

· 工艺技术 ·

20Cr13 不锈钢 25 t VOD-LF 硅脱氧精炼工艺的生产试验

尚大军

(西宁特殊钢股份有限公司炼钢分厂, 西宁 810005)

摘要 试验 20Cr13 不锈钢(%) : 0.20C, 0.37Si, 0.54Mn, 0.030P, 0.002S, 12.22Cr, 0.007Al) 的生产流程为 25 t EAF-VOD-LF-模铸。分析了 [Si] 和炉渣碱度对渣中 (Cr_2O_3) 含量的影响和用硅脱氧工艺炉渣的脱硫效率。结果表明, 20Cr13 不锈钢 VOD-LF 硅脱氧精炼工艺铬的回收率为 99.27%; LF 精炼开始的 [S] 为 0.014%, 精炼结束 [S] 为 0.007%, 能满足实际生产需求; 并可节约铝锭和高碳铬铁, 降低 20Cr13 不锈钢生产成本。

关键词 20Cr13 不锈钢 VOD-LF Si 脱氧精炼 脱硫

Pilot Production of 25 t VOD-LF Silicon Deoxidation Refining Process for Stainless Steel 20Cr13

Shang Dajun

(Steelmaking Division, Xining Special Steel Co Ltd, Xining 810005)

Abstract The production flowsheet of test stainless steel 20Cr13 (%) : 0.20C, 0.37Si, 0.54Mn, 0.030P, 0.002S, 12.22Cr, 0.007Al) is 25 t EAF-VOD-LF-ingot casting. The effect of [Si] and slag basicity on (Cr_2O_3) content in slag and the desulphurization efficiency of slag by silicon deoxidation process have been analyzed. The calcium yield for stainless steel 20Cr13 by VOD-LF with Si deoxidation refining process is 99.27%, the [S] at LF refining beginning is 0.014% and at end refining [S] is 0.007% to meet the requirement of actual production and save the consumption of aluminium ingot and high-carbon ferrochrome and decrease the production cost of stainless steel 20Cr13.

Material Index Stainless Steel 20Cr13, VOD-LF, Si Deoxidation Refining, Desulphurization

20Cr13 不锈钢是一种常见马氏体不锈钢, 适用于制作仪器、阀体、轴泵套、耐蚀刀具、小轴承、家用电器等^[1-2]。20Cr13 不锈钢常采用 VOD 作为精炼, 在真空脱碳后, 对钢液进行脱氧还原及 LF 精炼, 以达到去除钢中夹杂物和提高洁净度的目的^[3-5]。

钢厂采用返回法冶炼 20Cr13 系列不锈钢, 电弧炉冶炼阶段铬回收率可达 90% 以上。但在精炼工序中一直采用二次换渣工艺, 存在渣料量大、生产节奏慢等缺点, 在 VOD 精炼过程中, 吹氧损失的 Cr 因扒渣损失无法回收, 造成回收率较低, 生产成本增加^[6-8]。

有关不锈钢生产精炼工艺优化方面的研究有: 刘剑辉^[9] 等研究了 00Cr13Ni4Mo 超低碳马氏体不锈钢的 VOD 生产工艺, 通过 40 t VOD 确定了合理的冶炼工况, 减少铬氧化; 王鑫潮等^[10-13] 通过冶炼 20Cr13 不锈钢工艺流程发现: 钢液中氧含量随炉渣碱度的增加呈减小的趋势, 钢液中硅含量在 0.3% 以上时脱氧效果明显。

本试验以 20Cr13 不锈钢为对象, 研究分析了 20Cr13 钢硅脱氧精炼工艺, 结合钢厂实际生产, 优化 20Cr13 钢脱氧工艺, 有效降低生产成本, 提高钢

液洁净度。

1 20Cr13 钢的生产工艺

20Cr13 不锈钢的生产工艺流程为: 25 t 电弧炉-VOD-LF-模铸。电弧炉冶炼时间 135 min, 精炼炉冶炼时间 138 min, 冶炼时间低于平均指标, 冶炼效率较好。

1.1 电弧炉

(1) 熔化期: 预先加入石灰 500 kg, 装入钢铁料, 通电时间 80 min 后开始吹氧助熔, 吹氧时氧枪以切割料块为主, 全熔时加石灰 500 kg; 熔化后期氧枪以在渣钢界面处吹为主, 吹氧压力 0.4 ~ 0.5 MPa, 不加入硅铁, 全熔后测温取样。

