

70 t BOF-LF-VD-CC 流程转炉钢氮含量控制的工艺实践

郭志强¹ 颜学勇² 胡守才³

(1 衢州元立金属制品有限公司, 衢州 324000; 2 湖北新冶钢有限公司, 黄石 435001;

3 唐山建龙实业有限公司, 遵化 064200)

摘要 炼钢厂冶炼 20CrMnTi, 45, 40Cr, GCr15 钢的生产流程为 70 t BOF-LF-VD-220 mm × 220 mm CC 工艺。由 22 炉 20CrMnTi, 40Cr 和 45 钢中氮含量分析得出转炉出钢后钢中平均氮含量- [N] 为 21.70×10^{-6} , LF 精炼后平均 [N] 48.95×10^{-6} , 中间包平均 [N] 63.62×10^{-6} 。通过将铁水比从 85% 提高到 92.3%, 控制转炉终点 [P] ≤ 0.008%, 出钢前钢包充氩, LF 精炼快速形成泡沫渣, 渣层厚 100 ~ 120 mm, 防止钢水吸氮, 连铸时采用长水口控制吹氩量等措施, 6 炉 GCr15 钢冶炼结果表明, LF 精炼后 [N] 为 $51.8 \times 10^{-6} \sim 60.2 \times 10^{-6}$, VD 后 [N] $29.1 \times 10^{-6} \sim 33.9 \times 10^{-6}$, 钢材中氮含量为 $31.8 \times 10^{-6} \sim 40.0 \times 10^{-6}$, 满足用户对钢材冷加工的需要。

关键词 转炉钢 氮含量 工艺实践

Practice of Process for Control of Nitrogen Content in Converter Steel Melting by 70 t BOF-LF-VD-CC Flow Sheet

Guo Zhiqiang¹, Yan Xueyong² and Hu Shoucai³

(1 Quzhou Yuanli Metal Products Co Ltd, Quzhou 324000; 2 Hubei Xinyegang Steel Co Ltd, Huangshi 435001;

3 Tangshan Jianlong Industry Co Ltd, Zhunhua 064200)

Abstract The flow sheet for steelmaking steel 20CrMnTi, 0.45C, 40Cr and GCr15 at melting shop is 70 t BOF-LF-VD-220 mm × 220 mm CC process. It is obtained by analysis of 22 heats of steel 20CrMnTi, 40Cr and 0.45C that the average nitrogen content in steel after BOF tapping- [N] is 21.70×10^{-6} , end LF refining the average [N] 48.95×10^{-6} and in tundish the average [N] 63.62×10^{-6} . With increasing hot metal ratio from original 85% to 92.3%, controlling BOF end [P] ≤ 0.008%, ladle filling argon before tapping, quick forming foamed slag in LF refining with slag thickness 100 ~ 120 mm to prevent liquid absorbing nitrogen, using long nozzle and controlling argon blowing rate, the results by melting 6 heats of steel GCr15 show that the [N] at end LF refining is $51.8 \times 10^{-6} \sim 60.2 \times 10^{-6}$, the [N] at end VD is $29.1 \times 10^{-6} \sim 33.9 \times 10^{-6}$, and the nitrogen content in products is $31.8 \times 10^{-6} \sim 40.0 \times 10^{-6}$, all products meet the requirement for cold working.

Material Index Converter Steel, Nitrogen Content, Practice of Process

钢中的氮是由空气、低纯度的氧气、铁水、废钢、合金及增 C 剂带入的。氮在钢中以化合物、固溶体溶质和气体的形式出现。它对钢不良性能的影响主要表现在其含量高时钢材的时效性, 即随着时间的延长, 室温下呈过饱和状态的氮在 α -Fe 中逐渐以 Fe_4N 微细弥散的质点析出, 引起钢质变脆, 从而降低钢的冷加工性能^[1], 例如, 恶化汽车用钢板弯曲、深冲性能, 出现弯曲、深冲开裂及冲碎现象; 恶化棒材、线材的冷拉性能, 出现冷拉脆断现象。

