

日本氧气顶吹转炉钢的品种 和实验研究

钢铁研究院一室

目 录

一、前言	(1)
二、转炉炼钢发展史	(1)
三、日本氧气顶吹转炉发展简况	(4)
四、氧气转炉炼钢法的特点	(7)
(一) 氧气转炉炼钢法的优点	(7)
(1) 炼钢效率高	(7)
(2) 生产成本低	(7)
(3) 建设费用低	(7)
(4) 品种多质量好	(8)
(二) 产品质量	(8)
(1) 可炼出含碳量低于平炉钢的钢种	(8)
(2) 含氧量低	(8)
(3) 含氮量低	(8)
(4) 微量成分含量低	(8)
五、日本几种主要钢种的生产和质量情况	(9)
(一) 沸腾钢	(9)
(1) 关于沸腾钢钢锭形成良好坚实外壳的问题	(9)
(2) 冶炼低氮沸腾钢	(10)
(二) 半镇静钢	(11)
(1) 一种优质半镇静钢的生产工艺	(11)
(2) 氧气顶吹转炉利用增氮吹炼薄板钢	(12)
(三) 碳素钢(以低碳钢为主)	(12)
(1) 高温高压锅炉管用低中碳镇静钢	(12)
(2) 碳素结构钢	(15)
(3) 大型锻件的生产	(16)
(4) 碳素钢大型铸件的生产	(19)
(5) 冷轧钢板用低碳铝镇静钢	(21)
(6) 深冲用铝镇静钢的生产	(23)
(四) 高碳钢	(23)
(1) 高碳钢的冶炼	(24)
(2) 机械结构用高碳钢	(28)
(3) 轧制带钢用的普通中、高碳素钢	(29)
(4) 轨钢、弹簧钢	(32)
(五) 合金钢	(35)
(1) 氧气顶吹转炉冶炼合金钢的前提条件	(35)

- 205 17
- (2) 关于脱磷 (36)
 - (3) 关于合金化 (37)
 - (4) 关于合金收得率 (38)
 - (5) 几种合金钢的生产状况 (39)

六、氧气顶吹转炉的发展趋势 (54)

- (一) 不断提高炉子生产率 (54)
 - (1) 扩大炉子容量 (55)
 - (2) 提高同一炉子的生产率 (55)
 - (3) 缩短炼钢时间 (55)
 - (4) 缩短非炼钢时间 (55)
 - (5) 提高炉衬寿命, 延长炉令 (55)
- (二) 扩大钢种。提高质量 (56)
- (三) 原料范围扩大 (56)
- (四) 废气回收 (56)
- (五) 电子计算机控制 (57)
- (六) 连续铸锭与真空脱气处理 (59)
- (七) 氧气喷枪的改进 (62)
 - (1) 使用多孔喷头的氧气喷枪 (62)
 - (2) 改进喷枪结构 (63)

七、日本一些转炉钢厂在有关方面的研究和实验 (63)

- (一) 在造渣料方面的研究 (63)
 - (1) $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3$ 系合成造渣剂 (63)
 - (2) $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系合成造渣剂 (65)
- (二) 转炉使用白云的研究 (67)
 - (1) 理论分析 (67)
 - (2) 试验结果 (67)
- (三) 石生灰品级对转炉生产的影响 (68)
 - (1) 脱磷和脱硫效力 (68)
 - (2) 对转炉操作状况的影响 (69)
- (四) 使用硼砂等作炼钢熔剂的效果 (69)
- (五) LD转炉中的氯化反应研究 (70)
 - (1) 氧的行为 (70)
 - (2) 在吹炼过程中炉渣(ΣFe)与 $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)$ 的变化 (70)
 - (3) 吹炼过程中 $[\text{Mn}]$ 的行为 (71)
 - (4) 吹炼过程中P的行为 (71)
 - (5) 吹炼过程中S的行为 (71)
- (六) 铁水的脱硫和脱磷预处理 (72)
 - (1) 机械搅拌法 (72)

