

50 t EAF-LF 冶炼终点 (TPC) 和窄成分 (NCC) 控制技术的应用

王广连 申景霞 王学利 孙永喜 李 猛 翟正龙

(莱芜钢铁股份有限公司特殊钢厂, 莱芜 271105)

摘要 莱钢特钢厂通过 50 t EAF 冶炼终点控制技术 (TPC) 的应用, 稳定了电弧炉钢水终点成分和温度, 减轻或消除了钢水过氧化, 稳定合金回收率, 为 LF 提供了符合要求的钢水。通过 LF 前期、中期和后期的模式化操作, 实现钢水的窄成分控制 (NCC), 使 C 控制偏差 $\pm 0.01\%$ 炉数达到 80%, Mn、Cr 控制偏差 $\pm 0.02\%$ 和 Si 控制偏差 $\pm 0.05\%$ 达 91%; 齿轮钢 $S \leq 0.015\%$ 、 $P \leq 0.025\%$ 、氧含量 $\leq 20 \times 10^{-6}$ 分别达到 96%、97% 和 95%; 轴承钢 $S \leq 0.005\%$ 、 $P \leq 0.020\%$ 、氧含量 $\leq 12 \times 10^{-6}$ 分别达到 95%、97% 和 100%。

关键词 50 t 电弧炉 钢包精炼炉 冶炼终点控制 窄成分控制 齿轮钢 轴承钢

Application of Terminal Process and Narrow Composition Control Technology of 50 t EAF-LF

Wang Guanglian, Shen Jingxia, Wang Xueli, Sun Yongxi, Li Meng and Zhai Zhenglong
(Special Steel Plant, Laiwu Iron and Steel Co Ltd, Laiwu 271105)

Abstract With application of a 50 t EAF steelmaking terminal process control (TPC) at Special Steel Plant, Laiwu Steel, the end composition and temperature of steel and the yield of alloy are constant, and the overoxidation is eliminated or relieved to supply qualified molten steel for LF. With modelling operation in LF earlier, medium and later refining period, the narrow composition control (NCC) of molten steel is realized to get the heats frequency with C control deviation $\pm 0.01\%$ being 80%, Mn, Cr $\pm 0.02\%$ and Si $\pm 0.05\%$ being up to 91%, for gear steel, the heats frequency with $S \leq 0.015\%$, $P \leq 0.025\%$ and oxygen content $\leq 20 \times 10^{-6}$ being respectively up to 96%, 97% and 95%, and for bearing steel with $S \leq 0.005\%$, $P \leq 0.020\%$, oxygen content $\leq 12 \times 10^{-6}$ being respectively up to 95%, 97% and 100%.

Material Index 50 t EAF, LF, Terminal Process Control, Narrow Composition Control, Gear Steel, Bearing Steel

经过多年摸索与实践, 莱芜钢铁股份有限公司 (简称“莱钢”) 特殊钢厂逐渐掌握了 50 t EAF-LF 冶炼终点控制技术 (TPC) 和窄成分控制技术 (NCC)。

1 炼钢工艺流程及窄成分控制要求

外购废钢 + 自循环钢铁料 + 铁水 \rightarrow 50 t EAF \rightarrow 50 t LF \rightarrow CC \rightarrow 热送轧制。主要生产的钢种有

20CrMnTiH 等铬锰钛齿轮钢、Cr-Mo 系列齿轮钢、20Cr ~ 40Cr 合金结构钢 (合结钢)、20 ~ 45 优质碳素结构钢 (优碳钢)、GCr15 轴承钢等。

莱钢特殊钢厂 50 t 电弧炉装备有炉门氧枪 1 座、炉壁氧枪 4 座。LF 的额定处理量为 50 t^[1]。钢类的窄成分控制要求见表 1。

表 1 钢水窄成分控制 (NCC) 目标
Table 1 Aim value of narrow composition control of molten steel

合金元素成分偏差/%					残余元素含量/%				T[O]/10 ⁻⁶		
C	Si	Mn、Cr	Mo、Ti	Cu	Ni	S		P		齿轮钢	轴承钢
						齿轮钢	轴承钢	齿轮钢	轴承钢		
± 0.01	± 0.05	± 0.02	± 0.01	≤ 0.15	≤ 0.10	≤ 0.015	≤ 0.005	≤ 0.025	≤ 0.020	20	12

注: 合金结构钢、优质碳素钢 $S \leq 0.020\%$ 、 $P \leq 0.025\%$, T[O] $\leq 25 \times 10^{-6}$

2 50 t 电弧炉冶炼终点和成分控制

2.1 电弧炉冶炼工艺控制

目前, 入炉钢铁料结构为“废钢 + 大于 50% 铁水”, 其中废钢主要为莱钢自循环废钢铁料, 包括铸坯或钢材切头切尾及废品、铸余渣钢、铁水罐帮及罐铁, 其中渣钢、铁水罐帮及罐铁块度较大; 部分为外

购废钢。

废钢分两次加入, 渣钢、铁水罐帮及罐铁在一次料加入; 二次料中下部配加石灰 30 kg/t 钢, 轻烧白云石 12 kg/t 钢。加入一次料后兑入铁水, 若一次料铁水量偏低, 加入二次料后再兑入适量铁水。

