

内部资料
注意保存

氩-氧吹炼法生产不锈钢

(译文专辑)

新 金 属 材 料 编 辑 部

1974.12 北京

毛主席语录

我们的方针要放在什么基点上？放在自己力量的基点上，叫做自力更生。

古为今用，洋为中用。

凡属我们今天用得着的东西，都应该吸收。但是一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。所谓“全盘西化”的主张，乃是一种错误的观点。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

前 言

在毛主席无产阶级革命路线的指引下，我国不锈钢的生产取得了很大的发展。特别是无产阶级文化大革命以来，不锈钢的产量、品种和质量又有了大幅度的发展和提高。

1968年以来，国外逐渐盛行用氩-氧吹炼法来生产不锈钢，由于它具有一系列的优点，这种方法的发展就很迅速。

我国冶金战线的广大职工，在“十大”精神的鼓舞下，在批林批孔运动的推动下，意气风发，斗志昂扬，破除迷信，解放思想，结合我国生产的实际情况，大力进行试验研究氩-氧吹炼不锈钢的新工艺，以便赶超世界先进水平。

为了适应试验研究工作的需要，我们选译了国外有关氩-氧吹炼不锈钢方面的一部分文献资料，提供有关单位参考。

毛主席教导我们：“外国一切好的经验，好的技术，都要吸收过来，为我所用。学习外国必须同独创精神相结合。”因此，希望读者在参考本专辑时，结合我国生产实际情况，批判地有选择地吸取有益的经验。

由于水平所限，错误在所难免，希望读者批评指正。

目 录

不锈钢精炼技术的最近展望	(1)
东方不锈钢公司50吨氩氧炉的操作	(6)
氩氧精炼炉	(10)
氩-氧脱碳方法的理论和操作	(13)
氩氧精炼(AOD法)与连续铸造配合的优越性	(21)
用氩氧脱碳法生产低碳铬镍奥氏体不锈钢	(24)
不锈钢的Linde Ar-O ₂ 生产法——基础工业中 重要革新的专题研究	(30)
氩氧炼钢炉、顶吹氧气转炉及连续铸锭装置用仪表的选择	(35)
氩-氧法熔炼不锈钢	(46)
AOD: 不锈钢冶炼的重大进展	(48)
Ar-O ₂ 精炼炉(AOD炉)	(51)
不锈钢的Ar-O ₂ 脱碳熔炼法	(53)
在乔斯林的Ar-O ₂ 反应器中制造不锈钢	(55)
1970年12月9—11日在匹兹堡召开的28次电炉会议	(60)
AOD法(氩氧脱碳)	(61)
金属和合金的制备	(62)
脱碳、脱氧和增加合金	(66)
在感应炉中吹入惰性气体	(71)
高铬钢水在减压下的脱碳反应	(76)
关于不锈钢在减压下脱碳机理的研究	(85)
氩氧炉中耐火材料的使用	(94)
AOD转炉的耐火材料问题和操作	(95)
应用热力学促进AOD炉用较好的耐火材料的发展	(108)
降低不锈钢生产成本的新方法	(109)

不锈钢精炼技术的最近展望

绪 言

最近不锈钢的精炼，正从原来的电炉法或转炉法的单一方式，逐渐过渡到与一些二次精炼炉结合的多联方式。

作为这种二次精炼工艺，以VOD（维滕法）和AOD（联合碳化物公司）法最普及，并且也公布了其他诸如ASEA-SKF、RH-OB及乌德霍姆（Uddeholm）法等种种工艺。这些借助于真空或氩等气体稀释而把炉内CO分压保持非常低，使之可能在比较低的温度下，抑制铬的氧化而将炭脱到低炭范围。原来电炉或转炉的一部分精炼过程，则由二次精炼炉来完成，所以不仅大幅度地提高生产率，并且具有不使用高价的低炭铬铁合金，能够生产极低炭不锈钢等许多优点。

以下介绍这些精炼法的特徵，谈谈它们的优缺点。

二次精炼炉的热力学原理

作为钢水含C、Cr浓度及温度与气相中的CO分压之间的平衡式，Hietulog等人的平衡式（1）是有名的。

$$\log(\%Cr) \cdot P_{CO}/(\%C_3) = -15,200/T + 8.66 \quad (1)$$

这里， P_{CO} 是CO分压（大气压），T是钢液温

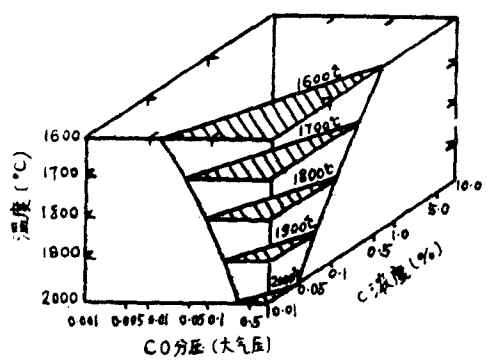


图1 在17%Cr钢中温度—炭浓度—CO分压之间的平衡关系

度（°K）。

就17%Cr的钢水来说，（1）式的关系如图1。例如，在1700°C温度下，对17%Cr钢水进行脱炭时表明在图中所示三角ABC的范围内Cr被氧化。因此，

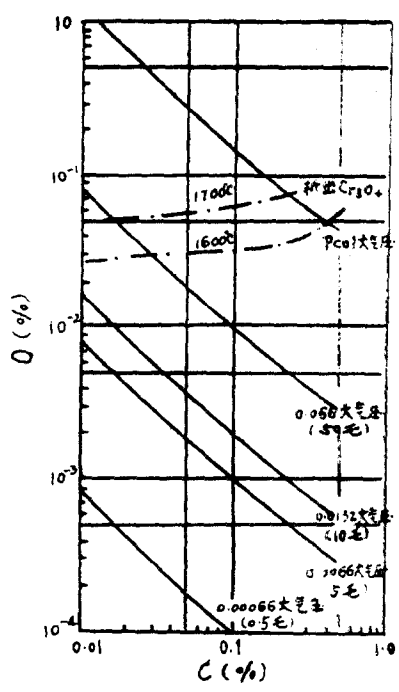


图2 CO分压对于Cr17%钢水中C—O平衡的影响

为要抑制Cr的氧化，最好提高温度来缩小三角形的范围，或者降低 P_{CO} 使脱炭精炼在三角形范围外进行。前者可以在原来的电炉精炼时采用，由于在电炉内把 P_{CO} 控制的很低（ $P_{CO} < 1$ 大气压）是困难的，所以把氧化末期钢水温度保持到2000°C的高温，以阻止Cr的氧化。但是采用这样的方法，液中 Cr_2O_3 浓度达到30~40%，为了还原回收需要使用大量硅合金。

另一方面，构成一组二次精炼炉的真空脱炭法，可以利用后一种方法。借助于保持减压，能够把炉内 P_{CO} 保持在0.01~0.05大气压的低值，因此氧

化精炼中钢水温度即使在 $1700\sim 1750^{\circ}\text{C}$ 下,也不发生Cr的氧化,并且可能把炭脱到 0.01% 的低炭范围。

构成另一组二次精炼炉的气体稀释法,其热力学原理与真空脱炭法完全相同。

与原来的方法比较,目前二次精炼炉的一个特点是钢水中炭和氧浓度的关系。图2表示出,在 $1600\sim 1700^{\circ}\text{C}$ 下的Cr17%钢水含C、 O_2 浓度与气相CO分压的平衡关系。计算时使用了与Schmidt^[2]相同的热力学数据,根据该数据,与规定炭浓度平衡的氧浓度随着 P_{CO} 的降低而降低,使之可能在氧浓度十分低的情况下脱氧。这不仅提高脱氧剂的收得率而且提高了钢材的纯净度,因此,二次精炼炉的优点也可以从质量观点看出来。

