

# 铁水罐喷吹脱磷在 400 系不锈钢 70 t AOD 一步法冶炼工艺中的应用

黄云 侯成 郭戌

(北京首钢国际工程技术有限公司炼钢事业部,北京 100043)

**摘要** 不锈钢厂采用铁水罐喷吹脱磷工艺为 70 t AOD 提供优质的低磷铁水冶炼 400 系列不锈钢,取代原电弧炉冶炼环节,实现了新型一步法冶炼不锈钢工艺。生产实践表明,铁水罐喷吹脱磷起始 [P] 为 0.20%,处理后铁水 [P] 为 0.001% ~ 0.010%, [C] ≥ 3.2%, 温度 ≥ 1 320 °C, 完全满足后续 AOD 冶炼 400 系不锈钢的需要,与原 70 t EAF-AOD 流程相比,生产成本大幅降低。

**关键词** 铁水罐喷吹脱磷 AOD 一步法 400 系不锈钢 成本

## Application of Iron Ladle Injecting Dephosphorization of Hot Metal in 70 t AOD 1-Step 400 Series Stainless Steel Steelmaking Process

Huang Yun, Hou Cheng and Guo Xu

(Steelmaking Technology Division, Beijing Shougang International Engineering Technology Co Ltd, Beijing 100043)

**Abstract** The iron ladle injecting dephosphorization process is adopted to supply quality low phosphorus hot metal for a 70 t AOD to melt 400 series stainless steel and replace the EAF melting link at stainless steel works, finally the new 1-step stainless steel steelmaking process is realized. The production practice shows that the initial hot metal [P] is 0.20%, after iron ladle injecting dephosphorization treatment the hot metal [P] is 0.001% ~ 0.010%, the hot metal [C] ≥ 3.2% and temperature ≥ 1 320 °C, it is wholly to meet the requirement for AOD steelmaking 400 series stainless steels, as compared with original 70 t EAF-AOD flowsheet, the production cost reduces greatly.

**Material Index** Injecting Dephosphorization of Hot Metal in Iron Ladle, AOD 1-Step Process, 400 Series Stainless Steels, Production Cost

随着 400 系列不锈钢在日常生活和工业生产领域应用范围的推广,加上 400 系列不锈钢不含镍,使得新型一步法生产 400 系列不锈钢被越来越多的生产企业采用<sup>[1]</sup>。目前国内宝钢、太钢、酒钢、邢钢等不锈钢厂都在应用新型一步法不锈钢生产工艺。

早期的一步法不锈钢冶炼工艺,是指在 1 座电弧炉内完成废钢及合金熔化、脱碳、还原和精炼等工序,将炉料一步冶炼成不锈钢。这种仅用电弧炉冶炼不锈钢的一步法冶炼工艺由于冶炼周期长、生产成本高被逐步淘汰<sup>[2]</sup>。不锈钢生产企业转向采用脱磷铁水代替废钢,将铁水和合金作为原料兑入 AOD 进行不锈钢的冶炼,形成了新型一步法冶炼工艺,与早期一步法相比在生产流程上取消了电弧炉冶炼环节,因此具有投资小、生产成本低、能耗低、钢水纯净度高等优点,非常适合冶炼 400 系列不锈钢。

### 1 新型一步法工艺对铁水脱磷工艺的选择

#### 1.1 一步法原料条件和产品大纲

新型一步法对原料条件和产品大纲都有所限制:一是要求 AOD 入炉铁水磷含量低于 0.02%,因此冶炼流程中必须采用铁水脱磷处理技术;二是不

适用于成分复杂、合金含量高的不锈钢品种。对于 410、420、430 系列钢种由于需配入的铬铁合金量不多,铁水含碳量较高,AOD 吹炼全铁水发生的热量能满足熔化这些合金的要求,AOD 可以直接冶炼出 400 系列不锈钢<sup>[3]</sup>(表 1)。

#### 1.2 铁水脱磷工艺

本文所研究的不锈钢厂(表 2)具备有 3 种不同形式的铁水脱磷工艺,分别是转炉脱磷、电弧炉脱磷和铁水罐喷吹脱磷。

##### 1.2.1 转炉脱磷工艺

不锈钢厂碳钢区配置有一座 80 t 转炉,具备转

表 1 典型 400 系列不锈钢化学成分 / %  
Table 1 Chemical composition of typical 400 series stainless steels / %