(2)	摇动铁水罐脱硫法	(73)
(3)	喷吹气体搅拌脱硫法	(73)
(4)	单纯添加脱硫剂的脱硫法	(73)
(5)	脱硫剂吹入法	(74)
(七)	LD转炉冶炼过程中钢水[N]的研究	(74)
(1)	钢中含氮量与铁水成分的关系	(74)
(2)	在吹炼过程中钢水[N]的行为	(75)
(3)	转炉补吹时钢水[N]的行为	(75)
(八)	转炉炉渣的利用	(75)
(九)	新日铁君津厂大型氧气顶吹转炉长炉令操作的分析	(76)

一 前言

日本在第二次世界大战前(1943年)最高钢产量为765万吨,战后(1946年)钢产量下降到56万吨。自从1956年由奥地利引进氧气顶吹转炉技术以来,由于生产实践和用户使用经验都证明了氧气顶吹转炉在生产率、经济效益以及产品质量等方面都具有非常突出的优点。特别是日本国内资源缺乏,90%以上的铁矿石、70%以上的炼焦煤、30%以上废钢都需要由国外进口。氧气顶吹转炉主要用铁水作原料,为缓和废钢供应困难的局势,发展氧气顶吹转炉炼钢适得其所。

近年来日本在沿海地区兴建大型钢铁联合企业,使用大吨位运输船为掠夺廉价的海外资源创造了方便条件,由于进口高品位铁矿石,铁水质量稳定,且随着炼铁技术的进步和高炉大型化,生铁成本不断降低,更为发展转炉炼钢提供了有利条件。

日本钢产量1955年为941万吨,占世界

钢产量的3.5%,居世界第六位,1959年超过了法国,1961年超过了英国,1964年超过了西德。1973年突破一亿吨(1亿1932万吨),占世界钢产量的17%以上,跃居世界第三位。之所以如此迅猛的增长,可以说就是由于发展了氧气顶吹转炉的结果。日本钢铁垄断资产阶级为了争夺国际钢铁市场,攫取更大利润,也颇重视提高钢的质量。

对日本氧气顶吹转炉炼钢状况进行认真的研究,吸取其有益的经验,对我国炼钢工业的发展必将有所促进。

因此,我们编写了这本《日本氧气顶吹转炉钢的品种和实验研究》资料,谨供同志们参考,由于我们能力有限,不当之处在所难免,希望批评指正。

承蒙邵象华、刘建纲工程师等同志的审阅和指正,谨致谢意。

二 转炉炼钢发展简史

1855年亨利·贝赛麦(Henry Bessemer)发明酸性转炉炼钢法,1877年托马斯(G. Thomas)发明碱性转炉(托马斯碱性底吹转炉)炼钢法,这两种炼钢法分别在美国和欧洲大陆得到发展。托马斯转炉炼钢法在欧洲大陆直到第一次世界大战前,曾经占据着炼钢方法的主要地位。但是,自从第一次世界大战以后,随着机械工业的迅速发展,废钢铁的大量回收,以及用户对钢种的要求日益扩大,因而平炉炼钢法和电炉炼钢法在欧美各国逐步盛兴起来,特别是在美国平炉炼钢法得到极为迅速的发展,因此,转炉炼钢法的发展一度处于停滞状态。

追溯氧气转炉炼钢法的历史,还早在1856年亨利·贝赛麦所提出的利用氧气吹炼软钢的设想,但因当时制氧工业还很落后,故未获得实验和利用。自从Linde-Frenkel制氧法发明以后,大量生产工业纯氧成为可能,从而开始了碱性托马斯转炉的氧气吹炼试验,当时虽然得到了某些良好的结果,但未获得显著发展。二十世纪三十年代以后,杜勒(Durrer)和施瓦茨(Schwarz)等人也曾利用纯氧进行过转炉吹炼试验,亦未得到进一步发展。

第二次世界大战后,奥地利在林茨(Linz)的VOEST钢铁厂和在多纳维茨

(Donawitz)的Alpine矿业公司(ÖAMG)炼钢厂,共同进行了氧气顶吹转炉炼钢的试验研究。于1949年6月终于在VÖEST钢铁厂的2吨转炉上吹炼成功,在Alpine矿业公司炼钢厂的5吨和10吨转炉上吹炼成功。以后VÖEST钢铁厂又在15吨转炉上进行了大规模的试炼,从而进一步确证了氧气顶吹转炉炼钢法理论的正确性。氧气顶吹转炉炼钢法亦被称为LD炼钢法,即由此而得名。