1 工艺过程增氮分析和控制

炼钢过程控制钢中氮含量需要从两方面入手:

- (1) 在降氮工序(转炉和真空)把氮尽可能地降低;
- (2) 在涨氮工序(LF 和连铸)防止过多增氮^[2]。

衢州元立炼钢厂工艺流程为: 70 t 转炉(表 1)-LF 精炼-VD 真空处理-连铸-轧钢(圆棒材)。

炼钢厂 R8 m 弧型连铸机生产 220 mm × 220 mm 铸坯, 主要用来生产 $\Phi 25 \sim 118$ mm 的棒材; 而 160 mm × 160 mm 的铸坯主要用来生产 $\Phi 5.5 \sim 20$ mm 线材。钢厂生产的 45、40Cr、Q195C 棒线材, 有一部分供给用户先冷拉后再上磨床磨光, 或者先冷拉、压扁后再冷弯, 用户在生产过程中时有反应; 太硬, 不好拉或者一拉就断; 也有的用户反应冷拉、压扁时没发现问题, 但在折弯时出现折断现象。经分析, 发现这批材料氮含量均比较高, 在 110×10^{-6} 以上。为此炼钢厂对 2011 年 12 月 9 日至 26 日生产的部分钢种取了工序氮样, 即对转炉出钢合金化后

表 1 转炉工艺参数

Table 1 Process parameter of converter

炉型	公称容量/ t	供氧强度/ [$m^3 \cdot (min \cdot t)^{-1}$]	冶炼周期/ min	平均冷料比/ %
顶吹式	70	4.0	35	15

的钢包样、LF 精炼结束样和中间包钢水样进行了取样,并在专用气体分析仪上进行了氮的分析,结果如表 2 所示。

由表 2 得出,22 炉钢经 LF 精炼过程涨氮平均值为 27.25×10^{-6} ,涨氮最大值为 48.97×10^{-6} (如 1-17055 炉次的 40Cr 钢),是现生产工艺涨氮的主要环节;而从精炼完后到连铸过程涨氮平均值为 14.67×10^{-6} ,涨氮最大值为 30.58×10^{-6} (如 2-22425 炉次的 40Cr 钢),是涨氮的重要环节。

转炉出钢合金化后钢水氮含量平均值为 21.7×10^{-6} ,最大值为 45.86×10^{-6} ,最小值为 11.68×10^{-6} ,粗钢水氮含量平均值比较高,并且不稳定,离散度较大,说明转炉冶炼对氮含量的控制不平稳;LF 精炼完成后的钢水氮含量平均值为 48.95×10^{-6} ,最大值为 68.01×10^{-6} ,转炉钢水到 LF 这个中间工序,其中氮含量已经较高,并且不同炉次涨氮的数值差别也较大,说明 LF 精炼过程对涨氮的控制也不平稳;连铸中间包钢水氮含量的平均值为 63.62×10^{-6} ,最大值为 83.74×10^{-6} (如 1-16966 炉次的 45 钢),最小值为 40.06×10^{-6} ,不同炉次涨氮的数值相差比较大;得出涨氮最小为 2.23×10^{-6} (如 4-17907 炉次的 45 钢),最大为 30.58×10^{-6} ,表

表 2 转炉终点 [C]、[O] 以及各工序 20CrMnTi,40Cr 和 45 钢中的氮含量

Table 2 Converter end [C], [O] and nitrogen content in 20CrMnTi, 40Cr and 0.45C steel at each procedure