由于铁水兑入量大, 配碳量高, 易氧化元素硅、

锰也高,受选择氧化的影响,常出现熔清碳高、磷高,造成停电脱碳、脱磷;熔清后炉渣粘稠,喷吹氧气渣钢飞溅严重,水冷炉盖粘钢严重,另外亦造成炉沿上涨,炉盖旋转困难。最终体现在钢水终点碳、磷和温度不能同时达到目标要求,影响冶炼周期,造成能量及消耗上升。

稳定的炉料搭配是实现电弧炉稳定冶炼工艺操作的前提条件。目前,莱钢特殊钢厂 50 t 电弧炉每炉铁水兑入量稳定在总装入量的 50% ~ 60%,渣钢 1.5% ~ 3.0%,罐帮罐铁 3.0% ~ 5.0%,余量为外购废钢和铸坯或钢材切头切尾及废品。

留钢量控制在 10 ~ 15 t,稳定控制留钢量的技术措施为:

(1)入炉钢铁料搭配稳定,装入量称量准确。

(2)根据钢包使用次数,确定其容钢量,出钢稳定控制钢包上层操作自由空间,根据预定出钢量,确定装入量。

(3)实际留钢量出现偏少或偏多,及时调整装入量,以稳定下一炉次留钢量。

稳定的留钢量、铁水兑入量、装入量,稳定的用氧供电,可以确保熔清后碳含量为 0.30% ~ 0.80%,磷含量为 0.010% ~ 0.030%。

一次料稳定大比例的留钢量和铁水量,为前期强化用氧和稳定脱硅、去锰、脱碳创造了好的热力学条件。二次料大压力大流量用氧,可以实现钢水中硅近 100% 脱除,控制残余锰含量 0.10% 左右,碳含量 0.30% ~ 0.80%、磷含量 0.010% ~ 0.030%。

2.2 电弧炉成分控制

冶炼终点控制 TPC(Terminal Process Control) 技术在 50 t 电弧炉的应用,稳定了电弧炉终点成分和温度,减轻或消除了钢水过氧化,稳定了合金回收率,为 LF 提供了符合成分和温度要求的钢水,为最终实现钢水窄成分控制奠定了坚实的冶金基础。

典型钢种到精炼炉其主要化学成分控制范围见表 2。

兑入铁水比例达 50% ~ 60%,使钢中残余元素得到充分稀释,降低了残余元素对钢质量的不利影响。

表 2 典型钢种到精炼炉主要化学成分控制范围/%
Table 2 Main chemical composition control range of typical steels at end melting in EAF for LF/%

钢种	C	Si	Mn	Cr
20CrMnTiH	0.10 ~ 0.15	0.10 ~ 0.15	0.75 ~ 0.85	0.95 ~ 1.05
40Cr	0.25 ~ 0.35	0.12 ~ 0.17	0.45 ~ 0.55	0.75 ~ 0.85
45	0.30 ~ 0.40	0.12 ~ 0.17	0.45 ~ 0.55	-
GCr15	0.80 ~ 0.90	0.10 ~ 0.15	0.20 ~ 0.30	1.35 ~ 1.45

目前,钢中残余元素 Cu、Ni 平均含量分别为 0.057% 和 0.036%。

兑入不同铁水比例钢中残余元素 Cu、Ni 含量对比见表 3。

表 3 兑入不同铁水比例钢中残余元素 Cu、Ni 含量对比/%
Table 3 Hot metal charge ratio on residual Cu and Ni content in steel/%

残余元素	兑入铁水比例/%			
	0	20	40	60
Cu	0.13	0.10	0.08	0.05
Ni	0.08	0.06	0.05	0.03

3 50 t LF 精炼成分控制

3.1 精炼前期

钢水到精炼位至取一次分析样,称为精炼前期,时间(12 ~ 18) min。钢水到精炼位后,首先测温,根据温度高低,决定供电功率;其次观察渣况,根据电弧炉终点碳、到位炉渣状况,在规定范围内调整扩散脱氧剂(碳化硅和碳粉)加入量,一般碳化硅加入量 0.2 ~ 0.8 kg/t 钢。

精炼前期在稳定电弧的前提下,氩气流量略大些,氩气工作压力为 0.20 ~ 0.60 MPa;根据到位温度和炉渣状况,及时补加渣料,强化扩散脱氧,达到取样温度时,炉渣流动性良好;当温度和渣况等具备取样分析条件时,停止送电,喂入铝线,控制氩气压力 0.8 ~ 1.2 MPa,充分搅拌 2 ~ 3 min,取一次样全分析。铝线喂入量要确保一次样齿轮钢 Al 含量为 0.020% ~ 0.030%,合结钢、优碳钢 Al 含量为 0.015% ~ 0.025%,轴承钢 Al 含量为 0.060% ~ 0.080%。

3.2 精炼中期

取一次分析样至达到出钢温度调整成分和取成品样,称为精炼中期,时间(12 ~ 18) min。取一次样后,向渣面补加 SiC 0.1 ~ 0.3 kg/t 钢,保持白渣,氩气压力 0.2 ~ 0.4 MPa,标准是电弧稳定,渣面微动,钢液面不裸露。