1952年奥地利VÖEST钢铁厂有三座30吨纯氧顶吹转炉投入生产,1953年Alpine矿业公司的两座30吨纯氧顶吹转炉也正式投入生产,从而实现了氧气顶吹转炉炼钢法的工业生产。

氧气顶吹转炉,自1952年投入工业生产以来,由于它的特殊优越性而获得了异乎寻常的发展。据1963年统计,世界投入生产的氧气顶吹转炉(平均炉容为80吨)已达到155

座(不包括苏联的氧气转炉),年生产能力约为4600万吨。到1969年世界氧气顶吹转炉新建炉的生产能力就增加了5600万吨,是增长率最高的一年。1970年氧气顶吹转炉增至390座,生产能力达到三亿吨,新建炉生产能力增加了4200万吨粗钢,增长率为14%。世界各国氧气顶吹转炉的生产能力均不断增长,尤以日本最为突出(见图1)。

氧气顶吹转炉比较平炉有许多优点(见表1),特别是最近一两年来由于对环境污染的限制和钢铁需求量的变化,使平炉的地位日趋衰退,因此许多主要产钢国都有兴建氧气转炉并排除平炉的趋势。日本是最早由氧气顶吹转炉取代平炉的国家,自1961年以来不断废除平炉(见表3),到1975年平炉钢产量已减至总钢产量的不过1%。

美国发展氧气转炉炼钢的特点,是氧气顶吹转炉与氧气底吹转炉炼钢(西德称OBM,法国称LWS,美国称Q-BOP)同时并举。例如伯利恒公司约翰斯敦厂,计划在1978年前把全部8座190吨平炉(年生产能力300万吨)改建成2座200吨转炉(230万吨/年)。美国钢公司计划在最近几年内将所属各厂平炉均改建成转炉,其中格利厂在1973年由平炉改建成的一座200吨氧气底吹转炉投产,成为世界上最早利用氧气底吹转炉炼钢的国家。相继在费尔菲尔德厂1974年把12座230吨平炉(400万吨/年)改建成2座200吨底吹转炉(350吨/年),南芝加哥厂计划在1976-1977年把14座平炉改建成2座底吹转炉。同时也在积极发展氧气顶吹转炉,例如内陆钢公司东芝加哥厂于1974年把2座210吨平炉改造成了2座210吨的氧气顶吹转炉。凯泽钢公司投资1亿5千万美元改建现代化钢厂,计划把丰塔纳钢厂在1968年投产的9座225吨平炉改造成2座200吨氧气顶吹转炉。琼斯·劳林钢公司也投资1亿5千万美元进行改造工程,计划把匹兹堡厂的6座340吨平炉改造成氧气顶吹转炉。

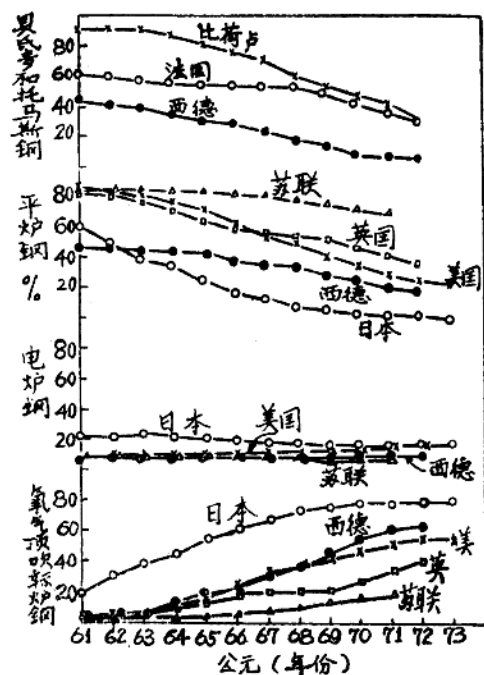


图1 几个主要产钢国不同炼钢炉钢产量比重的变化

西德、法国、比利时、瑞典、意大利等国都发展了氧气底吹转炉。欧洲现有的托马斯转炉钢厂，几乎全有改造成氧气底吹转炉的趋势。除美国钢公司格利厂在平炉改建为氧气顶吹转炉的中途，改建成了氧气底吹转炉之外，尚无把氧气顶吹转炉改为氧气底吹转炉的事例，氧气顶吹转炉仍然是发展的主流。