真空脱炭法

1. VOD 法

(1) 装置的特点:

本工艺是由西德惠登特殊钢公司和 Standard Messo公司共同研究成功的。图3(a)示出装置的原理图。即把大体上满足规定成分(除C和Si外)的钢水保持在真空的钢包中,在减压下从上面吹入氧气进行脱炭,此时,由装设在钢包底部的多孔塞吹入氩气来实现钢液的搅拌。为了防止脱炭吹炼时的喷溅,在钢包与气密盖之间设置镶有耐火砖的中间盖,而且钢水面至盖的距离十分大。此装置

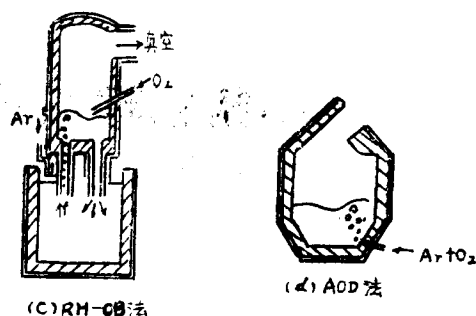
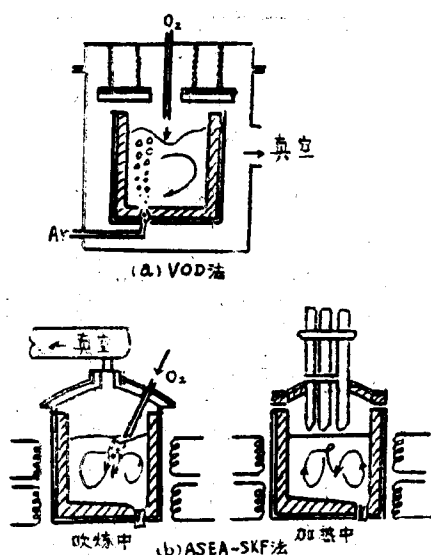


图3 各种二次精炼炉的原理图

具有能在真空下添加合金,取样,测温等的机构,并可以做为一般钢包脱气设备使用。表1列出了VOD工艺设置状况,以供参考。

(2) 精炼的特点:

引用川铁西宫工厂50吨电炉—VOD法的例子来说明。在电炉内氧化吹炼终了炭为 $0.2\sim 0.5\%$ 的50吨钢水,除硅外,其他成分大致调整到规格范围,将约为 1650°C 的钢水倒入衬铬镁系耐火砖的VOD钢包中并移到真空室内。大约减压到50托以后,在规定的吹管条件下开始吹炼。此时钢液面的炉渣愈少愈好。

随着钢水中炭浓度的降低,逐渐提高真空度,吹炼末期达到几个托。如果不设置特殊的加热设备,靠氧化热也能稍稍增加钢液温度。吹炼时吹管条件(高度,流量)随着炭浓度的降低,分成数段转变成软吹。

吹炼过程中脱炭量的变化,应根据真空度和排出气体成分的变化以及钢水成分分析等来判定并决定停吹。随后,在真空或大气下进行脱氧,调整成分以及调整温度,然后从真空室中取出钢包,通过滑动铸口进行浇注。

装备有VOD的许多公司都采用了上述精炼工艺,我们知道通常称为Ele-Vac的方法。很多地方作为一次精炼炉都使用转炉,称之为氧气顶吹转炉—真空精炼法(LD-Vac法),其精炼工艺与电炉—真空精炼法(Ele-Vac法)大致相同。

目前新制钢把原来炉子与VOD法结合的方式是独特的。即:为了既应用电炉的熔化机能又应用转炉高速脱炭的机能,而采用了电炉—转炉—VOD方式成功地提高了生产率。

(3) 质量和收得率:

表 1 VOD 法的设备状况

No	公 司 名 称	国名	开始生产的时间	一 次 熔 化 炉*
1	惠登特殊钢公司, 惠登	西德	1966	LD40吨
2	日新制钢株式会社	日本	1968	LD40吨
3	川崎制铁株式会社, 西宫市	日本	1970	EF60吨
4	日本冶金工业株式会社, 川崎市	日本	1971	EF
5	法格斯塔伯克斯公司	瑞典	1971	50吨
6	日本制钢株式会社, 八幡市	日本	1971	LD60吨
7	弗恩一布朗公司, 谢菲尔德	英国	1971	40吨
8	布莱克门钢铁厂 (凤凰钢厂)	奥地利	1971	EF20/50吨
9	德国联合金属公司	西德	1972	EF40吨
10	住友金属工业株式会社, 尼崎	日本	1972	EF50吨
11	身雷公司	英国	1972	EF20吨
12	西南运输钢厂	西德	1971	EF80/40吨
13	共和钢公司	美国	1972	
14	阿塔拉斯钢公司	加拿大	1972	65吨

* LD 氧气顶吹转炉, EF 电炉。

如果使氧气吹炼了的炭浓度比规格稍高, 并且保持在小于 1 托的真空度下, 则可能借助于钢水中的过剩炭而脱氧, 因此很容易制造出纯净钢。例如 0.07% C、0.02% O₂ 的 18Cr-8Ni 钢水, 经过 10 分钟脱炭氧处理后, 得到 0.04% 炭, 0.01% 氧。因此不必使用铝或钛之类的强脱氧剂 (使用脱氧剂时将有脱氧产物析出), 即可熔炼出十分健全的镇静钢。

在真空下的氩搅拌促进了非金属夹杂物的上浮, 也会显著提高用 Al、Ti 等镇静的不锈钢的纯净度。

不锈钢板的用途大多是薄板, 虽然脱氢的效果并未反映到质量上, 但是能够很容易而廉价地熔制含炭和氮极低的耐蚀性优异的不锈钢是很有意义的。最近川崎钢铁公司研究成功的珠光体 430L 钢就是一例, 不仅具有优异的耐蚀性而且具备优异的成型性。VOD 等精炼法的收得率 和生产率列于表 2。

2. ASEA-SKF 法

(1) 装置的特点:

本工艺是瑞典 ASEA 公司和 SKF 公司共同发明的。不仅用于不锈钢, 而且也适用于各种高级钢的二次精炼。

如图 3 (b) 所示装置的原理图, 设有低频电磁搅拌器进行钢水搅拌, 并有电弧加热的装置, 具有可加热钢水等特点的钢包式真空处理设备。设备中

表 2 各种精炼法的收得率 和生产率

公司名称	工 艺	金属收得率 (%)	Cr 收得率 (%)	炼钢时间 (分)	钢 种	引用文献
川 铁	电 炉 VOD 全	99 99 98	95 98 93	200 90 290	304, 430	
日新制钢	电 炉 转 炉 VOD 全	>99 >99 98	 94	180 45 55 280	304, 430	4
Allegheny 阿·勒德隆钢 公司	电 炉 ASEA-SKF 全	93 98 91	94 98 93	360 150 510	304	5
日 新 铁	转 炉 RH 全	93 98 91	94 98 93	 80	430	6
乔斯特不锈钢	电 炉 AOD 全	98	97	150 90 240	304, 430	12
斯帕里钢厂	电 炉 AOD 全	98 88	>98		304, 430	8
联合碳化物公 司的报告	电 炉 AOD 全	 95	 95.8	160 107 280	304	11