钢种	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
410	≤ 0.15	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.035	≤ 0.030	11.5 ~ 13.5	≤ 0.60	-
416	≤ 0.15	≤ 1.00	≤ 1.25	≤ 0.060	≤ 0.060	12 ~ 14	-	≤ 0.60
420J1	0.16 ~ 0.25	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.035	≤ 0.030	12 ~ 14	≤ 0.60	-
430	≤ 0.12	≤ 0.75	≤ 1.00	≤ 0.035	≤ 0.030	16 ~ 18	≤ 0.60	-

表2 不锈钢厂冶炼工艺设施

Table 2 Steelmaking process units at stainless steel works

序号	设施名称	参数	备注
1	炼铁设施		
1.1	1 780 m <sup>3</sup> 高炉/座	2	
2	炼钢设施-碳钢区		
2.1	80 t KR 脱硫站/座	1	
2.2	80 t 转炉/座	1	
2.3	80 t CAS-OB/座	1	
2.4	80 t LF/座	1	
2.5	板坯连铸机/台	1	
3	炼钢设施-不锈钢区		
3.1	70 EAF/座	2	
3.2	70 t 铁水罐喷吹脱磷站/座	2	
3.3	70 t AOD/座	3	(3吹2)
3.4	70 t LF/座	2	
3.5	板坯连铸机/台	1	

炉脱磷条件。转炉脱磷效率高(顶吹+强底吹搅拌),处理时间短,可加块状脱磷剂<sup>[4]</sup>。缺点是转炉用来提供脱磷铁水影响碳钢生产节奏,处理中高磷铁水脱磷时氧气消耗高、脱碳严重, $\Delta[C]$ 一般大于1.5%,对后续AOD全铁水冶炼不利。

### 1.2.2 EAF脱磷工艺

不锈钢厂配置有2台EAF,建设脱磷站以前所有不锈钢产品都采用EAF+AOD工艺。EAF冶炼存在能耗高、噪音大等缺点,而且生产成本居高不下,冶炼400系列产品吨钢成本比其他工艺高出两百多元,产品没有市场竞争力。

### 1.2.3 铁水罐喷吹脱磷工艺

铁水罐喷吹脱磷工艺采用喷枪插入铁水底部喷出CaO粉剂,利用喷吹载气进行搅拌,加强脱磷剂与铁水中磷的反应。脱磷所需氧源可通过顶部加轧钢铁皮,并配以萤石等熔剂,在强搅拌下加速脱磷反应。还可通过氧枪吹氧调节控制铁水温度。由于脱磷在铁水包内化学反应激烈,因此需在铁水罐上部留出适当反应空间。其优势是投资小、处理成本低、处理周期与AOD冶炼周期匹配,脱碳量适中, $\Delta[C]$ 一般小于1.0%,可以保证AOD吹炼全铁水所需的热量。

随着400系列不锈钢产品订单的不断增加,不锈钢厂建设了两套铁水罐喷吹脱磷设施,采用铁水预处理脱磷后的铁水直接兑入AOD进行400系列不锈钢冶炼,实现了全铁水低成本生产400系列不锈钢的工艺,提高了企业产品竞争力。

## 2 铁水罐喷吹脱磷工艺的应用

### 2.1 铁水条件

(1)铁水温度(处理前)~1 300℃;

