺调整成超弱冷工艺,180 mm × 220 mm 铸坯的比水量由 0.40 L/kg 调整为 0.36 L/kg,260 mm × 300 mm 铸坯断面比水量由 0.38 L/kg 调整为 0.34 L/kg,使铸坯的凝固终点向拉矫机机尾延伸,连铸坯出拉矫机时表面温度由 800 ~ 850 ℃ 提高到了 950 ~ 1 000 ℃。优化前后二冷各区水量分布见表9。

(4) 连铸电磁搅拌参数的优化。

对搅拌钢水起决定作用的是感应磁场产生的电磁力,电磁力的大小与搅拌频率和电流强度有关,搅拌不同的钢种所需搅拌工况不同。结晶器末端电磁搅拌可有效降低铸坯中心偏析。莱钢特钢连铸车间通过不断试验摸索出了球磨机钢球用钢最为合理的

表6 优化前后磨球钢 B2 专用保护渣成分和碱度

Table 6 Ingredient and basicity of special shielding slag for grinding ball steel B2 before and after optimization

工艺	渣成分 / %								碱度 (R)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	R ₂ O	F	C	
优化前	29.64	6.18	25.54	2.0	0	6.43	5.17	10.59	0.86
优化后	32.64	5.26	22.36	2.7	2.34	9.48	4.98	16.19	0.69
指标变化	3	-0.92	-3.18	0.7	2.34	3.05	-0.19	5.6	-0.17

注:R₂O-Na₂O, K₂O 碱金属氧化物。

表7 优化前后磨球钢 B2 专用保护渣物理性能指标

Table 7 Index of physical performance of special shielding slag for grinding ball steel B2 before and after optimization

工艺	熔速 (1 350 ℃)/s	粘度(1 300 ℃)/ (Pa · s)	H ₂ O/ %	粒度 (0.15~1)mm	容重/ (g · cm ⁻³)	熔点/ ℃
优化前	31	0.703	0.34	95	0.57	1 124
优化后	38	0.567	0.30	95	0.57	1 077
指标变化	7	-0.136	-0.04	0	0	-47

表8 磨球钢 B2 铸坯优化前后的连铸拉速

Table 8 Casting speed of bloom of grinding ball steel B2 before and after optimization

工艺	断面 (mm × mm)	工作拉速 (m/min)
优化前	180 × 220	1.20 ~ 1.35
	260 × 300	0.65 ~ 0.75
优化后	180 × 220	1.0 ~ 1.20
	260 × 300	0.55 ~ 0.65

表9 优化前后二冷各区水量的分布

Table 9 Distribution of water rate at each secondary cooling zone before and after improvement

二冷区	优化前水量/ (m ³ · h ⁻¹)	优化后水量/ (m ³ · h ⁻¹)	水量变化/ (m ³ · h ⁻¹)
一区	2.20	1.72	-0.48
二区	2.28	1.78	-0.50
三区	1.79	1.40	-0.39
四区	1.14	0.89	-0.25
五区	0.73	0.57	-0.16

表10 磨球钢 B2 铸坯的电磁搅拌参数

Table 10 Parameters of electromagnetic stirring for bloom of grinding ball steel B2

电磁搅拌参数	电流/A	频率/Hz
结晶器电磁搅拌	320	4
末端电磁搅拌	300	10

电缆参数,有效提高了铸坯等轴晶比例。

磨球钢电磁搅拌参数见表10。参数优化前、后连铸坯的低倍组织见图1。

3 质量控制

通过工艺优化后,钢材的低倍组织及非金属夹杂物控制较好(见表11、表12),钢材显微组织为铁素体+珠光体,组织均匀。通过检验未发现肉眼可

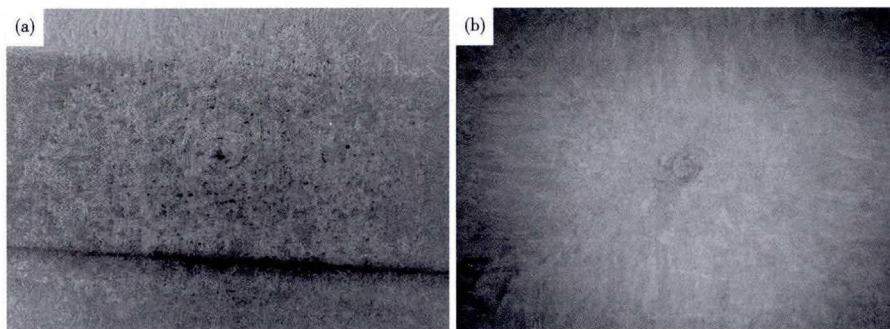


图 1 电磁搅拌参数优化前(a)、后(b)磨球钢 B2 260 mm × 300 mm 的铸坯低倍组织
Fig. 1 Macrostructure morphology of 260 mm × 300 mm casting bloom of grinding ball steel B2 before (a) and after (b) optimization of electromagnetic stirring parameters