1975年末统计，全世界设有平炉的国家（以苏联最多共328座，最大型的平炉为900吨双床平炉，年生产能力1亿80万吨）40个，共有1093座平炉，年生产能力2亿7200万吨；设有转炉的国家38个，共有485座转炉，年生产能力4亿3千万吨。主要产钢国家，特别是设有高炉的钢铁公司，将继续推进高炉—转炉的生产方式。估计到1980年全

氧气顶吹转炉与平炉炼钢方法特性比较^[8,9]

表 1

		氧 气 顶 吹 转 炉	平 炉	电 炉
炉子大小(吨)范围		2~400	100~600	
标准容量(吨)		200~300	100~200	60~100
产 量	每日炉数	30~40	4~6	8~13
	每小时产量 (吨)	100~480 (取决于炉子大小)	≤60 (包括吹氧)	
	生产率 吨/人·小时	3~5	2	
年产200万吨所需要的座数		200吨炉子2座	大约需10座200吨炉子	
废钢配合比率%		0~30	30~100	100
典型的金属配料		75%铁水+25%废钢	50%铁水+50%废钢	
燃料或热源		杂质和铁水的显热	重油，煤气，焦油	电
所需要的热量		大约200万BTU/吨钢 (约5万千卡/吨钢)	300万~400万BTU/吨 (约7.5万~11万千卡/吨钢)	
外加燃料消费量 (倍数)		9万千卡/吨钢(1)	60万千卡/吨钢(6)	160万千卡/吨钢 (18)
热效率(%)		65左右	20左右	
氧化剂		纯氧和铁矿石	空气，石灰石，铁矿石	
钢水收得率(%)		88	85	
良锭率*(%)		91.9	85.5	89.4
设备建设费比数		1	2	1/2
耐火材料消耗 (公斤/吨钢)		4.5	22.5	
每吨钢的生产成本 (美元) (60年至70年平均)		15~20	30~45	

• 日本1973年生产数据

世界平炉钢产量将降至粗钢总产量的10%左右，而转炉钢产量将增至6亿8百万吨，即

占粗钢总产量的65%左右。

三 日本氧气顶吹转炉发展简况

日本早在1901年(明治34年)国营八幡钢铁公司已有两座10吨贝赛麦酸性转炉投入工业生产，至1927年11月这两座转炉完全停产，共产钢273万吨。1938年6月日本钢管公司的川崎厂建成三座20吨托马斯碱性转炉投产，1941年又增建了两座25吨托马斯转炉共五座碱性转炉进行生产，到1942年由于原料供应困难而被迫停产，共炼钢35万吨。二次大战后，直到1949年6月又恢复了托马斯转炉生产，并于1951年后进行了氧气吹炼试验，获得很好结果。

战后，1946年日本钢产量只有56万吨，为了重建和发展钢铁工业，日本实行了所谓“合理化计划”，1951年开始第一个合理化计划，规定建设和加强平炉炼钢设备，1955年开始实行“第二次合理化计划”具体规定了引进氧气顶吹转炉炼钢技术，包括建设为数较多的钢铁联合企业，力图排除炼钢对废钢的依赖性，并规定建设较大型高炉和现代化的带材热连轧机，1961年开始实行“第三次合理化计划”，明确规定了发展氧气顶吹转炉取代平炉。

1956年2月日本钢管公司与奥地利 Alpine 矿业公司签定了氧气转炉技术引进合同，1957年9月在八幡钢铁公司(该公司与富士钢铁公司在1970年3月31日正式合并，成立新日本钢铁公司)洞冈厂建设的两座50吨氧气顶吹转炉，首先投入生产。日本钢管公司在川崎厂建设的两座42吨氧气顶吹转炉，于1958年1月投产，从而代替了过去的五座托马斯转炉，随后又在水江厂建设了两座60吨转炉，于1960年投产。八幡钢铁公

司于1959年在户畑厂又投产了两座80吨转炉，当时转炉钢产量已占该公司总钢产量的30%。

日本为配合氧气顶吹转炉炼钢技术发展的需要，于1958年成立了氧气顶吹转炉委员会并且组成小组委员会氧气吹炼技术组，负责组织技术交流和讨论各厂之间的共同问题。由于扩大品种和质量检验所发现的技术问题，可及时提交该委员会组织会议讨论，从而迅速解决在生产中所遇到的一些问题。