设置吹氧的装置, 保持有与前 VOD 法相同的脱炭机能, 可以作为不锈钢二次精炼炉使用。

(2) 精炼的特点:

美国 Allegheny Ludlum 公司把这种方法称作 Allegheny 真空精炼 (通称 AVR), 主要用来生产 Ni 系不锈钢。精炼的特点如下。

在 80 吨电炉上, 氧化精炼终了使炭含量达到 0.6% 的 19% Cr-9% Ni-0.012% S 的钢水, 在 1600°C 转移到 ASEA-SKF 炉中。把炉内压力降到 140~170 托后, 通过浸在钢液下的多孔式螺旋喷枪开始吹炼, 随着脱炭逐渐降低炉内压力, 吹炼终了时的压力为 1 托, 钢液温度为 1720°C。

随后, 为了回收氧化铬, 在真空下加入还原剂, 同时通过装在包底部的多孔塞子吹入氩气促进渣化, 吹氧终了炭浓度为 0.05~0.07% 时, 钢中铬约氧化 0.75%, 但通过还原回收将有一部分返回到钢中。但是, 几乎无脱硫效果, 硫浓度高达 0.01%。

(3) 质量和收得率:

质量上的优点与VOD法相同,表2指出收得率和生产率。

3. RH-OB 法

(1) 装置的特点:

由于西德的莱茵钢铁公司和海劳斯公司共同发明的循环式钢包脱气装置,作为大产量镇静钢的真空处理设备而广为普及。如图3(c)所示,钢水与真空槽通过二个浸渍管而连通,从其中一个浸渍管吹入氮气,连续地吸入钢水和排出钢水。如图所示,

由于在真空槽内设置吹氧管,可以利用来作为不锈钢的真空脱炭装置。

(2) 精炼的特点:

新日钢把这个方法称作RH-OB法,主要是生产铁素体不锈钢用,精炼的特点如下。在60吨的转炉内为了充分抑制铬的氧化,而在1750°C、0.6~0.8%炭时出钢,立即转移到RH-OB处理。RH装置的特点是从放在大气下的钢包中,连续地往真空槽内吸入一部分钢水,由于考虑到因吹炼条件而有

表3 AOD法的设备状况(1973年5月)

№	公 司 名 称	所 在 地	容 量(吨)	开始生产的时间
1	乔斯林不锈钢公司	美国:印第安纳洲,威内堡	15	1968.4
2	卡伯特公司	美国:印第安纳洲,科可摩	4	1970.1
3	伊萨-维奥拉公司	意大利:圣马丁堡	20	1970.7
4	电冶金公司	美国:宾洲石油城	15	1970.9
5	东方不锈钢公司	美国:马里兰州,巴的摩尔	45	1970.11
6	阿姆可钢公司	美国:马里兰州,巴的摩尔	35	1971.1
7	IMI 合金钢公司	英国:德贝	8	1971.3
8	标准钢公司	美国:宾洲,布尔恩罕	15	1971.9
9	斯帕坦钢公司	英国:伯明汗	10	1971.10
10	国际镍公司	美国:西维吉尼亚洲亨丁顿	30	1971.11
11	日本金属工业株式会社	日本:相模原	55	1971.11
12	杰舍钢公司	美国:宾洲,华盛顿	18	1971.12
13	美国钢公司	美国:依利诺洲,芝加哥	90	1971.12
14	不列颠钢公司	英国:威尔斯彭推浦耳	60	1971.12
15	琼斯及劳克林公司	美国:密西根州,瓦伦	60	1971.12
16	卡彭特钢公司	美国:宾州,来丁	13	1972.2
17	日本金属工业株式会社	日本	80	1972.3
18	坩埚钢公司	美国:密德兰	90	1972.3
19	罗瑟拉姆不锈钢公司	英国:罗瑟拉姆	7	1972.5
20	克鲁伯冶金厂	西德:波鸿	70	1972.8
21	南交叉钢公司	南非:密得堡	25	1972.9
22	奥拉雷	西班牙:毕尔色	1×14 1×10	1972.10 1973.7*
23	不列颠钢公司	英国:斯托克斯桥	16	1972.11
24	特尔尼公司	意大利:特尔尼	55	1973.1
25	阿维斯塔公司	瑞典:阿维斯塔	55	1973.5
26	巴布科克及威尔科克公司	美国:宾州,波维尔瀑布	24	1973.6*
27	卡彭特于公司	美国:康乃狄格州,桥港(布列治港)	45	1973.8*
28	博施戈特哈德冶金公司	西德:西根	18	1973.10*
29	日本制钢株式会社	日本:日胜城	60	1973.11*
30	Myodo 金属工业株式会社	日本:新潟城	10	1974.1*
31	大同制钢株式会社	日本:名古屋	15	1974.1*
32	底特律钢公司	美国:俄亥俄州曼斯菲尔德	90	1974.2*
33	尼贝公司	瑞典:尼贝伯鲁克	55	1974.4*
34	ACC.Valbruan	意大利:维琴察	10	1974.4*
35	菲亚特	意大利:都灵	70	1975.1*

* 预定。

降低Cr收得率的可能性,所以必须详细规定吹管条件和钢水循环流量等管理工作。

(3) 质量和收得率:

质量上的优点与 VOD 相同。表 2 指出收得率和生产率。

气体稀释脱炭法

1. AOD法

(1) 装置的特点:

表 3 列出各公司 AOD 法的设备状况。自 1972 年以来,开始采用 AOD 法作为不锈钢二次精炼炉的厂家全世界已有 21 个公司。其发展是引人注目。AOD 法的正确名称应为林德 (Linde) Ar-O₂ 工艺,是美国联合碳化物公司和乔斯林公司发明的底吹转炉。图 3 示出炉体的概略形状,炉体由炉帽和炉身两部分组成,这两部分用法兰联接。炉帽的作用在于防止吹炼中的喷溅,以及装料和出钢时作出钢槽使用,几个风口埋在炉底上方的倾斜壁上,倾动时露在大气中。风口是二重结构,外侧流纯氩,内侧流氧+氩混合气体。吹炼中保持如图 3(c) 所示的直立位置,炉帽罩在袋式除尘器排气的吸气口上。用来稀释 CO 气体的氩气价格很高,约占 AOD 操作费的 40%,最近有的厂家在 AOD 吹炼初期已利用价格便宜的氮代替氩。

(2) 精炼的特点:

AOD 炉与电炉配合使用,如以英国 斯帕坦钢公司 10 吨炉为例子,精炼特征如下。

把在电炉中调整到 0.6% 炭和 0.5% 硅,而铬、镍大致已调整到规格范围的不锈钢(出钢后温度为 1550°C) 装入 AOD 炉,立即用 O₂/Ar 比为 3:1 的混合气体吹炼,吹炼至 0.2% C 并使钢水温度达到 1680°C (第 I 期)。使用 N₂ 气代替 Ar 气主要是从经济上来考虑的。接着用 O₂/Ar 比为 2:1 的混合气体,吹炼至 0.1% C 和 1740°C (第 II 期),随后用 O₂/Ar 比为 1:2 的混合气体吹炼至规格炭浓度(第 III 期),然后加入还原剂并用纯 Ar 充分搅拌池,回收氧化损失的大约 2% Cr (第 IV 期)。此后,若需要脱硫时,则先除渣,随即添加造渣剂,继续吹纯 Ar 搅拌进行脱硫处理。据报导经过 10 分钟的脱硫处理,硫很容易从 0.015% 脱到 0.005%。最后调整成分及温度后出钢。

