

The Production Practice of Scrap Been Used Smelting Ultra Low Carbon Ferrite Stainless Steel in Medium Frequency Furnace

Jiangbo Yue, Zihong Chen, Tao Du

Research and Development Center of Iron and Steel (Group) Corp., Wuhan Hubei
Email: yuejiangbo@126.com

Received: May 21st, 2016; accepted: Jun. 25th, 2016; published: Jun. 28th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

To use scrap instead of pure iron in intermediate frequency induction furnace smelting ultra low carbon ferrite stainless steel, a variety of scraps were used in ultra low carbon ferrite stainless steel production practice. The results show that, the content of carbon can be reduced to 0.025% by oxygen blowing process, it is necessary condition that silicon content reduced to around 0.005% in oxygen blowing smelting ultra low carbon steel, and it can effectively solve the production problems such as high slag melting point and molten slag crusting by ferrosilicon deoxidation after oxygen blowing, cooperating with the calcium silicon and clay piece of slag modification, making slag basicity 0.8 to 1.2, and lowering initial FeO and Cr₂O₃ content.

Keywords

Medium Frequency Induction Melting Furnace, Steel Scrap, Oxygen Blowing, Ferrite Stainless Steel

中频炉采用废钢冶炼超低碳铁素体不锈钢的生产实践

岳江波, 陈子宏, 杜涛

武汉钢铁(集团)公司研究院, 湖北 武汉
Email: yuejiangbo@126.com

收稿日期：2016年5月21日；录用日期：2016年6月25日；发布日期：2016年6月28日

摘要

为了在中频感应炉利用废钢代替纯铁冶炼出超低碳铁素体不锈钢，采用各种废钢进行了超低碳铁素体不锈钢的生产实践。结果表明，通过吹氧工艺可以使C降低到0.025%；钢中Si含量降低到0.005%是吹氧冶炼超低碳钢的必要条件；吹氧后进行硅铁钢液脱氧，配合硅钙、粘土块熔渣改质，使熔渣碱度变为0.8~1.2，降低初始FeO和Cr₂O₃含量，可以有效解决熔渣熔点高、熔渣结壳等生产难题。

关键词

中频感应炉，废钢，吹氧，铁素体不锈钢

1. 引言

超低碳铁素体不锈钢，与普通铁素体不锈钢相比，要求具有良好的冷加工性能、焊接性和耐蚀性能，钢中C、N含量严重影响着钢的三者性能。降低C、N含量可以降低钢的屈服强度和加工硬化倾向，改善钢的塑性、冷变形性能、和焊接性能；此外降低碳氮含量，钢的耐蚀性显著提高；因此超低碳铁素体不锈钢要求钢中 $C \leq 0.03\%$ 、 $N \leq 0.04\%$ [1]。在中频感应炉(简称中频炉)采用废钢冶炼过程中，废钢等原材料成分复杂多变，同时在冶炼环节存在诸多增碳、增氮环节，严重影响着中频炉生产超低碳铁素体不锈钢的产品质量，中频炉企业往往采用工业纯铁作为原料生产超低碳铁素体不锈钢，成本较采用废钢大幅增加。因此在实践中如果开发出利用废钢冶炼超低碳不锈钢相关工艺，同时分析和解决采用废钢冶炼超低碳铁素体不锈钢存在的问题十分必要。

2. 超低碳铁素体不锈钢的技术要求

铁素体不锈钢0Cr13成分技术要求： $C \leq 0.08\%$ ， $Si \leq 1\%$ ， $Mn \leq 1\%$ ， $P \leq 0.04\%$ ， $S \leq 0.03\%$ ，Cr 12.5%~14.5%， $N \leq 0.04\%$ 。超低碳铁素体不锈钢内控要求 $C \leq 0.03\%$ ，碳含量越低越好。

3. 生产设备与生产工艺

生产设备采用500 kg中频炉，钢水装入量420 kg，炉衬材料采用镁质预制坩埚。炼钢原料采用废钢，废钢主要包括碳素钢、低合金钢、硅钢废料等。合金原料采用微碳铬铁、硅铁、锰铁。熔炼渣采用CaO-CaF₂渣系，按照4:1比例钢水量的2%随炉加入。在生产中需要对钢液进行吹氧脱碳，因500 kg中频炉本体不带吹氧装置，需要配套中频炉作业现场，制作吹氧装置，自制吹氧装置连接高压管道氧气，包括氧气减压阀、手动阀、耐压胶管和吹氧无缝钢管等部件，其中无缝钢管折成120°~135°弯管。