一次分析样结果报回后,若钢液硫含量高,应适当增加渣量,加强氩气搅拌,强化脱氧,必要时可换渣操作。

一次分析样结果报回后,钢液达到出钢温度时,补加增碳剂(补加量大,适当送电促熔)和合金,控制氩气压力 0.8 ~ 1.2 MPa 充分搅拌 2 ~ 3 min,喂入硅钙线,控制氩气压力 0.4 ~ 0.6 MPa 充分搅拌 2 ~ 3 min,取成品样。

生产铬锰钛齿轮钢,一次分析样结果报回后,钢液达到出钢温度时,补加增碳剂(补加量大,适当送电促熔)和合金,控制氩气压力0.8~1.2 MPa充分搅拌2~3 min,喂入钛芯线后,再喂入硅钙线,控制氩气压力0.4~0.6 MPa充分搅拌2~3 min,取成品样。

若一次分析样结果与规格要求偏差较大,按下限调整成分,取二次样全分析,保持白渣操作,结果返回后,再按规格要求调整成分。

3.3 精炼后期

取成品分析样至出钢,称为精炼后期,时间3~5 min。取成品样后,向渣面补加SiC 0.05~0.15 kg/t钢,保持白渣,不再补加渣料,氩气压力0.2~0.4 MPa,标准是电弧稳定,渣面微动,钢液面不裸露。供电功率以保证炉渣良好的流动性和保持钢水温度不下降即可。

4 NCC 应用分析及效果

TPC技术在50 t电弧炉的应用,稳定了电弧炉终点成分和温度,为LF精炼提供了符合成分和温度要求的钢水,为最终实现钢水窄成分控制奠定了坚实的冶金基础。高铁水比例使钢中残余元素得到充分稀释。

精炼炉前期、中期、后期模式化操作,最终实现钢水窄成分控制。NCC技术应用前后钢水窄成分控制合格率对比见表4。由表4可见,目前C控制偏差 $\pm 0.01\%$ 合格率达到80%;Mo等不易氧化元素控制偏差 $\pm 0.01\%$ 合格率达到90%;Mn、Cr控制偏差 $\pm 0.02\%$ 合格率达到91%;Si控制偏差 $\pm 0.05\%$ 合格率达到91%;Ti控制偏差 $\pm 0.010\%$ 合格率达到86%。

合结钢、优碳钢S含量 $\leq 0.020\%$,P含量 $\leq 0.025\%$ 合格率分别达到96%和95%;齿轮钢S含量 $\leq 0.015\%$,P含量 $\leq 0.025\%$ 合格率分别达到96%和97%;轴承钢S含量 $\leq 0.005\%$,P含量 $\leq 0.020\%$ 合格率分别达到95%和97%。

表4 NCC技术应用前后钢水窄成分控制合格率对比
Table 4 Comparison of qualified ratio of aim composition heats before and after application of NCC

元素	钢种	合格率/%	
		NCC应用前	NCC应用后
C		55	80
Si		62	91
Mn、Cr		56	91
Mo等		70	90
Ti		48	86
Cu		84	99.5
Ni		89	99.5
S	合结钢、优碳钢	78	96
	齿轮钢	73	96
	轴承钢	58	95
P	合结钢、优碳钢	70	95
	齿轮钢	80	97
	轴承钢	87	97
T.O	合结钢、优碳钢	61	95
	齿轮钢	55	95
	轴承钢	95	100

残余元素Cu含量 $\leq 0.15\%$,Ni含量 $\leq 0.10\%$ 合格率均达到99.5%。

合结钢、优碳钢氧含量 $\leq 25 \times 10^{-6}$ 合格率达到95%;齿轮钢氧含量 $\leq 20 \times 10^{-6}$ 合格率达到95%;轴承钢氧含量 $\leq 12 \times 10^{-6}$ 合格率达到100%。

5 结语

莱钢特殊钢厂掌握并应用EAF-LF冶炼终点窄成分控制(TPC-NCC)技术,各控制目标合格率达到80%~100%,提升效果明显。

参考文献

- 1 李法兴,兰新哲,孙永喜,等.莱钢50 t EBT EAF-LF(VD)-CC生产GCr15轴承钢的工艺实践.特殊钢,2006,27(3):57

王广连(1964-),男,高级工程师,莱钢特殊钢厂厂长,《特殊钢》编委,1988年安徽工业大学毕业,从事冶金自动化及冶金技术研究。

收稿日期:2006-10-23

欢迎订阅 2007 年(下半年)《特殊钢》杂志

《特殊钢》是全国特殊钢行业的综合性技术类刊物(双月刊)

邮发代号:38-183

定价:16.00元/期 96.00元/年

全国各地邮局均可订阅(可破订)

2007年上半年如漏订,可汇款至杂志社补订,收款后即寄杂志

地址:湖北省黄石市黄石大道316号新冶钢-大冶特殊钢股份有限公司《特殊钢》杂志社(邮编435001)