炉次	钢种	氧化 终点 [C]/%	转炉 终点 [O]/%	各工序氮含量/ 10^{-6}		
				转炉炉 后钢包	精炼完 成后	连铸中 间包
2-21779	20CrMnTi	0.06	0.048	24.36	45.54	53.36
2-21780	20CrMnTi	0.08	0.042	18.46	33.43	40.06
2-21768	20CrMnTi	0.07	0.044	45.86	62.24	76.53
2-21770	20CrMnTi	0.07	0.045	30.89	49.98	67.67
2-21771	20CrMnTi	0.10	0.038	18.69	42.87	59.73
2-21778	20CrMnTi	0.06	0.051	14.39	45.42	69.43
1-16966	45	0.13	0.036	30.12	67.31	83.74
1-16967	45	0.16	0.031	26.82	65.93	81.08
1-16969	45	0.11	0.037	30.74	51.84	66.70
1-16970	45	0.17	0.032	22.14	55.12	61.79
1-17055	40Cr	0.11	0.038	19.04	68.01	78.70
1-17056	40Cr	0.13	0.035	17.56	41.18	62.07
1-17057	40Cr	0.12	0.035	15.51	50.58	61.68
1-17058	40Cr	0.13	0.033	11.68	44.18	60.97
1-17054	45	0.16	0.030	14.65	57.17	72.32
4-17907	45	0.13	0.037	31.52	59.97	62.20
4-17908	45	0.18	0.032	25.19	55.20	58.47
2-22425	40Cr	0.14	0.033	14.84	44.32	74.90
2-22426	40Cr	0.09	0.036	14.07	32.40	53.63
2-22427	40Cr	0.12	0.034	22.77	30.20	47.21
2-22428	40Cr	0.13	0.033	16.59	27.25	47.74
2-22429	40Cr	0.14	0.032	11.83	46.83	59.63
平均值				21.70	48.95	63.62

明连铸工序对控制涨氮的操作也不平稳。

通过以上数据分析可知,按现行工艺组织生产,转炉、LF 和连铸三大工序的氮含量普遍偏高,且不同炉次之间氮含量的差别比较大,出现了明显的不稳定。因此,要生产出氮含量低且稳定的钢材,在转炉、LF、连铸三大工序均需要加强对钢中氮含量的控制,需进一步降低各工序钢中的氮含量,并且要控制平稳。首先对 GCr15 钢进行优化控制。

主要在转炉、LF、VD 和连铸工序进行工艺控制:

(1) 转炉。适当提高铁水比-适当增加渣量-使用低氮增[C]剂-转炉冶炼过程中影响钢水控氮的其它操作方式。

(2) LF。使用碳化硅进行渣面扩散脱氧-合理供电造渣-适当增加渣量-合理使用氩气-保持炉内微正压。

(3) VD。高真空阶段适当调整氩气流量-保证高真空阶段的保压时间-真空前钢水低的[O]、[S]。

(4) 连铸。钢包、中间包钢水使用覆盖剂覆盖-钢包下水口与长水口之间的缝隙使用石棉垫和氩气密封-开浇炉中间包使用氩气吹扫排空-保证中间包钢水液面稳定,保证钢包水口自开率。

2 生产实践

2.1 转炉

铁水比由通常的 85% 左右提高到 92.3%。提高铁水比不仅减少了含氮废钢的氮的带入量,更主要的是高铁水比使得碳氧反应增加,产生的大量 CO、CO₂ 气体降低了 N₂ 分压,增加了自由表面积,促进了钢水脱氮^[3]。

为了把成品[P]控制在 0.015% 以下,转炉氧化终点磷必须在 0.008% 以下,为此,转炉脱[P]采用了单渣大渣量的操作,在正常的原材料条件下,活性石灰由通常的 45 kg/t 提高到 55 kg/t。转炉吹炼后期,随着钢水含碳量的下降,[C]-[O] 反应逐渐减弱,炉渣泡沫化也随之变弱,渣位降低,防止吸氮能力变弱,此时,如果渣量小,再吹时,氧气把渣面吹开,钢水暴露在炉气中增氮量增大;适当增大渣量,有利于对钢水的覆盖,减少钢水吸氮量。

石墨增碳剂有低[S]、低[N]、质地疏松、熔化快的优点,在出钢时先加入石墨增碳剂,其与高氧势钢水中的[O]反应,产生大量 CO、CO₂ 气体,它们可以去氮,同时也可以阻止空气进入钢包,减轻了出钢过程中钢水吸氮,另外,石墨增碳剂自身带入钢水中的氮也减少。