(3) 质量和收得率:

AOD 法制造的不锈钢质量,各公司共同提出

的优点是:

(a) 成分误差小,杂质(特别是 Pb) 少。

(b) 提高了纯净度,夹杂物的数量少而细小,并且分布均匀。

(c) 切削性好等。

AOD 法收得率和生产率示于表 2。

2. 其他

瑞典发明的马德霍姆 (Uddeholm) 法,是与 AOD 法同样的底吹转炉,但这种方法所用的吹入气体是氧-蒸汽混合气。与 70 吨电炉结合使用,其吹炼温度为 1700°C,吹炼中有 2~4% Cr 被氧化,随即添加硅铁和石灰加以还原回收,炉内 Cr 收得率为 98~99%。与 AOD 不同,由于使用了水蒸汽作为稀释的气体,所以最后用 1 标米³/吨钢的 Ar 进行冲洗,在 H₂ 降到 5ppm 后出钢。

西德马克西米利安冶金公司发明的并在最近由美国钢铁公司改进了的 Q-Bop 法,以及法国发明的 LWS 法等底吹转炉法都与 AOD 法一样,可以用来进行不锈钢的二次精炼。

各种精炼方式的优缺点 和发展前途

以世界各国广为普及的 VOD 和 AOD 法为例对它们的优缺点探讨如下:

1. 基建费

AOD 法不需要真空设备,所以比 VOD 法的基建费低得多。例如,容量 50 吨的 AOD 设备约为 1 亿日元^[9],而同样容量的 VOD 设备费则约为 3 亿日元。

2. 操作费

据报导 AOD 的操作费为 2,400~3,300 日元/吨钢,其中氩和耐火材料的费用约各占 40%。Ar 气的价格占操作费这样大的比重,因此日本 Ar 气价格是成问题的。

3. 生产率

AOD 法可能从非常高的含炭范围进行脱炭,并且可以担负电炉中脱硫精炼,所以比 VOD 法生产率显著提高。例如,一座电炉与一座 AOD 炉结合,比电炉生产率提高 100%;而一座电炉与一座 VOD 炉结合时,生产率最高增加 50%。

4. 质量

吹炼終了时钢中含氧浓度: VOD 为 150~

250ppm, AOD为1400ppm。VOD法显著较低,因此对这些钢水脱氧时, VOD法很容易得到比较纯净的钢,而AOD法必须在脱氧处理结束后出钢,并且容易受空气氧化(混渣等)的影响。另一方面, VOD法精炼结束后即可浇铸,所以很少受到空气氧化,也是VOD法的一个优点。

考虑到以上VOD法和AOD法各自都有的优缺点,因此,原来就设有RH、DH或ASEA-SKF等钢包式真空处理设备的厂家采用AOD法可提高生产率,并且可利用现有的脱气设备来提高钢的质量,没有真空设备的厂家看来最好是采用VOD法,同时提高质量和生产率。

根据过去的发展趋势,不锈钢供求情况的变化

是急剧的。所以,今后不锈钢熔炼工艺最能够兼用普通钢的精炼工艺,这意味着最近底吹转炉,例如Q-Bop等技术的进步,将来有很大的可能作为不锈钢的精炼工艺。

结 束 语

关于不锈钢最近的精炼法,主要重视和展望二次精炼炉,讨论了具有代表性的VOD和AOD法的优缺点。感谢巴工业公司野村尚史氏和松板贸易公司举田颖明氏提供的一部分资料。

(杨长强译自《特殊钢》,1973年,

№10, 6~12. 耿文范校)

东方不锈钢公司50吨氩氧炉的操作

一般电炉熔炼奥氏体不锈钢由4个基本阶段组成: 熔化, 吹氧, 还原和精炼。按照设备的有效利用率评价这种工艺, 说明电炉仅在熔化期才真正有效地使用。当然, 这是不考虑吹氧, 实际上, 吹炼含Cr的钢号时所达到的温度对耐火材料是非常有害的。

不锈钢的熔炼选用双联是比较合理的。第一步

在电炉中进行熔化, 第二步在另一个炉子中进行脱碳和精炼, 此炉子是为这工艺而特殊设计的。

当不锈钢用氧脱碳时有一平衡关系, 即在一定温度下确定Cr的含量, 有一定含量的碳与之结合。当碳降低时, Cr也随着降低, 除非提高钢水温度铬才能保持不变。一般吹炼时, 与钢水接触的气氛可以假定主要是CO, 在一个大气压下。如果降低CO分压, 则有利于碳-氧反应, 从而在实际熔炼温度下可以保住更多的铬, 见图1。

现在采用的不锈钢双联是应用真空系统, 惰性气体稀释或者二者结合的方法来降低CO分压的。广泛研究了所有可能的方法后, 东方不锈钢公司根据最初投资费用、设备简单和过程本身的灵活性选择了Ar-O₂系统。

此系统的描述

此系统包括炉子, 支撑和倾动的轴圈, 驱动机械, 吹入气体的风口和气体控制设备。

图2和图3示出50吨炉子的概略图, 外径12呎3吋, 高约18呎。炉子尺寸是按熔池深度: 内径: 高度之比为1:2:3为准确定的。在设计阶段, 该炉子比当时任何炉子都大, 按比例放大的炉子设计进展顺利。炉底截面与炉壁中心线的倾角为20°。此角度是为了使送进的气体离开炉壁而上升, 避免侵蚀炉口以上的区域。水力学模型指出, 最合适的角度为28°, 但是由于不知道这一数据用于钢水会怎