(2) 氧化期: 钢液温度大于 1580 °C 时吹氧脱碳, 吹氧压力为 0.7 ~ 0.8 MPa, 氧枪以深脱碳为主。不加硅铁, 以全熔试样为依据, 补加高碳铬铁。

(3) 还原期: 钢液主要成分合格后, 加入石灰 500 kg、硅铁 150 kg, (Si 含量控制为 0.2% ~ 0.3%)、C-Si 80 kg, 加入硅钙铝粉。10 min 后, 测温大于 1650 °C 出钢, 取钢包中样品。

1.2 VOD

钢液加入 VOD 后, 对其进行温度调整(要求吹

氧温度 > 1 540 ℃), 抽真空、定枪, 真空度 20 kPa 时吹氧, 吹氧完毕后, 提枪, 要求极真空 10 min 后破真空、先后加入 Si-Fe、Si-Mn、Si-Ca-Al 粉, 试验过程中全程不加 Al, VOD 精炼后将炉渣碱度控制在 1.5 ~ 2.0, 将钢液中 Si 含量按照 0.45% ~ 0.50% 控制, 搅拌 15 min 后加萤石、石灰。采用吹氩气充分搅拌, 通电 10 min 后取 LF 样分析、扒渣, 全程禁止加入铝锭, 渣中大部分 Cr₂O₃ 与 FeO 能被 Si 还原。

1.3 LF 精炼工艺

钢液进入 LF 精炼后, 升温至 1 580 ℃ 并迅速调渣, 微调合金; 在 LF 精炼中加入 CaO 脱硫, 采用吹氩气充分搅拌, 测温取样。加 C 粉调整钢液碳含量, 取样合格后, 采用底吹氩弱搅拌工艺, 测温后吊包至浇铸平台。

1.4 浇铸工艺

进行模铸浇铸前, 清理模铸锭模, 对模铸锭模、底盘进行烘烤; 浇铸时, 根据液相线合理控制浇铸温度, 浇铸过程中采用氩气保护浇注, 防止钢液二次氧化。工艺控制如表 1 所示。

2 结果与分析

冶炼各阶段钢样成分见表 2, 炉渣成分见表 3。

表 1 20Cr13 钢浇铸工艺
Table 1 Casting process of steel 20Cr13

液相线/℃	2 650 kg 锭型过热度控制
1 497	45 ~ 48 ℃

表 2 冶炼各阶段钢样化学成分/%
Table 2 Analysis of steel sample at each stage of steelmaking process /%

冶炼阶段	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al
电弧炉熔清	0.50	0.17	0.23	0.031	0.014	10.85	-
电弧炉过程样	0.70	0.49	0.18	0.031	0.015	12.55	-
电弧炉终点	0.57	0.15	0.17	0.030	0.015	12.25	0.005
VOD 后	0.07	0.31	0.27	0.029	0.014	11.98	0.008
精炼炉-1	0.15	0.17	0.42	0.029	0.014	12.17	0.007
精炼炉-2	0.19	0.27	0.55	0.030	0.010	12.23	0.008
LF 增 C 后	0.21	0.38	0.56	0.030	0.006	12.22	0.007
吊包前	0.20	0.37	0.54	0.030	0.002	12.22	0.007

表 3 冶炼各阶段渣样成分和碱度
Table 3 Ingredient and basicity of slag sample at each stage of steelmaking process

冶炼阶段	组分 /%						碱度 (R)
	FeO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	
电弧炉终点	1.21	42.8	15.52	14.07	5.37	20.67	0.36
VOD 后	0.84	45.79	16.32	12.82	6.71	15.29	0.36
精炼炉-1	0.77	31.01	46.58	7.64	6.02	1.84	1.50
精炼炉-2	1.21	27.99	54.13	6.30	4.73	0.79	1.93
LF 增 C 后	4.26	27.81	50.00	6.93	5.76	1.84	1.80
吊包前	1.92	28.40	54.51	6.20	4.05	0.79	1.92