在废钢冶炼超低碳铁素体不锈钢的生产实际中，存在以下几个问题。1) 废钢中碳含量远大于超低碳铁素体不锈钢要求，对钢液进行吹氧脱碳能否降低到0.03%以下，且后续合金化等操作工艺对钢液增碳的影响。2) 铬铁在加入后钢液的烧损和增碳、增氮问题。3) 铬在氧化后形成的铬氧化物熔点高、粘度大，一方面造成钢液大量铬的损失，另一方面极易在中频炉渣线部分结壳，造成生产困难甚至中断。4) 中频炉炉衬烧结层厚度一般较小，吹氧作业极易造成炉衬局部过度和烧穿，造成漏钢事故，同时吹氧作业过程需要操作人员站立在炉口操作，吹氧脱碳过程火花飞溅易造成人员烧伤。

针对存在的问题，制定了中频炉冶炼超低碳铁素体不锈钢的生产工艺，1) 随炉配入底渣；对钢水隔

热保温,防止钢液增氮。2) 钢水熔化后进行取初始样,根据钢中碳含量,制定吹氧时间。3) 吹氧时,首先打开管道阀门,保证吹氧管通畅,然后调整到吹开钢水压力,吹氧管垂直插入钢水后,边吹氧边均匀搅拌,禁止氧管直对炉衬吹氧,吹氧管熔化至一米时,更换吹氧管继续吹氧。4) 吹氧结束后取样分析钢水成分,当碳含量降低到 0.03% 以下后进行扒渣,加入硅铁钢水脱氧后再加入微碳铬铁,同时加入硅钙粉对顶部熔渣表面还原。5) 炉渣颜色变浅后,加入后续合金,合金全部为超低碳合金,防止钢水增碳。6) 取样、测温,合金元素成分合格后,出钢浇注;7) 熔炼过程中所用石灰、萤石、微碳铬铁经过高温烘烤,减少搅拌用钢棒用量,控制一次性纸质测温热电偶测温使用次数,减少钢水增碳。

4. 生产结果及过程分析

中频炉生产铁素体不锈钢过程中严格按照工艺路线操作,共计生产 18 炉,17 炉成分合格,其中 1 炉(炉号 ZP02)碳成分超出超低碳内控标准,改判为普通铁素体不锈钢 0Cr13。对冶炼过程中吹氧降碳工艺过程进行在线炉前取样化验,分别抽取有代表性的四炉冶炼过程数据进行分析。数据见表 1。

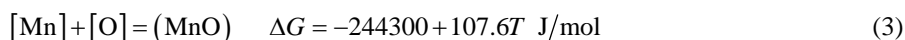
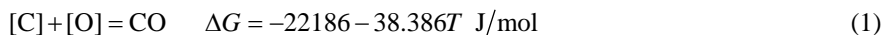
4.1. 吹氧降碳过程分析

在炉号 ZP01 中,当初始钢中 C 0.045%、Si 0.008%、Mn 0.083% 时,吹氧 4 分钟后钢中 C 降低为 0.027%, Si 降低为 0.0035%, Mn 降低为 0.028%。说明此成分下进行吹氧作业发生了 C、Si、Mn 的氧化反应,可以通过吹氧降低钢中碳含量到超低碳的范围。

在炉号 ZP02 中,钢水初始成分 C 0.057%、Si 1.21%、Mn 0.26%,吹氧 8 分钟后,钢中 C 微弱增加到 0.061%, Si 降低到 0.47%, Mn 降低到 0.12%。说明此阶段进行吹氧发生了 Si、Mn 的氧化反应,C 未参与氧化反应,通过吹氧降低钢 C 含量到超低碳的可行性未知。在未采取继续吹氧脱碳的工艺条件下,进行了后续脱氧、合金化任务,造成本炉次碳含量超标。

在炉号 ZP06 中,钢水初始成分 C 0.12%、Si 0.20%、Mn 0.27%,吹氧 6 分钟后,C 降低为 0.035%, Si 降低为 0.0036%, Mn 降低为 0.026%。说明此成分下进行吹氧发生了 C、Si、Mn 的氧化反应;继续吹氧 4 分钟后,C 降低为 0.025%, Si、Mn 几乎未发生变化。说明第二阶段吹氧主要发生了 C 的氧化反应。