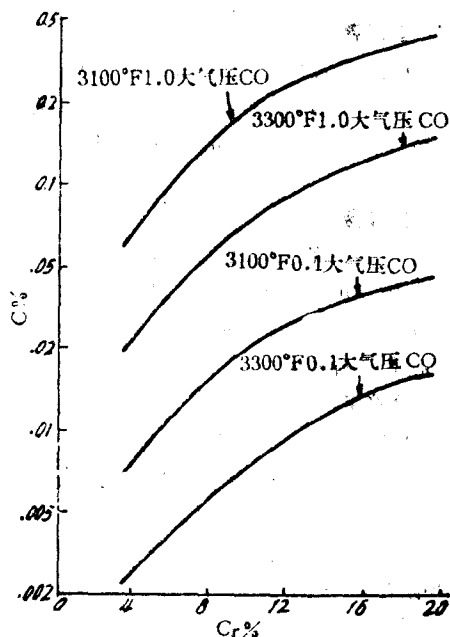


图1 碳-铬平衡关系是温度和压力的函数

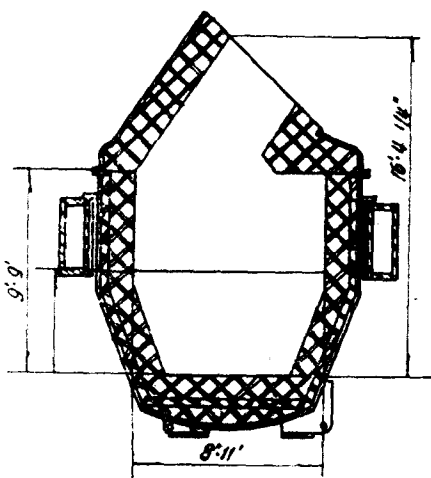


图 2 炉子横断面图

样，所以开始选用比较小的角度。此倾角可以靠改变耐火砖衬里得到。到目前为止，没有任何严重的侵蚀问题，所以仍然维持着初期的 20° 角。

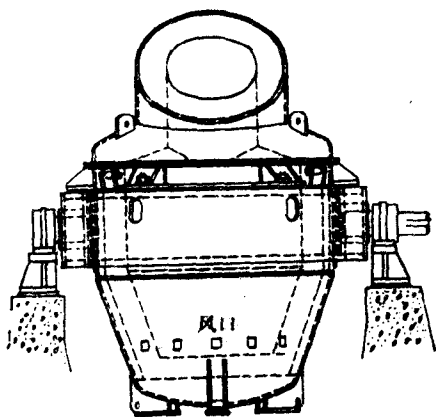


图 3 风口部分和旋转轴承座的高度图

一个结构牢固而容易安装的盘子似的炉底是由三层衬垫装配成的，所以在换炉衬时不需要其他支撑。上部用法兰与管状圆锥（炉帽）联接在一起。

管状圆锥像一个帽子挡住吹炼时的喷溅，以及在装料和出钢时作为一个漏斗，为了容易与炉体分开，用法兰联接。

自从耐火材料的侵蚀被认为是一个问题以后，此系统就设计成可交换式的炉子，炉壳在一个单独

的轴圈上支撑着，而且仅用 4 个螺钉固定。供气的喷口亦附着在轴圈上，所以更换一个炉子仅需要取下 4 个螺钉和 6 根能够快速断开的蛇管。现在这种操作不到 2 个小时就可有秩序地作完。为了防止事故，耳轴的中心线在钢水面以上，在传动机械出故障时炉子总是回到直立的位置。

倾动机构能以两种不同的速度使 50 吨炉往前倾动 180° ，往后倾动 130° 。为了安全，使用了二台 440 伏、30 马力的交流马达，任何一台均能进行此操作，每个马达就备有制动器可以单独完成全部操作。

气体通过炉底附近侧壁上的风口吹入。50 吨炉子需要几个风口还未正确掌握，所以准备了 5 个位置。最初，第一个炉子三个风口安在 1、3、5 位置上，第二个炉子 4 个风口安在 1、2、4、5 上（图 3）。

气体控制系统调节并记录所使用的氮和氧的压力和数量。吹炼速度和压力被持续地记录在圆形记录盘上，流量自动记录在总积分器和重积分器上。重积分器对于操作者特别有用，因为操作者必需观察整个吹炼过程中氧的比率。安全连锁装置防止在吹氮前通入氧，也就是停氧时，除了充分吹氮，不能把炉子倾斜到风口浸入钢液的位置。为了节省氮，当炉子停下来或二炉的间隙可以吹入空气冷却风口。

基本操作工艺

用一般方法熔炼，并将化学成分调整到最终要求的范围（除碳，硅，硫外）。这种工艺是可能的，因为它不像电炉吹炼，不需要为了控制温度把铬限制在很低的水平。由于铬的收得率非常高及可使用价格低廉的高碳 Fe-Cr 使它成为一种经济地完善的工艺。调整温度并除渣后，将钢水倒入 AOD 炉中，电炉可继续熔化下一个炉号，因此电炉仅用来完成它能最好完成的任务，即熔化。

实际吹炼分三个阶段进行，当碳量减少时，必需改变氧/氮比，以维持适当的温度和容许的脱碳效率。东方公司的比例变化，从开始阶段氧/氮比为 3:1 到终了氧/氮为 1:3，因为要求温度略有增加，同时保持很低的 CO 分压，以抑制铬的氧化。当正确地进行时，最高温度为 3150°F 时，碳一般降到 0.015% 或 0.020%。

第三阶段完成后，靠氮气搅拌及利用由于吹炼

产生的很高的残余热熔化石灰和砂的还原剂，随后进行取样分析，并按一般方法进行精炼。

1970年11月23日开始生产了第一炉，随后进行24小时操作（昼夜操作）。

实际上没有冶金问题，这些炉按规定的工艺吹炼，不难于得到规定的温度和低碳含量。操作是十分灵活的。如果钢水温度太低，可以加砂“燃烧”提温；如果钢水温度太高，可以靠辐射、加废钢或吹氩冷却。用高石灰渣处理，能够有效地脱硫。铅几乎完全被除去。由于激烈地搅拌，可得到精确的温度读数和分析的试样。铬的回收率极高，平均超过98%。

但是，此操作不是完全没有困难的，开工后不久，炉衬寿命就成为主要问题之一。

最初的炉衬计划，要求 $4\frac{1}{2}$ 吋厚的 33% 铬-钱砖的支撑炉衬与 $13\frac{1}{2}$ 吋的 65% MgO 的烧结的铬钱砖的工作炉衬。风口砖是 80% MgO。炉帽是 85% Al₂O₃、硅酸盐混合捣固作成的。第一炉采用 4 个风口，其中一个风口 15 小时后完全损坏了，第二个炉子除炉帽用磷酸盐结合外，砌成同样的形式并采用三个风口，这个炉子吹炼了 29 炉。

三个风口和四个风口交替的使用进行了 8 次试验，其结果如下：

试验次序	1	3	5	7	2	4	6	8
风口数量	4	4	4	4	3	3	3	3
炉数	15	10	20	19	29	33	27	20

可以看出，三个风口的炉子工作得最好。事实表明，有一个最小的风口压力低于这个压力，则形成震动波，侵蚀风口周围的耐火材料。四个风口的吹炼系统产生 154 磅/吋² 的压力，而三个风口则产生 180 磅/吋² 压力，后者显然超过临界最小压力范围。

用硅酸盐结合捣筑的炉帽侵蚀严重，而用磷酸盐结合的材料，装料、出钢时，却不容易遭受侵蚀及不增加有害元素磷，所以从第七个炉期以后，完全使用三个风口和磷酸盐结合的炉帽。

虽然三个风口的炉子最初工作得很好，但是当试验待续下去，炉衬寿命降低了而无改善(图 4)，损坏最严重的是风口砖。80% MgO 是不合适的，虽

然它开始使用得很好。因此，着手进行操作工艺的广泛研究。

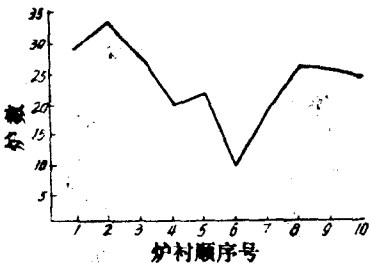


图 4 三个风口的炉衬寿命与炉衬顺序号的关系。最初是满意的，随之炉衬寿命即降到非常低的水平

由于工艺非常简单和灵活，从而减轻了在最初试车时对所有变量的严密控制。它能够生产出好的低碳钢号，但是此工艺对耐火材料会带来损害。

炉衬寿命以小时计算，而不是用炉数计算。依靠准确而有效的安排加入炉料，移动天车以及车间的其他操作，这样每炉能够无耽搁的及时出钢，使每炉操作时间控制到最短。炉衬寿命是最高吹炼温度的函数，如图 5 所示，此温度可通过吹炼速度、吹炼开始温度和开始的硅含量来控制。还可看到渣子碱度的降低，这与耐火材料供应者谈到砖的损坏是由于硅渗入的结果是一致的。