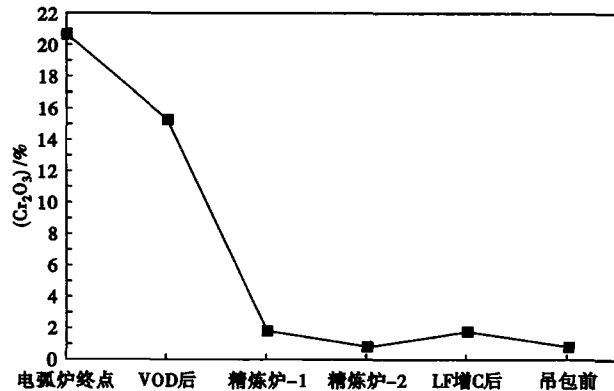


图 1 各冶炼阶段渣中 Cr₂O₃ 含量变化
Fig. 1 Change of Cr₂O₃ content in slag at each steelmaking process

各冶炼阶段渣中 Cr₂O₃ 含量变化见图 1。

2.1 渣中 Cr₂O₃ 含量

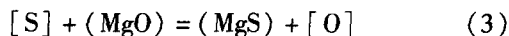
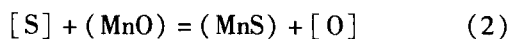
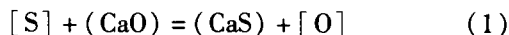
VOD 冶炼完成后, 加入 120 kg 硅铁, 钢液中 Si 理论增加量为 0.35%, 实际增加量仅为 0.16%, 表明一定量的 Si 参与反应被消耗掉。渣中 Cr₂O₃ 含量为 1.84%, 含量小于 2%, 绝大部分 Cr₂O₃ 被 Si 还原进入钢液中, 满足生产需要。

实际生产中 VOD 冶炼 20Cr13 不锈钢时, 为了研究钢液中 Si 含量与炉渣碱度对渣中 Cr₂O₃ 含量的影响, 分析了钢液 Si 含量与炉渣碱度对渣中 Cr₂O₃ 含量的影响, 如图 2(a, b) 所示。

从图 2(a) 可以看出, 钢液 Si 含量与渣中 Cr₂O₃ 含量呈负相关, 随着钢液 Si 含量增加, 炉渣中 Cr₂O₃ 被还原为 Cr 进入钢液, 当钢液 Si 含量保持在 0.2% 左右时, 可保证 Cr 回收率。从图 2(b) 可以看出, 炉渣碱度与渣中 Cr₂O₃ 含量呈负相关。当炉渣碱度大于 1 时, 反应 [Si] + (Cr₂O₃) = (SiO₂) + [Cr] 进行更完全, 渣中 Cr₂O₃ 含量才能更好的被还原。

2.2 炉渣脱硫效率

炉渣的脱硫能力和炉渣中不稳定氧化物关系很大, 相关研究^[14] 表明, 炉渣脱硫占脱硫量的 90%, 气化脱硫约占脱硫的 10%。因此, 精炼过程是以炉渣脱硫为主。根据炉渣分子理论, 碱性氧化渣与金属之间的脱硫反应主要有:



若按照原有冶炼工艺, 在 VOD 后加入 20 kg 铝锭, Al 和 CaO 结合, 被还原的 Ca 与 S 结合生成 CaS。因此, Al 是脱硫的促进剂和稳定剂, 没有较低

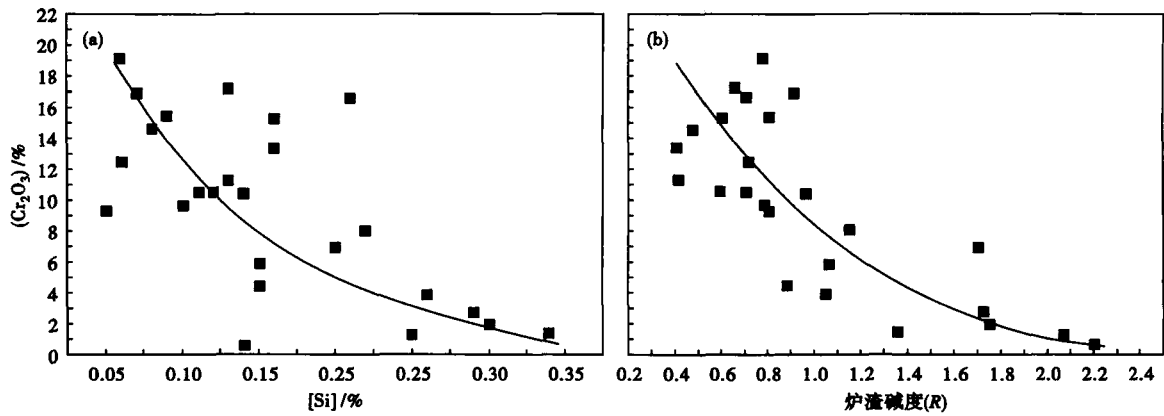


图 2 20Cr13 不锈钢 [Si] (a) 和炉渣碱度 (b) 对 (Cr₂O₃) 的影响
Fig. 2 Effect of stainless steel 20Cr13 [Si] (a) and slag basicity (b) on (Cr₂O₃)