在炉号 ZP07 中,钢水初始成分元素含量较低。对钢水吹氧 3 分钟后,钢水中 C、Si 含量并未明显降低,C 含量反而有微弱的增加。说明此成分在此环境下,钢水中碳含量达到了最低值。在吹氧时,C、Si、Mn 降低程度与各自氧化反应的能力直接相关,为了表征三者氧化能力,根据三元素氧化反应化学式(1)~(3)的热力学数据[2],计算出了在 1 atm 大气压下,1600℃时的氧化平衡图,见图 1、图 2。



从图 1 可知,同等含量下,Mn 平衡氧含量最高,氧化能力最弱,C 氧化能力次之,Si 氧化反应能力最强,因此在吹氧时,一般首先氧化 Si。在冶炼超低碳吹氧过程中,要保证 C 含量降低到 0.03% 以下,必须首先降低钢中 Si 含量。图 2 中与 0.03% C 平衡的氧含量为 0.079%,对应 Si 的平衡含量为 0.005% 左右,要保证钢中 C 降低到 0.03% 以下,钢中 Si 要降低到 0.005%。在炉号 ZP06 中当钢中 Si 较低时,继续吹氧,可以降低钢中 C 含量,而炉号 ZP02 中吹氧作业钢中 C 含量未降低。因此在采用废钢冶炼超低碳钢时,根据钢中 C、Si 含量决定吹氧时间,只有当钢中 Si 降低到 0.005% 左右时,在钢中吹氧才能降低到超低碳范围,钢中 Si 降低到 0.005% 是冶炼超低碳钢的必要条件。

Table 1. Date of decarburization process in medium frequency induction furnace
表 1. 中频感应炉吹氧脱碳过程数据

炉号	过程成分	C	Si	Mn	P	S	Cr
ZP01	初始	0.045	0.008	0.083	0.018	0.0110	0.063
	吹氧 4 分钟	0.027	0.0035	0.028	0.015	0.0105	0.060
	成品	0.029	0.450	0.460	0.013	0.0069	12.70
ZP02	初始	0.057	1.210	0.260	0.019	0.0045	0.080
	吹氧 8 分钟	0.061	0.470	0.120	0.018	0.0046	0.073
	成品	0.050	0.620	0.210	0.017	0.0027	14.30
ZP06	初始	0.120	0.200	0.270	0.018	0.0045	0.082
	吹氧 6 分钟	0.035	0.0036	0.026	0.018	0.0049	0.065
	吹氧 4 分钟	0.025	0.0033	0.026	0.017	0.0054	0.062
ZP07	成品	0.029	0.490	0.270	0.015	0.0037	13.38
	初始	0.025	0.004	0.100	0.017	0.0041	0.066
	吹氧 3 分钟	0.026	0.003	0.028	0.017	0.0046	0.060
	成品	0.027	0.530	0.340	0.015	0.0030	13.02

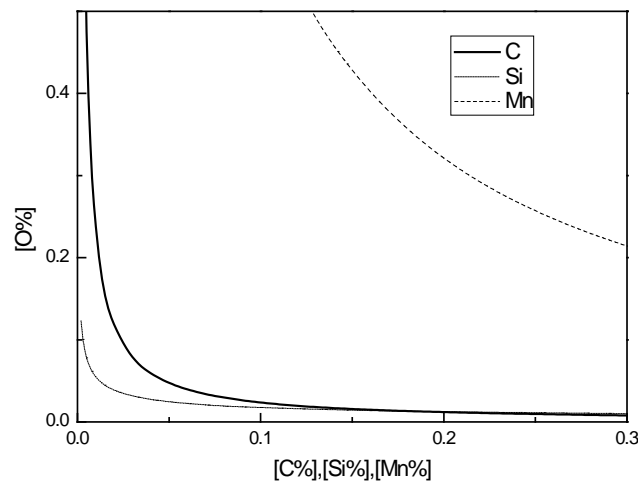


Figure 1. Oxidation equilibrium of carbon, silicon and manganese at 1600°C under 1 atm
图 1. 1 atm、1600°C 时 C、Si、Mn 氧化平衡