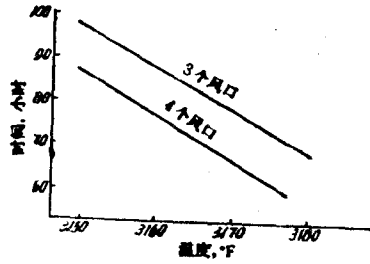


图 5 炉衬寿命（小时）是平均最高温度和风口数量的函数

因此，制定了以下的操作参数，同时应注意遵循：

- 开始温度 $\leq 2750^{\circ}\text{F}$ ；
- 开始硅含量 0.24~0.40%；
- 最高吹炼温度 3175°F ；
- 还原后的碱度 > 1.5 ；
- 全部时间 > 2.5 小时。

最高温度还是相当高，但是对东方公司是必要的，因为电炉为了压注，必需放出足够温度的钢水（ $2900\sim 2950^{\circ}\text{F}$ ）。

进行这些变化后（图4，炉衬7），炉衬寿命改善了并稳定在25炉。使用55%电熔细粒 MgO 的风口砖，大大改善了浸蚀严重的区域。

解决了风口早期损坏的问题，就可以得到一个较好的实际浸蚀图。风口上的炉壁出现严重的浸蚀。风口上羽毛状区域的工作炉衬有十分严重的浸蚀（图6），同时其他部位炉壁上的浸蚀是非常有规律的。由此，着手进行区域衬里并在风口炉壁砌上电熔细粒 MgO 砖，结果是成功的，从而延长了寿命。这也就改变了浸蚀图形，显出了需要修改的下一个区域的炉衬，即渣线（图7）。围绕炉子渣线上面，下面全部换成电熔细粒 MgO 砖。此改进是重大的，从而使所有的耐火材料浸蚀变为十分均匀一致（图8）。

炉帽实际上没有出现任何问题。典型的浸蚀示于图8。必要时，可重新全部换炉衬。标准的工艺仅仅换掉受浸蚀的部分。

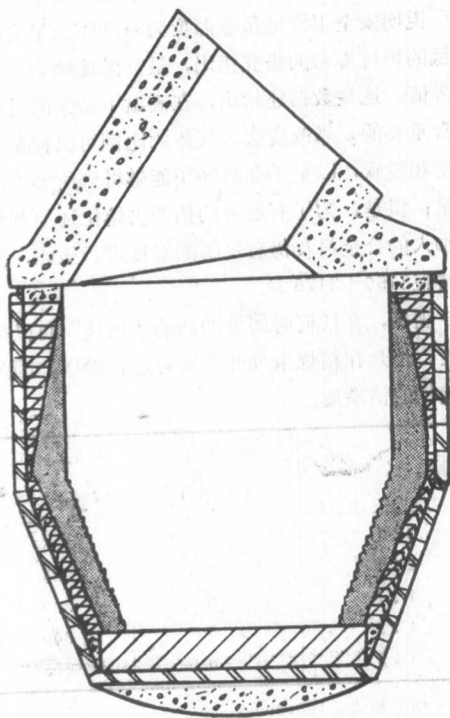


图7 耳轴区域是解决了风口炉壁问题后另一个侵蚀区

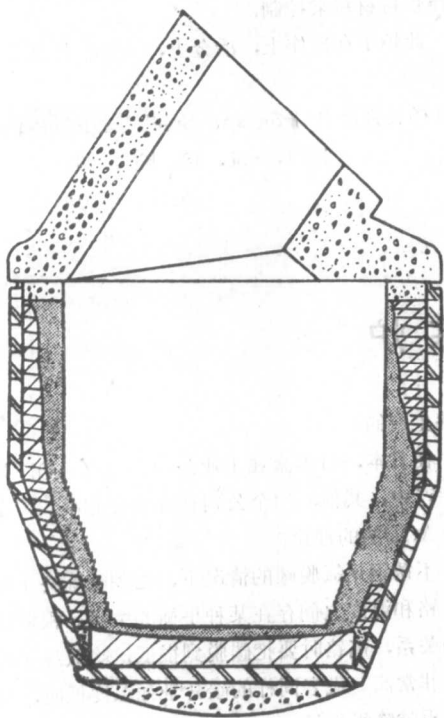


图6 说明风口和风口炉壁问题的初期炉子浸蚀图
所有浸蚀图形均通过风口中心的断面

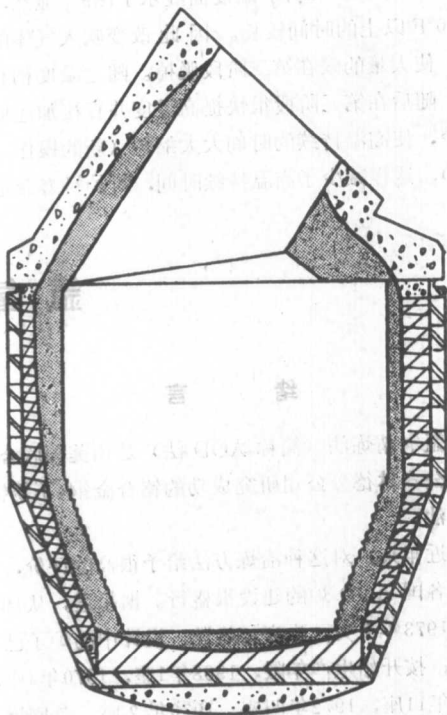


图8 现在炉子均匀浸蚀的典型图

用 65% MgO 烧结的铬镁砖砌成的整个炉衬，砖厂说明安全工作的最高温度为 3150°F。早先，非常低的炉衬寿命的研究指出，最高温度确实是一个临界值。这些数据还指出，在高温下持续的时间是非常重要的。靠改变吹入气体的比例可以控制升温速度和脱碳，以至于在 3100°F 能够得到所要求的碳含量；但是，为了有足够的热源去熔化还原剂和最后加入的合金料及仍有足够的温度进行压注，要求保持在 3150~3175°F。

固然，在任何时间借助硅的“燃烧”可以提高温度，但是在精炼末期非常反对这种操作，因为它影响钢的清淨度。

氧和硅的比例	温 升 (°F/分)	脱 0.01% C 时 需氧量*(呎 ³)
3:1	16	525
2:1	10	385
1:1	10	300
1:2	5	300
1:3	0	275

* 熔池钢水重 100,000 磅。

一般分三个阶段吹炼标准的 304 类型的压注炉号 (0.05% C) 时间-温度曲线示于图 9。显然，在 3100°F 以上的时间较长。因此改变吹入气体的比例，使大量的碳在第二阶段脱掉。随之温度稍有升高，随后在第三阶段很快提高温度并直接加还原剂骤冷，使高温持续的时间大大缩短（新的操作示于图 9），这样减少了高温持续时间，对炉衬寿命是有

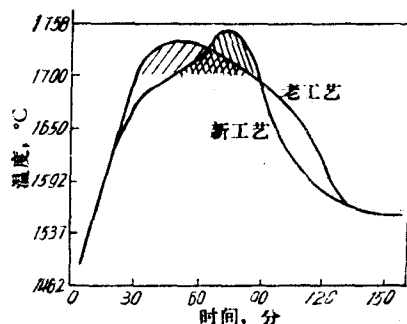


图 9 正确的吹炼工艺可大大缩短耐火材料在 3100°F 的暴露时间

益的。

结 束 语

至今，氩-氧炉已生产超过 700 炉，没有一炉因成分不合格而报废。由于操作简单、灵活，冶炼车间的工作人员愿意使用这种炉子。它的机械简单和设计严格使维修降低到非常合理的水准。耐火材料的侵蚀是这个系统的大问题，可依靠正确的操作和选择炉衬材料来控制。

此炉子在操作上，冶金上，经济上都是成功的。

(杨长强译自《Iron and Steel Engineer》，
1971, vol. 48, No. 12, 65~70.)