日本自1960年以来，各大钢铁公司均不断建设和增建氧气转炉(见表2)，并自1961年以后不断拆除平炉(见表3)，计划在1985年以前将全部废除平炉。

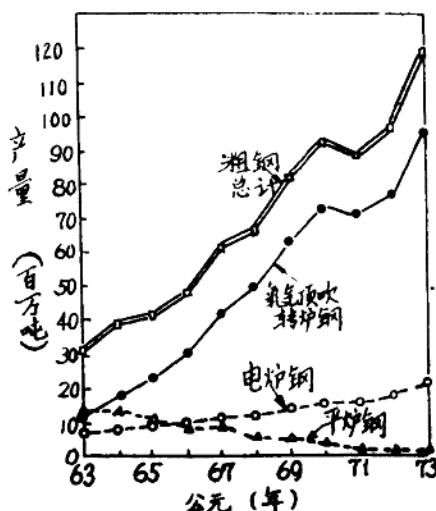


图 2 日本不同炼钢设备产钢能力的变化状况

日本氧气顶吹转炉设置概况〔6〕

表 2

最初建炉的 投产年份	公 司	厂 家	最初建设的 炉子 吨位×座数	以后增建的 吨位×座数	1974年状况
1957年	新日铁	八幡 2	50×2	64年 60×1	50吨×1, 60吨×2
1958年	钢 管	京滨 2	42×2	64年 42×1	
1959年	新日铁	八幡 1	60×2	60年 70×1	60×2
1960年	钢 管	京滨 1	60×2	62年 70×1	60吨×2
	神 钢	尼崎	40×2		42吨×2
	新日铁	广畑 1	100×2	65年 120×1	100吨×2, 120吨×1
1961年	住友金属工业	小仓 1	40×2		70吨×2
	新日铁	室兰 2	110×2	67年 120×1	110吨×2, 120吨×1
	神 钢	神户	60×2	66年 60×1	60吨×3
1962年	新日铁	八幡 2	130×2	70年 150×1	150吨×3
	川崎制铁	千叶 2	150×2	65年 150×1	150吨×3
1963年	住友金属工业	和歌山 2	150×2	65年 150×1	150吨×3
	太平洋	八户	13×1		
	钢 管	京滨 3	60×2		60吨×3
1964年	新日铁	室兰 1	50×1	67年 60×1	50吨×1, 60吨×1
	"	名古屋 1	160×2	67年 170×1	160吨×2, 170吨×1
	大 阪	西岛	30×2		40吨×2
1965年	日 新	吴厂	60×2	66年 60×1	90吨×3
	新日铁	界厂	170×2	67年 170×1	170吨×3
	"	釜石	90×2		90吨×2
1966年	新日铁	八幡 3	75×1	67年 75×1	75吨×2
	钢 管	福山 1	160×2	68年 160×1	160吨×3
1967年	川崎制铁	水岛 1	180×1	69年 180×1	180吨×1
	住友金属工业	和歌山 3	160×2	69年 160×1	160吨×3
1968年	新日铁	广畑 2	100×2	73年 120×1	100吨×2, 120吨×1
	住友金属工业	和歌山 1	70×1		70吨×1
	新日铁	君津 1	220×2	69年 220×1	220吨×3
	东海特殊	名古屋	72×2		72吨×2
1969年	钢 管	福山 2	250×2	71年 250×1	250吨×3
	新日铁	名古屋 2	250×2		250吨×2

续表 2

最初建炉 的 投产年份	公 司	厂 家	最初建设的 炉子 吨位×座数	以后增建的 吨位×座数	1974年状况
1970年	住友金属工业	小仓 2	70×1		70吨×1
	川崎制铁	千叶 1	85×2		85吨×2
	"	水岛 2	250×2	73年 250×1	250吨×3
	神 钢	加古川	200×2	73年 100×1	200吨×3
1971年	住友金属工业	鹿岛	250×2	73年 250×1	250吨×3
	新日铁	君津 2	300×2		300吨×2
1971年	新日铁	大 分	300×2		300吨×2
1973年	钢 管	福山 3	300×2		300吨×2

日本炼钢设备和产生能力变化情况^[14-20]