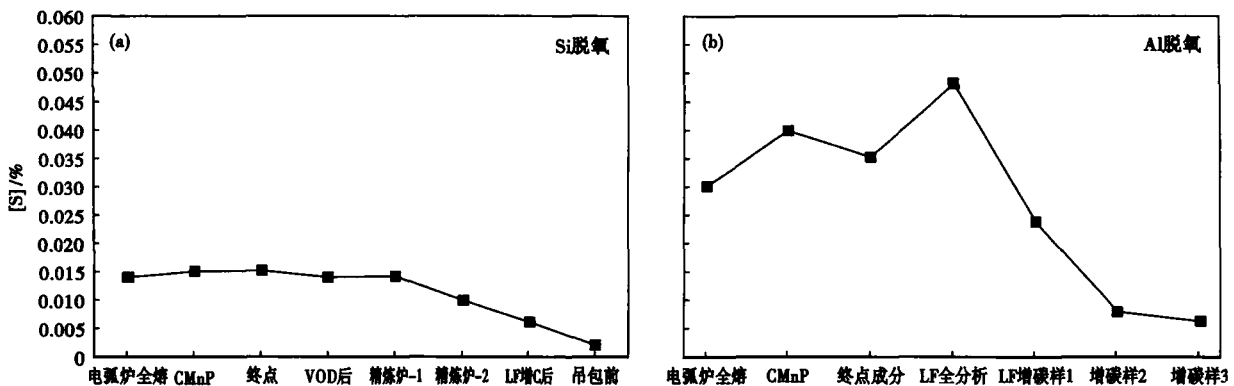
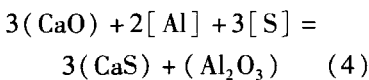
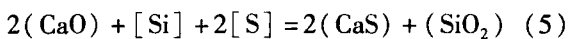


图 3 Si 脱氧 (a) 和 Al 脱氧 (b) 对各阶段 20Cr13 不锈钢 [S] 的影响
Fig. 3 Effect of Si deoxidation (a) and Al deoxidation (b) on each stage refining [S] of stainless steel 20Cr13

的氧含量很难实现大幅度脱硫。一般还原炉渣的脱硫率可达 60%~70%，在冶炼不锈钢用 Al 脱氧工艺时精炼阶段发生的脱硫反应主要如下：



为充分考虑不锈钢的纯净度，避免脱氧产物 Al₂O₃ 与渣中 Cr₂O₃ 生成高熔点难熔化合物，本次试验改用为 Si 脱氧，然后达到脱硫目的，发生的主要反应为：



采用 Si 脱氧工艺试验各阶段 [S] 如图 3(a) 所示，采用 Al 脱氧二次扒渣工艺各阶段 [S] 如图 3(b) 所示。对比图 3(a,b) 可知，钢中 [S] 经过精炼炉后开始大量减少；在精炼炉之前，采用 Al 脱氧二次扒渣工艺钢中 [S] 有增加趋势，而采用 Si 脱氧工艺钢

表 4 20Cr13 钢 Al 脱氧工艺和 Si 脱氧工艺 LF 精炼终点成分/%
Table 4 LF refining end point composition of steel 20Cr13 steelmaking by Al deoxidation process and Si deoxidation process / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al
标准要求	0.18~0.22	0.30~0.40	0.50~0.60	<0.035	<0.015	12.20~12.25	≤0.03
Al 脱氧工艺	0.19	0.38	0.60	0.014	0.007	12.26	0.016
Si 脱氧工艺	0.205	0.38	0.56	0.03	0.006	12.22	0.007

中 [S] 几乎不变。本次 Si 脱氧试验工艺脱硫效率较好，脱硫率为 57.14%，与 Al 脱氧二次扒渣工艺的脱硫效率相当，提高了生产效率。

表 4 和表 5 是两种工艺条件下精炼渣与 LF 终点钢样的成分。Al 脱氧工艺与 Si 脱氧工艺精炼终点成分均能满足标准要求，使用 Si 脱氧工艺精炼终点 Al 含量更低。