吴玫、李企明校)

氩 氧 精 炼 炉

结 言

氩氧精炼法（简称 AOD 法）是由美国联合碳化物公司林德分公司研究成功的铬合金钢（不锈钢）精炼法。

近年来，对这种冶炼方法给予很高的评价，在世界各国 AOD 炉的建设很盛行。据报道，从 1968 年到 1973 年 7 月，生产、建设、设计中的炉子已有 26 座；按开始生产年限，1968 年 1 座，1970 年 4 座，1971 年 11 座，1972 年四座，1973 年 2 座，急剧增加着。欧洲所有不锈钢产量的 50% 以上是用氩-氧精

炼法生产的。

在日本，日本金属工业公司有三座 AOD 炉正在生产中，其他 3—4 个公司在安装计划中。

AOD 法的理论

不锈钢用氧脱碳的情况下，达到吹炼终了时，碳、铬和温度之间存在某种平衡的关系。根据这个平衡关系，高铬时要把碳脱到很低，吹氧终了的温度就非常高。或者同样的碳含量如温度低时，则铬含量也就降得很低。

根据平衡关系，减少脱碳反应中生成的 CO 分压，在同样温度、铬值和氧浓度下，碳含量则向低

的方向移动。这样由于氮和氧同时有效地吹入，在非真空下降低 CO 分压，就能够在与铬无关的情况下将最终碳含量保持在很低的数值。这就是氮氧精炼法的基本原理。上述的平衡关系示于图 1。

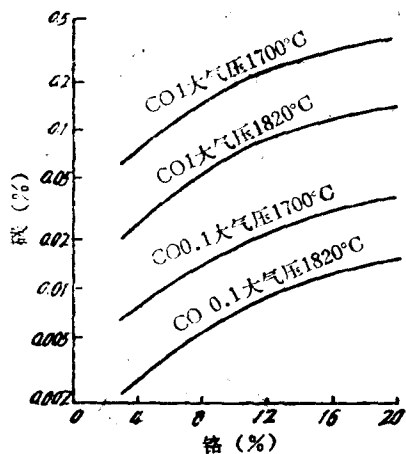
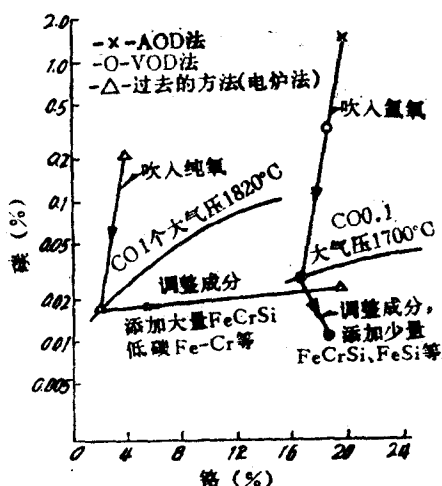


图 1 碳-铬平衡关系

用过去的电炉法吹炼 SUS304L 不锈钢时，初期铬量为 4%，到吹炼终了，在 1800°C 下碳量为 0.02% 而铬降到了 2%。损失掉的 2% 铬中大约有一半可以回收，而不足的 15~17% 由添加低碳铬铁来补足。

用 AOD 法时，初期铬量是 18%，吹炼终了时，在 1700°C 下碳量为 0.03%，而铬降到 16.5%。损失掉的铬大约一半可以回收，所以添加少量合金



各种操作法的成分变化 (304L)

料就可以得到符合规格的铬量。

用真空氧精炼法（简称 VOD 法）时，通常在大气中进行预吹炼，将碳降到 0.3%，而 AOD 法从初期碳 1~1.5% 直接开始精炼。另外 AOD 法一般铬的收得率稍高些。

把一般电炉法、AOD 法、VOD 法操作时的平衡关系示于图 2。

AOD 炉的操作方法

在 AOD 炉中不锈钢的精炼，是用电炉或其他熔化法熔化的钢水进行的。此时钢水成分由熔化的原料配成，除碳量外大致调整到接近规格值（使用价格低廉的高碳铬铁作为铬的原料）。

通常，从熔化炉移到 AOD 炉的过程中，进行钢水称量和扒渣。

根据熔化炉出钢时的碳、硅、锰的浓度和钢水重量，计算出吹氧的总量。氧在尽量不使铬氧化又不使钢液温度上升到必要温度以上的条件下，变动与氮混合的比率，并从安装在炉子侧壁的风口吹入钢水中。比较理想的是连续变动混合比进行操作，但在实际操作中则分 3~4 阶段变动混合比（氧：氮为 4:1、3:1、2:1、1:2）是足够的。

各阶段吹炼终了时，一般进行取样和测温。AOD 法取样在理想的操作下仅在还原期终了精炼期前进行即可。测温结果表明，钢水温度最好不超过 1800°C，若超过，则应投入废钢或铁矿石降低炉温。

吹入预定的氧量，达到所要求的碳浓度后，用硅进行还原，回收损失到渣中的部分铬，并添加合金进行成分调整（这期间仅吹氮）。

目前，处理时间是 1.5 小时到 2.5 小时。因此，一座电炉可设一座 AOD 炉。由于可能把处理时间缩短到接近 1 小时。所以将来 2 座电炉可以设一座 AOD 炉。

如上所述，AOD 炉操作是非常简单，同时像 Eastern 不锈钢论文中所说那样，废品率为 1/700 或更低些。日本金属工业公司的情况和其他许多公司情况一样，从第一炉就生产出产品。

作为最新的操作技术，已研究出了根据钢种使用比较便宜的粗氮或使用一部分氮气来代替原来使用的纯氮的方法。

同时，由于容易脱硫，所以有些工厂使用价格低廉的硫高的铬铁作为铬的原料。

设 备

AOD 炉的炉体与转炉相似，是钢制的炉壳和耐火砖构成的。在侧壁下部的耐火砖里，埋入精炼用的吹送混合气体的风口。炉体形状如图 3 所示，由非对称形发展成为砌砖容易的对称形。

炉体的支撑方式，小型炉子几乎都是耳轴支撑式。因为现在耐火砖的寿命较短，平均约 40 炉。为了连续操作，在一周内必须有 1—2 次修炉，所以采取修炉位置和操作位置各自专用的炉体交换式。如预备 2—3 座炉体，就能够进行连续操作。假如耐火砖寿命再稍微延长些，一般认为不进行炉体交换的情况下，可以考虑转炉式的，在二座设备中有一座操作，一座修炉。