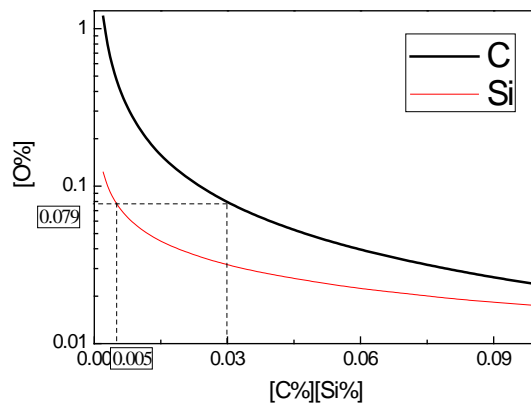


Figure 2. Oxidation equilibrium of 0.03% carbon and silicon at 1600°C under 1 atm
图 2. 1 atm、1600°C 时 0.03% C 和 Si 氧化平衡

4.2. 熔渣改质过程分析

在 MgO 炉衬采用 CaO-CaF₂ 渣系时, 钢水吹氧加入 Cr 后, 熔渣粘度变稠, 熔渣极易结壳, 在进行熔渣改质后, 问题得到解决。研究发现, 部分 Cr 氧化形成 Cr₂O₃, 其熔点 2275℃, 与 CaO 形成的复合物 CaO·Cr₂O₃ 熔点高达 1930℃, 在氧化性顶渣中, Cr₂O₃ 与 FeO 形成的高熔点尖晶石相 FeO·Cr₂O₃ 熔点 1630℃; 这些高熔点高粘度的渣相造成熔渣粘度增大、熔点升高, 极易造成渣顶和炉衬渣线部位结壳, 严重影响了生产顺行。为此, 需要对熔渣进行改质, 改变熔渣组成和物相。在 CaO-SiO₂-Cr₂O₃ 渣系图中[3], w(Cr₂O₃) < 5% 时在 CaO·SiO₂ 附近存在一个低熔点复合相区域, 利用这一特点进行熔渣改质。

具体措施为, 首先对吹氧后氧化性顶渣进行扒渣, 减少渣中 FeO 总量; 加入钢水脱氧剂、硅铁进行钢水脱氧, 脱氧产物通过上浮进入顶渣, 可以降低熔渣碱度; 对熔渣加入硅钙粉进行扩散脱氧, 加入汤道砖、中注管等破碎的粘土块进行熔渣碱度调节。根据相关文献[4], 使熔渣 CaO:SiO₂ 二元碱度保持在 0.8~1.2 之间时可以有效增加熔渣中低熔点橄榄石, 减少高熔点 2CaO·SiO₂。此外控制初始氧化渣中 Cr₂O₃ 小于 5%, 可以避免 FeO·Cr₂O₃ 高熔点尖晶石相的析出。因此通过扒渣、添加粘土块和硅铁脱氧产物上浮, 可以调整渣中碱度在 0.8%~1.2% 之间, 降低初始渣中 Cr₂O₃ 和 FeO 含量; 利用硅钙熔渣脱氧, 可以进一步还原渣中 Cr₂O₃ 和 FeO 到 1% 以下, 一方面大幅提高了 Cr 和后续合金元素的收得率, 减少了钢水夹杂, 另一方面达到熔渣改质的目标, 使生产顺行。

5. 结论

1) 本文在中频感应炉中采用各种废钢作为原料冶炼超低碳铁素体不锈钢, 进行了吹氧降碳和熔渣改质的工艺实践, 结果表明, 通过大气下吹氧工艺, 可以使 C 降低到 0.025%。

2) 钢中 Si 含量降低到 0.005% 是中频炉吹氧冶炼超低碳钢的必要条件。

3) 吹氧后进行硅铁钢液脱氧, 配合硅钙、粘土块熔渣改质, 使熔渣碱度渣变为 0.8~1.2, 降低初始 FeO 和 Cr₂O₃ 含量, 可以有效解决熔渣熔点高、熔渣结壳等生产难题。

参考文献 (References)

- [1] 王振东. 感应炉冶炼工艺技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010: 1-2.
- [2] 朱苗勇. 现代冶金学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005: 167-169.
- [3] 陈家祥. 炼钢常用图表数据手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010: 213.
- [4] 赵小波, 闫威, 陈伟庆. 含 Cr₂O₃ 转炉渣熔化温度的实验研究[J]. 河南冶金, 2013(21): 7-13.

再次投稿您将享受以下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>