2.3 LF 精炼过程 Cr 的回收率

精炼阶段全程加入高碳铬铁为 30 kg，品位 52.66%，钢液量 26 t，理论增 Cr 量为 0.06%。电弧炉终点 [Cr] 为 12.25%，成品 [Cr] 为 12.22%，VOD 吹氧损失 0.24%，VOD + LF 阶段 Cr 的回收率为

表 5 20Cr13 钢 Al 脱氧工艺和 Si 脱氧工艺 LF 精炼终点炉渣组分和碱度

Table 5 Ingredient and basicity of 20Cr13 steel LF refining end slag by Al deoxidation process and Si deoxidation process

脱氧工艺	炉渣组分/%						碱度 (R)
	FeO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	
Al	1.02	33.15	44.61	8.73	4.54	1.37	1.35
Si	0.92	27.58	57.10	4.77	2.60	1.24	2.07

99.27%，试验方案可节约高碳铬铁量 118.5 kg。按照 7 000 元/t 的价格，可节省 829.5 元；节省 Al 锭 20 kg，按照 8 500 元/t 计，可节省 170 元。

3 结论

(1) 20Cr13 不锈钢采用硅脱氧精炼工艺，VOD-

LF 中铬回收率为 99.27%，达到设定目标。

(2) 电弧炉氧化渣拔除完全，VOD 后加入硅铁，使钢液中 [Si] 控制在 0.4% 左右，使之充分反应，吹氧使渣中 Cr₂O₃ 含量降低至 2% 以下，避免形成铬酸钙难熔物。

(3) 试验 LF 精炼工序脱硫率为 57.14%，精炼时间为 138min，能满足实际生产需求。

(4) 试验工艺可节省 Al 锭和高碳铬铁，降低了生产成本。

参考文献

[1] 白鹤,王伯健.马氏体不锈钢成分、工艺和耐蚀性的进展[J].特殊钢,2009,30(2):30-33.

[2] 刘晓,杨吉春,高学中.稀土 2Cr13 不锈钢中夹杂物的热力学分析及试验研究[J].钢铁,2010,45(8):65-69.

[3] 冯凯,徐安军,汪红兵,等.考虑传质能耗的 304 不锈钢电炉冶炼流程最优连浇炉数计算方法[J].工程科学学报,2012,34(9):1084-1090.

[4] 耿凡.底吹电炉不锈钢精炼法的开发[J].钢铁研究学报,1991,30(1):24-31.

[5] 崔家冀,何云龙,Cui Jiayi,等.留钢返回法冶炼 2Cr12Mo1V 不锈钢的工艺探索与实践[J].中国冶金,2014,24(12):36-40.

[6] 董俊,李广田.返回吹氧法冶炼工艺对 Cr13 钢质量的影响[J].特殊钢,2000,21(6):51-53.

[7] Suzuki K,Shiro B Y and Hino M. Deoxidation Equilibrium of Chromium Stainless Steel with Si at the Temperatures from 1823 to 1923 K[J]. ISIJ International,2002,41(8):813-817.

[8] Fritz E. 不锈钢生产技术的发展趋势[J].钢铁,2003,38(5):54-60.

[9] 刘剑辉,朱荣,李士琦,等. VOD 冶炼超低碳马氏体不锈钢[J].北京科技大学学报,2009,31(sl):190-193.

[10] 王鑫潮,游志敏,成国光,等. VOD 炉冶炼 20Cr13 不锈钢硅脱氧工艺[J].钢铁,2014,49(8):31-34.

[11] 任乃飞,张文,王后孝,等.基于正交实验的 20Cr13 板材脉冲激光打孔工艺优化[J].激光与光电子学进展,2016,53(3):164-170.

[12] 张乐辰.高品质 2Cr13 不锈钢关键冶金技术研究[D].北京:北京科技大学,2017.

[13] 张爽.退火工艺对 20Cr13 不锈钢组织与性能的影响[J].中国重型装备,2017,9(3):41-43.

[14] 刘世庆,王安仁.电渣感应熔炼过程中铁水气化脱硫研究[J].过程工程学报,1994,15(3):265-269.

尚大军(1971-),男,工程师,1994 年重庆钢铁高等专科学校(专科)毕业,特殊钢冶炼工艺及质量控制。
E-mail:1447299290@qq.com

收稿日期:2018-09-28

欢迎全国冶金、机械、耐材及相关
行业在《特殊钢》杂志上刊登工艺设备
和技术、产品研发宣传广告