表 3

年 份 (年 底)	座数, 生产能力(万吨/年)			总 计 生产能力(万吨/年)
	氧气顶吹转炉	平 炉	电 炉	
1960年	13 263.9*	144 1504.5*	694 446.4*	
1961年	19 534.7*	145 1697.1*	712 594.1*	
1964年	36 1647	141 1877.3	763 1134.6	4658.7
1965年	45 2474.5	130 1715.4	722 1135.7	5325.6
1970年	83 9148	75 955.6	739 1359.9	11463.5
1971年	88 10105	34 321.2	749 1493.2	11919.6
1972年	90 10580	28 257.6	749 1529.6	12367
1973年	95 12170	24 219.6	710 1564.9	13904.2
1974年	96 12402	21 202.6	716 2471	15076
1975年	98 12532	17 171.9	705 2491	15201

* 数据来自《铁钢界》，1962年第12卷№5, 10, 52~55, 系指实际生产量。

** 《统计月报》、《铁钢统计月报》和《铁钢统计时报》所统计之数据个别有所不同, 本表内所列出的数据, 系在这三种刊物内重复刊出的数据。

六十年代, 可说是日本转炉技术革新的时代, 不断扩大炉容, 并独立发展了多孔氧

气喷枪、废气回收设备以及电子计算机控制技术。机械化、自动化方面不断完善, 电子

计算机的使用逐渐推广。在扩大生产品种方面,1964年即已确立了一些特殊钢(不锈钢,弹簧钢等)精炼方法和特殊吹炼技术(如软吹,双渣和合金化吹炼),到1968年已完全解决了氧气转炉在精炼高级钢中所遇到的一些困难问题。近年来,铁水脱硫、添加特殊合金以及真空脱气处理等工艺的发展,已逐

渐形成由氧气顶吹转炉生产高级钢的常规体制。另一方面,在炉内反应机理的研究和炉内反应控制技术等的研究发展方面,也投入了很大力量,现已开始研究转炉炉渣的综合利用,并已致力于环境保护和防止公害等方面的措施。

四 氧气顶吹转炉炼钢法的特点

氧气转炉炼钢法的优点

氧气顶吹转炉,主要是用碱性耐火材料(例如焦油白云石)作炉衬的碱性转炉。它具有生产效率高、生产成本和设备投资低,以及产品质量优良等优点。

(1) 炼钢效率高

作为现代炼钢法的特点,最重要的便是生产效率。炼钢炉的生产效率,一般均与各种炼钢法的熔炼时间成反比,而与设备利用率(取决于炉体寿命、修炉和维护等情况)成正比。据1962年的统计数据表明,按单位生产能力的全年生产量计算,氧气顶吹转炉约等于平炉的8~9倍,约等于电炉的2.8~4.5倍,并且这种比率将随着炉子容量的增大而提高。一般(不采用氧气吹炼的)平炉的生产效率,只有氧气顶吹转炉炼钢法的1/10左右,平炉采用吹氧熔炼时生产效率约可提高一倍左右。据报导,平炉的生产效率随着吹氧量的增加而增高,吹氧量达到49米³/吨钢时,180吨平炉的生产效率可增高到63吨/小时,360吨平炉可到95吨/小时。但是,即便使用与氧气顶吹转炉炼钢同样多的氧气进行平炉吹氧炼钢,因为平炉炉型的限制而在单位时间内通入熔池的氧气量总有一定限度,所以平炉的炼钢效率充其量也只能达到氧气顶吹转炉的1/3至1/4左右。因此,氧气顶吹转炉炼钢法,是氧气利用率最高的炼钢

方法,一座氧气顶吹转炉至少等于四五座容量相同的平炉。

(2) 生产成本低

决定钢锭生产成本主要部分的原料费,因受地区条件的影响很大,所以很难定出普遍的原则。例如,从长期情况来看,欧洲平炉生铁:托马斯转炉生铁:废钢的价格比为100:87:70,美国平炉铁:废钢的价格比为100:70。但是在日本平炉铁:废钢的价格比却为80:100,生铁反而比废钢的价格便宜,这是因为日本废钢来源困难而主要依靠由国外进口的缘故,同时由于近年来日本炼铁技术的进步而使生铁价格不断降低。氧气顶吹转炉炼钢法,所用原料适宜的铁水配合比为70~90%左右,所以特别有利于日本的国情。

