

S系易切削 Cr-Ni 奥氏体不锈钢精炼工艺的优化和应用

王志刚¹ 王贤才²

(1 上海理工大学, 上海 200093; 2 江西渝州科技学院, 渝州 338000)

摘要 S系易切削奥氏体不锈钢 303CuS₂ (% : ≤0.08C, 8.00 ~ 10.00Ni, 17.00 ~ 19.00Cr, 1.50 ~ 3.50Cu, 0.24 ~ 0.35S) 冶炼的工艺为 60 t EAF-60 t AOD-60 t LF-CC 流程。通过将 AOD 精炼渣的碱度由原先的 2.0 降至 1.6 和控制 AOD 出钢渣量, AOD 出钢的 [S] 由 0.004% ~ 0.006% 提高到 0.008% ~ 0.010%, 并通过喂含 S 量 50% 的 S 线, 控制终点温度, 使 S 的回收率由原先的 30% ~ 50% 提高到 60% ~ 70%, 产品合格率由 85% 提高到 100%。

关键词 硫 Cr-Ni 奥氏体不锈钢 AOD LF 工艺优化

Optimization of Refining Process for S-Series Free-Cutting Cr-Ni Austenite Stainless Steel and Its Application

Wang Zhigang¹ and Wang Xiancai²

(1 Shanghai Science and Technology University, Shanghai 200093;
2 Jiangxi Yuzhou Scientific and Technological Institute, Yuzhou 338000)

Abstract S-series free-cutting austenite stainless steel 303CuS₂ (% : ≤0.08C, 8.00 ~ 10.00Ni, 17.00 ~ 19.00Cr, 1.50 ~ 3.50Cu, 0.24 ~ 0.35S) is smelted by 60 t EAF-60 t AOD-60 t LF-CC flow sheet. With decreasing basicity of AOD refining slag to 1.6 from original 2.0 and controlling AOD tapping slag amount, the [S] in AOD tapping steel increases to 0.008% ~ 0.010% from original 0.004% ~ 0.006%, and with feeding S wire containing 50% S and controlling end temperature, the yield of S increases to 60% ~ 70% from original 30% ~ 50%, the qualified ratio of products raises to 100% from 85%.

Material Index Sulfur, Cr-Ni Austenite Stainless Steel, AOD, LF, Process Optimization

S 对不锈钢的热加工性能有不利的影响^[1], 对于 S 含量较高的 Cr-Ni 奥氏体不锈钢, 如 303CuS₂, 从脱硫的角度来分析, 精炼过程减少炉渣对 S 的吸收, 稳定提高 S 的收得率是关键所在。在不锈钢冶炼中硫的分配系数 (L_s)^[2] 可近似计算如下:

$$L_s = (S) / [S] = K_s \times \{ (CaO) + 1.4(MgO) - 1.86(SiO_2) - 0.55(Al_2O_3) \} / (FeO)$$

式中: K_s - 脱硫反应平衡系数。

AOD 出来的钢水, 以还原渣为主, 其中影响下道工序钢中增硫的因素主要有: (1) 随碱度增加, 降低 γ_s^{2-} , L_s 会随之增大; (2) 温度对脱硫反应本身影响不很大, 但高温能促进石灰的溶解和提高熔渣的流动性, 有利获得高碱度的熔渣; (3) 高碱度渣的渣量的多少, 也直接影响到增硫的效果。

1 精炼 S 系易切削不锈钢的工艺

在 AOD 冶炼时, 由于强吹氧脱碳, 为提高 O₂ 的利用率, 需造渣、需加入大量的 CaO, 以平衡钢渣与钢水间的氧分配。

303CuS₂ 不锈钢 (% : ≤0.08C, ≤1.00Si, ≤

3.00Mn, ≤0.06P, 0.24 ~ 0.35S, 8.00 ~ 10.00Ni, 17.00 ~ 19.00Cr, ≤0.60Mo, 1.50 ~ 3.50Cu) 的生产工艺为 60 t EAF-60 t AOD-60 t LF-CC, 60 t EAF 采用全废钢冶炼。

在实际生产中为了提高 AOD 炉龄, 冶炼过程按一般不锈钢品种操作, 炉渣碱度都控制较高, 出钢渣量得不到控制。按照 AOD 吹炼模型计算 (表 1), 出钢时的钢渣碱度调整至 2.0, 终点温度控制在 1 710 ℃。导致 AOD 还原后钢水 [S] 很低, 生产实践表明, [S] 基本在 0.004% ~ 0.006%。影响下道工序 LF 的喂线回收率, 而且成品 [S] 波动不稳, 影响最终产品合格率。该工艺使 S 线总的喂入量为 1 400 ~ 1 600 m, 且需分次喂入, 过程等待时间长。该钢种的吊包温度在 1 522 ~ 1 527 ℃, 在 LF 的喂线温度需加热到 1 620 ~ 1 630 ℃。