表 11 磨球钢 B2 低倍组织级别/级

Table 11 Rating of macrostructure of grinding ball steel B2 products /rating

项目	一般疏松	中心疏松	锭型偏析	中心偏析
标准	≤0.5	≤1.0	≤0	≤1.0
检测值	≤0.5	≤1.0	≤0	≤1.0

表 12 磨球钢 B2 的非金属夹杂物检验级别/级

Table 12 Rating of inspection of nonmetallic inclusions in grinding ball steel B2 products /rating

项目	A		B		C		D	
	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗
标准	≤2.5	≤2.5	≤2.5	≤2.5	≤2.0	≤1.5	≤2.0	≤1.5
检验值	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	0	0	≤0.5	≤0.5

视的白点、残余缩孔、分层、裂纹、气泡、夹杂、夹渣、翻皮、皮下气泡及有害夹杂物。B2 磨球钢材中的非金属夹杂物均≤1.0 级,其中 A、B、C、D 类夹杂物的级别均比较低。磨球钢材晶粒度均稳定在 7~8 级,显微组织较为均匀,无混晶现象。

4 结语

莱钢特钢采用 BOF-LF-VD-CC 工艺流程生产磨

球钢,通过转炉枪位及供氧强度控制、转炉留渣量及底吹流量的优化、转炉全铝一次脱氧、调整 LF 精炼渣系、VD 过程工艺控制;连铸使用整体塞棒包、采用全保护浇注工艺、低过热度恒拉速操作、使用磨球钢专用保护渣、连铸二冷配水采用弱冷工艺、并配合结晶器电磁搅拌技术,提高了磨球钢铸坯的内部质量,钢材的各项指

标检测满足标准要求,开发出了 BOF-LF-VD-CC 工艺流程低成本生产磨球钢的成套技术。

参考文献

[1] 吕纪勇,陈子坤,王忠英,等.高品质耐磨球用钢生产工艺优化[J].现代冶金,2016,44(3):33-36.
 [2] 许兴军,徐胜.大直径锻造矿用耐磨钢球的研制[J].金属热处理,2013,38(1):47-49.
 [3] 李晨晓,毛文文,李宏,等.转炉采用石灰石渣双渣脱磷试验研究[J].炼钢,2016,32(6):11-15.
 [4] 韩宇,张明博,何晴,等.100 t 转炉“留渣+双渣”提钒半钢冶炼低磷钢渣成分控制的工艺实践[J].特殊钢,2017,38(1):31-35.
 [5] 王杏娟,樊亚鹏,朱立光,等.碱度对连铸保护渣结晶率的影响[J].特殊钢,2017,38(2):6-8.
 [6] 蔡开科.连铸坯质量控制[M].北京:冶金工业出版社,2010:30-39.
 [7] 贺洪印,刘海涛.高碳钢小方坯连铸参数优化及铸坯中心偏析的控制[J].钢铁钒钛,2011,32(1):84-88.

丰年(1985-),男,工程师,2008 年武汉科技大学(本科)毕业,炼钢工艺和耐火材料技术。
E-mail:fngnian@163.com

收稿日期:2017-10-05

下期要目

汽车用高强钢 CR1030/1300MS 连铸板坯的热塑性..... 曹晓恩等
 含硫-铝钢 GS35C-A 硫化钙夹杂热力学分析和工艺改进 姬旦旦等
 防止含钛焊丝钢 GF50-G 水口结瘤的生产实践 杨咏阶等
 120 t RH 自然脱碳精炼低碳钢 QD08 的生产实践 李海等
 夹杂物对 TP347H 不锈钢 Φ108 mm × 15 mm 荒管裂纹缺陷的影响和工艺改进 王志军等
 斯太尔摩工艺参数对 72A 盘条氧化铁皮剥离性能的影响 彭玉等
 10B21 合金冷镦钢连铸坯动态连续冷却转变曲线的测定和分析 马立国等
 GCr15 轴承钢 300 mm × 400 mm 连铸坯 180~1 250 °C 加热时间对 Φ60 mm 材带状组织的影响 ... 余雷等