另外,为防止冶炼过程中吸氮,转炉维持炉内微正压操作。维持炉内正压主要是依靠降罩操作和手动调节 ID 阀(除尘风机阀)来实现,采用此操作方法,配合吹炼后期低枪位,基本实现了吹炼后期炉内微正压工艺,这点可以通过肉眼观察炉口火焰的行为来判断。维护好出钢口,保证转炉出钢时钢流圆整,不散流。日常检查氮气阀门是否有泄漏,保证吹入氧气的纯净度,经验证明,如果氮气阀门泄漏严重,转炉炉后钢包样的钢水氮含量可达 100×10^{-6} 。转炉出钢前打开 Ar 气,排除钢包中的空气,及出钢过程中开大 Ar 气,在钢包净空形成正压,均可以预防钢水吸氮。

2.2 LF

LF 精炼过程增氮的主要因素是:钢液与大气接触、电弧电离、供电制度、供电时间长短^[4]。

精炼前期在液体渣层未完全形成之前,使用碳化硅脱氧,碳化硅中的 [C] 与钢水中较高的 [O] 在钢渣界面反应,产生 CO 和 CO₂ 气体,有利于前期快速形成泡沫渣,有利于埋弧及保持炉内微正压,它可以有效地防止钢液与空气接触,防止钢水吸氮。

精炼前期化渣,使用小功率供电化渣(6 档或者 5 档,电流不超过 23 kA),较大功率供电加热的同时必须造好泡沫渣,做好埋弧工作,防止高温电弧电离空气中的 N₂(注意此时不能采用大流量吹氮),引起钢水快速增氮;另外,为了迅速化渣,操作时往往在精炼中期前后加入过量的萤石,就使终渣偏稀,渣子的粘度小、起泡性能差,弧光四射,钢水增氮严重。因此,在整个精炼过程中要注意控制萤石的用量,防止用过量。电石渣粘度及起泡性能也很差,一旦电石渣形成,钢水吸氮严重,因此,要避免电石渣的形成,当形成电石渣时,要采取措施迅速破解电石渣,

使其恢复正常。

适当增加渣量,加强对钢水的覆盖保护。正常情况下 LF 精炼石灰消耗为 10 ~ 12 kg/t,渣层厚度为 100 ~ 120 mm。渣层过薄,Ar 气稍大时钢水容易裸露吸氮。

在精炼中前期,为加快钢水的传质传热,促进金融化和钢渣之间的物质交换,快速脱氧、脱硫,均匀钢水的温度和成分,Ar 气流量控制得较大一些,但以不产生弧光四射为原则;但在精炼的中后期,造渣、温度、成分基本到位,此时,钢水及渣中的 [O] 已经比较低,渣子变得比较平静,其泡沫化程度也下降,对钢水的覆盖能力也随之下降,Ar 气流量要适当减小,以防钢水裸露造成钢水增氮。软吹过程,也必须控制好 Ar 气流量,吹 Ar 强度以渣面微微波动,钢水不裸露为原则。

精炼过程中,注意调节除尘管道上的开度调节阀,适时调小除尘风量。同时注意关炉门操作,不需要开炉门时及时关闭。另外,要注意钢包口的维护,杜绝残钢、残渣挂在包沿上造成包沿高低不平,影响 LF 炉盖与钢包沿之间的吻合。以上操作的主要目的是在钢包自由空间的上方形成正压,防止空气吸入,造成钢水增氮。