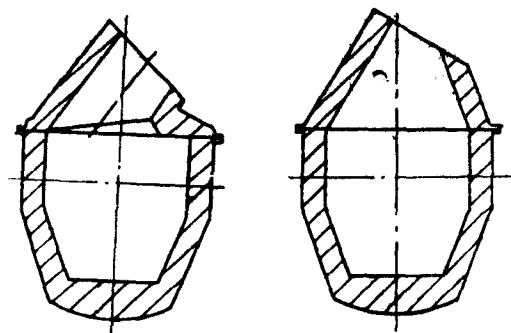
炉体备有在操作时往必要的角度自由进行倾动的倾动装置。倾动速度一般是二种，主要作为出钢、出渣使用的低速和其他作业时使用的高速。最近，美国大型炉使用轴架式减速机，设置空间小而紧凑。

吹入吹炼气体用的设备，系由吹入气体的流量控制阀与包括风口在内的炉体侧的配管设备所构成。为 AOD 炉所研究成功的气体冷却式消耗式风口，冷却气体同时也吹入炉内。风口的消耗速度与耐火砖消耗一致，所以修炉时只要更换需修补的端部喷嘴部分的风口即可。炉体上的风口位置。安装在出钢侧的对面接近炉底的侧壁上的几个地方，在出钢，除渣等水平以下的角度作业时，风口露在钢水面以上，冷却气体被压缩空气自动地切换。精炼气体的混合比的调整可自由地进行。

AOD 炉的附属设备，有为了精炼中投入必要的还原剂、脱硫剂、铁合金、冷却材料等的合金投入设备，吸收精炼中排出气体的集尘装置，不倾动炉体的测温、取样装置，炉体耐火材料的干燥，预热装置，根据情况还有炉体吊具等。

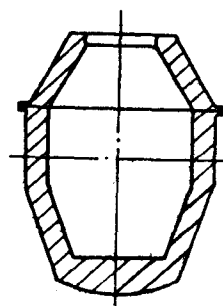
铁合金的投入设备，从翻斗车装入料斗，储藏在分配的料仓中，把指定的品种运出来，称量，输送投入，都可以由运转室进行远距离操作。如连续地投入冷却材料，可控制升温，进行高效率的精炼。

从 AOD 炉排出的烟，当氧氮比例大时，烟量越多，温度越高，CO 量也越多。但是比转炉操作安静，没有大噪音。另外，与电炉吹炼比较，不仅氧氮用量少，而且只有一个开口。因此电炉上已有



Joslyn 厂 1968 年

Ilssa Viola 厂 1970 年



Krupp 厂 1972 年

图 3 炉型的变迁

的集尘装置，如它的能力充足，就不需要新设集尘装置，只要新建罩子，燃烧塔和冷却设备就足够了。

AOD 炉处理钢的质量

AOD 炉处理钢的质量超过或不次于一般电炉钢。进行切削加工时，加工工具的刀刃磨损减少，亦即钢的机械加工性获得改善，另外显微镜观察证明了夹杂物微细化。

关于气体成分，据报道比一般的方法氧降低了 30%， H_2 减低 40%， N_2 减低 30%。同时，故意往氮中混入氮，可以用来熔制含氮钢。

硫很容易降到 0.005% 以下。

耐火材料

耐火材料寿命的延长是 AOD 法目前最重要的问题。

耐火材料，使用铬镁砖和焦油白云石砖，砖的

寿命平均约10炉,根据记录,铬镁砖最高寿命为55炉,焦油白云石砖为47炉。耐火材料价格镁砖为1500~1700日圆/吨,焦油白云砖600日圆/吨。耐火砖消耗显著的部分在风口侧渣线附近,进行炉膛衬里使之消耗一样,得到相当好的结果。各公司都处于进行改良的阶段,寿命还有希望延长。

精炼用气体

作为精炼用气体,最初使用纯氩和纯氧,最近已采用粗氩(98%氩,2%氮)和使用一部分氮气代替纯氩。氩的消耗量,精炼 SUS304L时是17标准立方米/吨,其中可用7标准立方米/吨氮代替(氮自1.5%降到0.025%)。氩价格估计由于大量消费会变得便宜些,日本已低于100日圆/立方米,据报道美国和欧洲各国比 AOD 炉建设前已有大幅度的降价。

结 束 语

与一般方法比较,AOD法有下列优点:

(1) 由于使用低价格原料,成本下降。铬原料几乎不必使用高价的低碳铬铁,可全部用不锈钢

废钢或便宜的高碳铬铁。

(2) 提高了铬和钢的收得率。

在AOD炉中铬收得率在98%以上,钢为95%。

(3) 提高了电炉的生产率。由于电炉仅用来熔化,所以生产率提高100%以上。

(4) 电炉的消耗减少了。由于电炉的操作条件(温度低)对于耐火材料有利,耐火材料消耗大幅度地减少(电极消耗也一样)。

(5) 操作的稳定性。从装入时的高碳状态进行脱碳的过程,有很稳定的重现性,并可以预计将来使之与电子计算机配合而达到完全自动化。

(6) 建设费用低。

(7) 脱硫容易。

(8) 由于气体成分的减少,夹杂物的微细化等而提高了质量。

以上优点弥补了氩气费用和耐火砖价格高的缺点而有余,因此 AOD 法是今后很有发展前途的精炼技术。

(杨长强译自《特殊钢》,1973, vol. 22, №3, 38~41.姜世振,耿文范校)

氩-氧脱碳方法的理论和操作

引 言

多年来,不锈钢生产技术和电炉熔化和吹氧脱碳。这种方法有很多缺点,其中较主要的是,精炼必须在只为熔化而设计的炉子内进行。最近研究了很多方法来克服一般电弧炉方法的固有缺点。

在任何不锈钢生产方法中,为了降低原材料的费用,希望最初装入的炉料给予所需要的全部铬,一般来自含铬废钢和/或装入铬。在电炉中如果脱碳以前具有高的铬含量,吹氧后熔池的还原与回收铬有矛盾,原加入铬的回收率一般较低。因此,为达到规格要求,最后需加入价格昂贵的低碳铬-铁。

联合碳化物公司 Linde Division 研究成的方法中,电炉仅用作废钢和合金的最初熔化,随后扒掉含有全部要求铬的熔化料中的炉渣,并移到外形类似贝氏麦转炉的单独的精炼容器中。吹入一定量的氩和氧在容器中进行脱碳。以很少的铬损失得到低碳含量,这样克服了电炉精炼方法的一个主要缺点。当 Spartan 钢厂用这种方法来生产不锈钢时,这种方法遂被最后确定。

氩-氧脱碳的理论和操作

工艺的基本理论 当不锈钢水靠普通吹氧脱碳时,与熔池平衡的气氛实际上是一个大气压的纯CO,在这种情况下,在一定的碳和一定温度下,熔池中即有一定的铬含量与之平衡,超过这数量的铬将迅速被氧化。当熔池中碳含量减少时,铬含量亦随之减少。这种关系确定在不引起铬氧化的条件下,熔池能脱碳到什么程度。可借助于提高熔池温度和提高平衡的铬含量而把脱碳范围降得更低。但是,这个发展方向受工业上实用炉子的耐火材料操作温度的限制。从另一方面来说,如果惰性气与氧一起吹入,稀释了CO并降低它的分压。这种情况有利于C-O反应并且大大增加了保持在熔池中的铬含量。吹氩还促进迅速平衡,图1曲线说明这种平衡的结果。

设备要求 使用一般公称容量7吨的电炉作为熔化设备。这一炉子也可装入9吨。炉子功率为2.5仟伏安。配备旋转炉顶和3×200毫米电极。炉壳外径为2440毫米。炉门槛以上直接砌上高热强的Cr-