表3 铁水初始化学成分/%

Table 3 Initial chemical composition of hot metal/%

C	Si	Mn	P	S
4.0~4.5	0.30~0.50	0.3	0.12~0.25	≤0.045

(2)铁水初始化学成分见表3;(3)铁水带渣量≤1.0%;(4)罐内铁水质量平均60 t,最大70 t;(5)铁包净空≥1 200 mm。

### 2.2 脱磷剂物理性能指标要求

选用石灰脱磷剂,氧化铁皮作为固体氧化剂,萤石作为助熔剂,其性能参数见表4和表5。

### 2.3 工艺流程

铁水倾翻车将铁水运输到脱磷处理位,根据铁水罐中含高炉渣渣量情况,确定是否先对铁水进行预扒渣。扒渣后进行测温取样,根据初始铁水成分、温度,设定喷吹相关参数。喷吹处理前期任务主要是脱硅,设定的脱硅时间结束后,调整喷吹参数,进行脱磷处理,喷吹的同时氧枪进行软吹氧,防止铁水温降过大和保证铁渣中高FeO含量。喷吹结束后,对铁水进行扒渣处理。扒渣完成后,铁水车运行到吊包位,天车将铁水兑入AOD进行冶炼。钝化CaO粉用槽罐车采用气力输送的方式输送到储料罐中储存,所需氧化铁皮、萤石块状物料采用皮带输送方式上料。整个工艺流程如图1。

### 2.4 主要工艺技术参数

处理前铁水磷含量0.125~0.25%,硅含量≤0.5%;处理后磷含量≤0.01%,碳含量≥3.2%,铁水温度≥1 320℃;铁水脱磷喷吹时间≤45 min;喷吹速度20~45 kg/min;喷吹压力0.45~0.55 MPa;吹氧强度0.35~0.45 m<sup>3</sup>/(t·min);氧枪工作压力0.75~0.95 MPa;氧枪拉瓦尔孔马赫数0.95。

## 3 应用效果

### 3.1 脱磷工艺指标分析

表4 CaO粉剂和萤石的理化性能指标

Table 4 Physical-chemical properties index of CaO powder and fluorite

脱磷剂	成分/%					CaF <sub>2</sub>	粒度/mm	体积密度/(kg·m <sup>-3</sup> )
	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	P	S			
CaO(粉剂)	>85	<2.5	<2.0	<0.025	<0.050	-	≤1 mm 平均:200 μm	900
萤石	-	-	≤4.5	≤0.010	≤0.013	≥85	5~30	1 000

表5 氧化铁皮理化性能指标

Table 5 Physical-chemical properties index of scale

T. Fe	成分/%					H <sub>2</sub> O	粒度/mm	体积密度/(kg·m <sup>-3</sup> )
	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P	S			
≥65	~57	~40	≤0.82	≤0.029	≤0.056	≤5.0	5~10	2 500

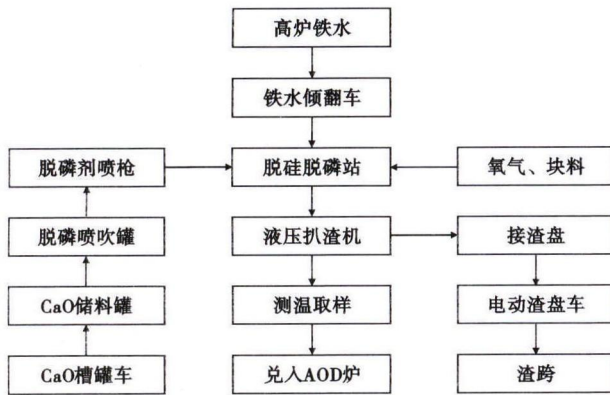


图 1 喷吹脱磷站工艺流程图

Fig. 1 Flowchart of process at injecting dephosphorization station

表 6 3~8 月份铁水罐喷吹脱磷效果

Table 6 Results of iron ladle injecting dephosphorization in March to August

月份	进站铁水成分/%			出站成分/%		进站温度/ ℃	出站温度/ ℃	冶炼周期/ min
	C	Si	P	C	P			
3	4.940	0.350	0.150	3.260	0.009 8	1 301	1 321	72
4	4.860	0.286	0.205	3.314	0.007 4	1 297	1 320	81
5	4.680	0.253	0.215	3.360	0.007 2	1 315	1 340	73
6	4.670	0.390	0.220	3.300	0.005 5	1 313	1 344	72
7	4.650	0.453	0.214	3.220	0.007 0	1 301	1 337	73
8	4.720	0.477	0.185	3.315	0.005 1	1 281	1 345	69
平均	4.750	0.370	0.200	3.290	0.010 0	1 301	1 335	73

表 7 3~8 月份铁水罐喷吹工艺脱磷剂消耗量

Table 7 Consumption of dephosphorization agent in iron ladle injecting process in March to August