在其它国家,氧气顶吹转炉所用炉料因为废钢配合比率低于平炉炉料,所以原料成本较平炉高些,尽管如此,氧气顶吹转炉由于操作费用低而使得钢成本一般仍比平炉钢成本低7%左右。

氧气顶吹转炉与平炉的操作费若分别以年产50、100、150万吨的炉子作比较时,大体上氧气顶吹转炉的操作费只有平炉的60%左右。

(3) 建设费用低

一般氧气顶吹转炉车间,只有平炉车间建设费的60~70%。

(4) 品种多, 质量好

就日本氧气顶吹转炉钢扩大品种的过程来看, 最初是生产低碳沸腾钢, 作板材(包括冷轧和热轧薄板, 镀锡、镀锌、镀铬薄板, 冲压和深冲用板)用钢, 通过控制冶炼过程和浇铸过程中的沸腾情况, 以及加保温帽等措施来改进钢的质量。

氧气顶吹转炉所炼钢种不断扩大, 日本从1963年开始工业熔炼高碳钢, 从1965年开始工业生产低合金高强度钢, 由于采用真空脱气等新工艺的配合, 熔炼的钢种和产品质量得以进一步扩大和提高, 日本从1968年开始工业生产不锈钢, 氧气顶吹转炉特殊钢的产量迅速增加, 1970年日本转炉特殊钢产量已达490万吨, 占特殊钢总产量的47%。

目前氧气顶吹转炉所能熔炼的钢种, 包括一般碳素结构钢、高碳钢、低合金结构钢、易切削钢、弹簧钢、电磁钢、高强度钢、轴承钢以及不锈钢等。日本目前氧气顶吹转炉已能大量生产不锈钢。

平炉熔炼含C量低于0.1%的低碳钢是有困难的, 而氧气顶吹转炉具有极好的脱碳效果, 容易吹炼低碳钢, 能够生产含C量低于0.02%的超低碳钢, 并能生产含杂质元素很低的高纯度不锈钢。

氧气顶吹转炉钢最适用于生产对冷加工性和时效性要求很高的薄钢板, 以及锻接性和焊接性良好的锻接钢管和电焊管等。氧气顶吹转炉钢的气体杂质(N, O, H)含量极少, 各种表面缺陷、内部缺陷、非金属夹杂物等都很少, 所以有利于生产深冲用冷轧钢板以及钢管和钢条之类的产品。特别是含氮量低对深冲性能极为有利。氧气顶吹转炉钢的微量成分(Ni, Cr, Cu, Sn等)含量少对薄板、无缝管、焊管等生产都大有好处。

(二) 产品质量

- (1) 可生产含碳量低于平炉钢的钢种
由平炉炼含碳量低于0.1%的钢有许多

困难, 但氧气转炉却具有很好的脱碳效果, 容易吹炼低碳的钢种。一般固溶于钢中的C量愈低, 则钢的时效效果愈小, 在退火热处理时析出的碳化物量也愈少, 因此能够改善钢的深冲成形性能。

(2) 含氧量低

氧气转炉炼钢方法, 在原理上是不依靠炉渣(FeO)之氧位而进行直接氧化的冶炼方法, 由于在吹炼过程中产生大量的CO气体, 故能够造成还原性气氛, 所以尽管进行纯氧吹炼但熔池仍然进行脱氧反应, 因而使得钢中含氧量有所减低, 显然比较平炉冶炼过程更接近于Vacher Hamilton C—O平衡值。

钢中含氧量与钢中非金属夹杂量成正比关系。含氧量低的钢退火热处理时容易形成有利于冷加工的结晶组织。虽然提高退火温度也会使含氧量较高的钢获得同样的结晶组织, 但在冷加工时易于产生裂纹。因此, 减低钢的含氧量是改善冷加工性的重要条件。

(3) 含氮量低

在氧气转炉炼钢过程中因为发生极为激烈的脱碳反应, 从而引起“清洗”效果会使钢水中的含氮量大为减低(比平炉钢低得多)。

钢中含氮量和含碳量, 都是引起钢板时效硬化的重要因素, 特别是氮对钢的应变时效影响很大。要求钢具有非时效性和良好的深冲性能时, 过去都采用加铝使钢中氮固定的铝镇静钢, 而氧气转炉钢则容易满足这样的要求。