另外,要求转炉到 LF 的钢水初始温度必须达到工艺要求,如果温度过低,意味着在 LF 一开始就要大功率供电,并且供电加热的时间延长,钢水增氮的几率就会增加。

2.3 VD

真空过程中,吹 Ar 总量对脱氮率有一定的影响,在高真空阶段适当开大 Ar 流量,保证裸露足够的钢液面在真空中,提高真空脱氮效果。

真空脱氮相关控制如图 1 所示。

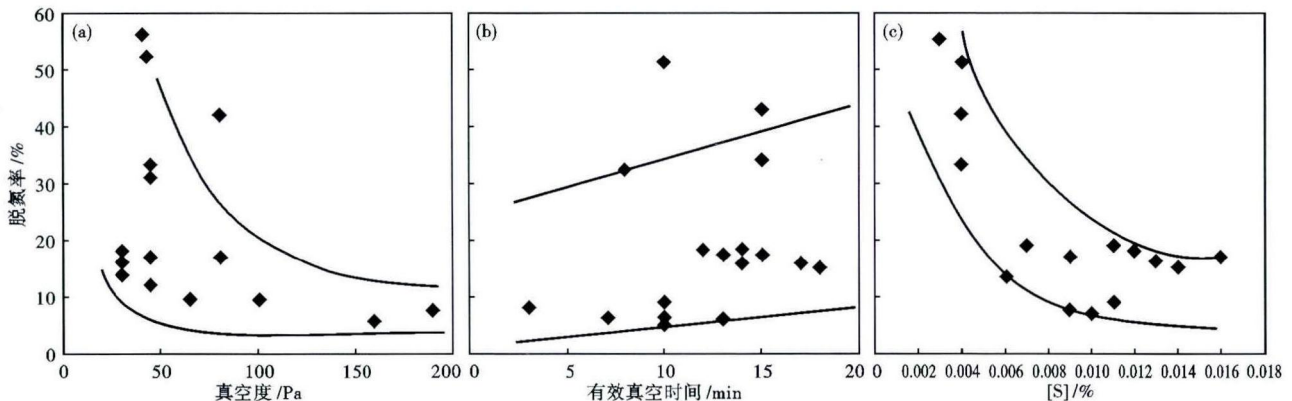


图 1 真空度(a)、真空时间(b)和[S]含量(c)对脱氮率的影响

Fig. 1 Effect of vacuum (a), degassing time (b) and sulfur content in liquid- [S] (c) on denitriding rate of liquid

真空度越高,高真空(≤ 67 Pa)保持时间越长,钢水氮含量越低,当有氮含量要求的钢水进行真空处理时,应有足够的真空保持时间以使脱氮过程能够充分进行,通常保真空时间要 > 15 min,条件允许时 > 20 min [图1(a)和(b)]。

真空脱氮率的高低与钢中[S]高度相关^[5],尽量降低真空前钢水的[S]是获得高的VD脱氮率的关键,VD钢水初始[S]最好降至0.004%以下(图1c)。

2.4 连铸

连铸最大的增氮量一般发生在钢包和中间包之间^[6]。为此,除采用中间包覆盖剂覆盖钢水外,在钢包和中间包之间采用长水口,并在钢包水口和长水口连接处采用氩气和纤维体密封。

控制钢包长水口的吹氩量。实验证明,适当控制吹氩量对减少增氮非常重要。使用长水口而不吹氩时,增氮量为 $8 \times 10^{-6} \sim 16 \times 10^{-6}$;钢包长水口吹氩量过大,增氮量为 $6 \times 10^{-6} \sim 11 \times 10^{-6}$;目前各钢种钢包至中间包钢水增氮量可有效地控制在 $3 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$;因此,吹氩量过小或过大都是不利的。

在长水口和钢包下水口间增加密封垫。该密封垫减少了该间隙形状大小在上下炉之间的不稳定性,能使长水口吹氩达到稳定控制,减少各炉次增氮的波动。

生产实践证明,连铸开浇炉由于钢水进入中间包裸露时间长、面积大,增氮往往较多,为此,在开浇前使用Ar气吹扫中间包,排除中间包内的空气。Ar气一直保持到中间包覆盖剂加入正常。

以连铸节奏为中心,加强生产组织和控制。浇铸过程中,中间包钢液面保持在工作液面高度,使长水口始终淹没在钢液中一定深度,同时在吹完氩的钢包以及中间包内加入足够的覆盖剂,对减少增氮并保持其稳定性是必须的。