表 1 60 t AOD 精炼工艺参数
Table 1 Process parameters of 60 t AOD

配气比例		终点温度/ ℃	氧枪数/ 支	炉渣碱度
氧化期 O ₂ : N ₂	还原期 O ₂ : Ar			
4:1	1:1	1 710	5	2.0

2 精炼工艺的优化

由AOD吹炼模型计算出来造渣剂的量,再通过合适的碱度模拟计算出还原期加入Si-Fe的量,严格控制渣量,最后钢水回到LF,在控制好成分的同时,根据实际情况,调整好炉渣的流动性,喂入S线至标准。

另外,由于S元素的性质决定了硫加入难,S的回收率不稳定,尤其是高S不锈钢,加硫或微调硫等操作达标后,应尽快吊包,以免出现不正常状况。喂硫线完毕,等待时间长短,对钢中S成分影响很大,这方面必须高度重视。

2.1 控制碱度

根据碱度的计算方法,力争将碱度 $R_2 = (\text{CaO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ 控制在1.6~1.8。在AOD过程中,一方面,氧化期造渣剂(CaO+MgO)的量由3600 kg控制在3000 kg左右;另一方面,还原剂Si-Fe的量控制在900~1100 kg;再控制电弧炉出钢时0.2%~0.3% Si,可以保证碱度在1.6~1.8,AOD出钢后[S]在0.008%~0.010%。

2.2 控制渣量

首先电弧炉出钢时减少进入AOD的渣量,其次就是要控制好AOD造渣使用的造渣剂,这里与控制碱度是一致的,最后保证AOD出钢前要充分流渣,营造好喂硫线的良好气氛——低碱度、少渣量。但是连铸过程中,发现S钢的温降比一般不锈钢的温降速率较快,过热度不易控制,适量的渣量有利于连铸过程的保温,在兼顾两者的基础上,根据AOD冶炼时加入的造渣剂和出钢前的流渣量把钢包渣量控制在2500 kg左右。

2.3 控制温度

严格控制喂线温降,用高硫线代替低硫线,要求硫线的S含量达到50%左右。这样LF硫线喂入量减少到1200 m左右,喂线过程温降控制在40~50℃,喂线温度控制在1580~1590℃,且因AOD还原期不再加入CaO,终点温度可控制在1690℃。

2.4 成分控制

确定AOD造渣剂中Si-Fe加入量和控制AOD出钢[C]在0.04%后,为保证钢液脱氧良好,需控制AOD中O₂的吹入量,应控制电弧炉出钢[C]在0.80%~0.90%和Si在0.20%~0.30%,出钢温

表2 303CuS₂奥氏体不锈钢精炼工艺改进前后炉渣成分、碱度和硫分配系数

Table 2 Ingredient of refining slag, basicity and sulphur distribution coefficient for austenite stainless steel 303CuS₂ before and after improvement of refining process

工艺	炉数	炉渣成分/%								R ₂	Ls/%
		CaO	SiO ₂	MgO	FeO	Al ₂ O ₃	MnO	Cr ₂ O ₃	CaF ₂		
原工艺	4	51.09	29.56	9.21	0.52	2.84	0.24	1.24	2.27	2.04	30~60
改进工艺	10	42.31	33.24	11.54	0.46	3.22	0.35	2.25	3.84	1.62	20~40

度≥1650℃,缩短AOD氧化阶段。并在AOD出钢阶段用适量Al代替Si-Fe脱氧和适量的CaF₂,以改善因MgO含量过高而引起钢渣稠化的现象,工艺改进前后炉渣成分和碱度、硫分配系数见表2。

3 改进效果及经济效益

工艺的改进效果(表3)比较明显:

- (1)产品合格率从原先的85%提高到100%;
- (2)[S]的波动控制在标准范围内,S线收得率从改进前的30%~50%提高到改进后的60%~70%;
- (3)通过工艺改进,1~3月份生产8炉钢的成分100%合格,减少判废量约440 t,303CuS₂如果改判钢种303CuS₁(上等级后的产品价格减去原产品价格)定额损失212元/t,每年可降低成本约25万元。

表3 原工艺和改进工艺效果对比

Table 3 Comparison between original process and improved process effects

工艺	S回收率/%	误差率/%	工艺操作预留时间/min	预留工艺计划预留时间/min	喂线过程温降/℃	喂线次数
原工艺	30~50	15	有	15	70~80	2
改进工艺	60~70	0	无	8	40~50	1

精炼工艺改进以后,不仅可以保证S线回收率能够稳定在一定范围内,而且通过回收率及过程控制的对比,可以找到更合理的生产工艺,以不断提高S线收得率,以达到降本增效的目的。

参考文献

- 1 张 鉴. 炉外精炼的理论与实践. 北京:冶金工业出版社,1999
- 2 刘承志,宋青山. 不锈钢AOD精炼工艺的改进. 特殊钢,2004,25(5):47

王志刚(1983-),男,硕士,2006年武汉科技大学毕业,助理工程师,钢铁冶金工艺。

收稿日期:2009-12-21