月份	脱磷剂消耗量/(kg·t <sup>-1</sup> )			
	CaO	FeO	CaF <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
3	26.94	31.79	3.35	13.16
4	29.22	33.11	6.27	13.82
5	26.54	26.91	4.46	13.43
6	27.29	27.82	3.03	12.92
7	29.22	29.90	3.12	13.64
8	30.71	29.06	2.78	14.51
平均	28.32	29.76	3.84	13.58

钢厂 3~8 月份脱磷站铁水脱磷效果及脱磷剂消耗量见表 6、表 7。从表 6 可以看出,钢厂铁水原始磷含量很高,5 月份平均值达 0.215%,进站温度基本保证在 1 280~1 320 ℃,从处理效果来看,出站铁水平均磷含量 < 0.010%,8 月份出站平均值仅为 0.005 1%,从生产数据来看,最低磷含量可达 0.001%;出站铁水碳含量 > 3.2%,出站温度 > 1 320 ℃,三项指标均满足后续 AOD 对脱磷铁水的要求。从现场实际生产来看,脱磷站处理周期最短可以控制在 60 min 以内,但冶炼考虑到与后续 AOD 冶炼匹配的问题,一般控制在 70~80 min。

表 7 中的脱磷剂石灰、氧化铁皮及萤石单耗与国内相关不锈钢厂比较,虽均高于其他厂,这与铁水

温度、初始硅及磷含量有关。钢厂铁水初始磷含量远高于其他厂,终点磷含量的控制也相对较低,这就是造成脱磷剂消耗量高的原因。从脱磷率来看,钢厂喷吹脱磷前平均初始磷含量 0.20%,终点磷含量 0.010%,喷吹脱磷率达 95%;脱磷值 Δ%P(初始磷减终点磷)为 0.19%。而其他厂脱磷率小于 90%,Δ%P < 0.10%<sup>[5]</sup>。折算成单位脱磷量的消耗指标(单耗/Δ%P)后,钢厂脱除相同百分数的磷所消耗脱磷剂最少。

### 3.2 脱磷成本分析

喷吹脱磷生产成本主要包含脱磷剂的消耗、喷枪消耗、能源介质的消耗、扒渣板消耗、铁损等,从现场生产统计数据来看,目前喷枪使用寿命约 700 min,扒渣板的寿命大于 100 炉,氧气消耗约为 13.58 m<sup>3</sup>/t,喷枪和脱磷剂消耗仍有下降的空间,综合成本比原电弧炉流程降低约 200 元/t。

## 4 结论

(1) 铁水罐喷吹脱磷处理后铁水平均磷含量 ≤ 0.010%,最低磷含量可达 0.001%;出站铁水碳含量 ≥ 3.2%,出站温度 ≥ 1 320 ℃,满足后续 AOD 对入炉铁水的要求。

(2) 采用铁水罐喷吹脱磷工艺提供低磷铁水供 AOD 冶炼 400 系列不锈钢,替代原电弧炉脱磷流程,工艺上可行,成本较电弧炉流程降低约 200 元/t,按年产 20 万 t 规模计算,每年可节约生产成本 4 000 万元。

### 参考文献

- [1] 张友平,周渝生,李肇毅.我国不锈钢生产原料面临的挑战和对策[C].中国金属学会.2008 年全国炼钢-连铸生产学术会议文集.北京,2008 年.
- [2] 伏中泽,史国敏,朱孔林.高炉铁水冶炼不锈钢的新工艺技术[J].上海金属,2006,28(5):14-20.
- [3] 程志旺,许勇.不锈钢冶炼工艺技术[J].特钢技术,2011,17(1):1-3.
- [4] 邹宗树,罗志国.中高磷铁水的冶炼[M].北京:科学出版社,2012:38-42.
- [5] 黄云,张国栋,张德国,等.铁水罐喷吹脱磷工艺在邢钢不锈钢厂的应用[J].工程与技术,2011(2):30-33.

黄云(1970-),男,硕士(2000 年北京科技大学),高级工程师,1993 年中南大学(本科)毕业,炼钢工艺设计研究。

E-mail:hyun\_hy@sina.com

收稿日期:2016-12-05