保证钢包自开,避免换包时钢液面因引烧氧流造成的中间包液面下降及钢水短暂裸露而引起的钢水增氮。

根据以上控氮的措施要求,2012年5月19日衢州元立炼钢厂生产了6炉GCr15轴承钢,钢材气体检验结果如表3所示。

2012年5月19日生产GCr15 $\Phi 70$ mm棒材中的[N]平均 37×10^{-6} ,最大 40×10^{-6} ,最小 31.8×10^{-6} ,说明转炉、LF、VD、连铸四大工序采取以上相应的控[N]措施后,成品钢材中的氮含量可以稳定

表3 GCr15轴承钢转炉终点[C]、[O]和精炼过程[O]、[N]以及钢材气体含量

Table 3 Converter end [C], end [O], and oxygen content and nitrogen content in steel GCr15 at each procedure

炉号	氧化终点 [C]/%	炉后定[O]/ 10^{-6}	LF/ 10^{-6}		VD/ 10^{-6}		钢材中气体 含量/ 10^{-6}	
			[O]	[N]	[O]	[N]	[O]	[N]
2-26858	0.17	4.0	15.6	60.2	7.0	33.9	8.6	39.7
2-26859	0.15	3.0	16.5	57.3	7.8	32.2	9.1	40.0
2-26860	0.19	5.0	17.1	53.5	8.0	30.7	8.6	32.7
2-26861	0.22	3.0	14.0	59.0	7.2	29.1	8.3	38.0
2-26862	0.10	2.0	18.2	55.4	7.5	28.6	9.6	39.6
2-26863	0.09	4.0	13.7	51.8	6.9	33.0	9.3	31.8
平均值	0.15	3.5	15.9	56.2	7.6	31.3	8.9	37.0

控制在 40×10^{-6} 以下。

3 结论

(1)转炉可增加铁水比、适当增加渣量、使用石墨增碳剂、维持炉内正压、提高氧气纯度和维护好出钢口等措施来生产低氮含量的钢种。

(2)LF可以通过前期使用碳化硅脱氧、合理供电与造渣、适当增加渣量、使用Ar气及保持炉内微正压等措施尽可能减少精炼过程中钢水增氮。

(3)VD真空度在 ≤ 67 Pa下保持时间 ≥ 15 min。在高真空阶段适当调大Ar气流量,真空前的钢水低[S] $\leq 0.004\%$,低氧来提高真空脱氮率。

(4)连铸对吹Ar完成后钢包及中间包的钢水进行覆盖、钢包及中间包之间使用长水口、钢包水口及长水口之间的空隙使用石棉垫及Ar气密封、开浇炉使用Ar气吹扫、稳定中间包钢水液面及提高钢包水口自开率等保护钢液措施,可减轻钢水在浇铸过程的增氮。

(5)工艺改进后生产低氮钢种,钢材成品氮含量下降 20×10^{-6} ,衢州元立炼钢厂使用现有工艺装备可以稳定地生产[N] $\leq 40 \times 10^{-6}$ 的品种钢。

参考文献

- [1] 张岩,张红文. 氧气转炉炼钢工艺与设备[M]. 北京:冶金工业出版社,2010:288-289.
- [2] 张芳. 转炉炼钢500问[M]. 北京:化学工业出版社,2009:405-406.
- [3] 冯捷,张红文. 转炉炼钢生产[M]. 北京:冶金工业出版社,2008:329-330.
- [4] 王华. 钢种氮含量控制技术[J]. 南钢科技与管理,2007(3):19-21.
- [5] 俞海明. 转炉钢水的炉外精炼技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2011:343-344.
- [6] 操志强. 梅钢纯净钢冶炼降低氮含量工艺分析[J]. 梅山科技,2008(3):21-23.

郭志强(1973-),男,硕士(北京科技大学),1997年包头钢铁学院毕业,炼钢工艺和质量控制。

收稿日期:2013-05-17