(4) 微量成分含量低

与平炉炉料不同, 氧气转炉炉料不使用成分非常复杂的购入废钢, 只使用少量回炉废钢, 因此, 象Cu、Ni、Cr、Sn、Mo、Pb等微量成分含量非常低。所以氧气转炉钢的基体纯度很高, 并且非金属夹杂量少, 偏析也较少, 都有利于钢的冷加工性。

氧气顶吹转炉所用炉料, 如果采用含磷低于0.4%的铁水, 即可获得含P量与平炉钢相同的转炉钢。采取双渣法吹炼, 则可生产

低磷钢。采取适当的铁水脱硫措施，则可生产含硫很低的超低硫优质转炉钢。

五 日本几种主要钢种的生产和质量情况

日本氧气顶吹转炉钢，从扩大品种的过程来看，最初是生产低碳沸腾钢，作板材用（包括冷轧钢板，镀锌、镀锡、镀铬等薄板，以及深冲用钢板），通过控制炼钢过程和在浇铸过程中控制沸腾情况，以及采取加盖等措施，来改进沸腾钢的质量。随后发展了中高碳钢，到六十年代中期即已开始生产合金钢，到1970年日本氧气转炉生产的特殊钢已占总特殊钢产量的47%。据1970年统计，日本

各氧气转炉炼钢厂，大都以炼沸腾钢为主，例如住友金属工业公司和歌山第三钢厂氧气转炉沸腾钢产量就占其总产量的93.6%。神户厂则以炼镇静钢为主，1970年镇静钢产量即已占总氧气转炉钢产量的61.5%。从日本全国转炉钢生产发展状况来看（参阅表4），镇静钢所占比例逐年增加，连铸和炉外精炼钢也不断发展。现就日本几个主要钢种的生产状况叙述如下。

日本氧气顶转炉操作成果

表4

	1971年	1972年	1973年	1974年	1975年 6月
每冶炼小时的钢产量（吨/小时）	206.3	217.6	245	248.8	237.8
直接劳动小时的良锭产量（公斤/小时）	2923	3196	3818	3653	3650
每炉冶炼时间（分/炉）	36	36	36	37	38
铁锭配合比（%）	88	84.9	83.5	84.2	87.3
铁水配合比（%）	86.9	50.1	81.1	82.4	86.5
单位氧气消耗（标米 ³ /吨钢）	50.9	37.4	50	50.3	50
镇静钢比率（%）	34		39	42.7	45.9
其中连续铸造的比率（%）			18.1	21.9	24.9
真空脱气处理的比率（%）			4.4	5.4	6.1

（一） 沸 腾 钢

（1）关于沸腾钢钢锭形成良好坚实

外壳的问题

冷轧钢板用的低碳沸腾钢钢锭形成的坚实外壳，从开坯轧制直到使其内部蜂窝气泡压合时的全部轧制过程中，起着保护蜂窝气泡免于被外界大气所氧化的重要作用。

住友金属工业公司和歌山厂在160吨LD转炉吹炼低碳沸腾钢时，用上铸法以10~20毫米/秒的平均浇铸速度铸成15吨扁锭，浇

铸后加盖15~20分钟。在浇铸过程中加入粒状铝20~80克/吨钢水，研究了钢锭外壳的形成状况。获得了如下结果。

1) 为了使钢锭形成良好的坚实外壳，在浇铸过程中不让钢液产生过沸腾现象，可在铸锭过程中投入颗粒状铝是很有效的。颗粒状铝加入后能阻止钢液内气泡的长大，使沿着凝固壁上升的钢流相对增强并使凝固界面上所形成的气泡上浮。

添加颗粒状铝的方法，是影响钢锭形成坚实外壳的重要因素之一。曾试验了三种不

同的加铝方法，即：第一种只在浇铸末期加入；第二种从铸锭初期即行加铝，并分多次加入，每次加入少量铝；第三种在铸锭初期即加入大量铝。

试验结果证明，按第一种方法加入颗粒状铝时，经常出现沸腾现象，以至在铸锭初期完全达不到正常的沸腾效果。按第二或第三种方法加入颗粒状铝时，则从浇铸初期在锭模内的钢水即产生沸腾作用，尤其是按第三种方法加铝时沸腾作用最为显著。

对于钢锭外壳的检验证明，按第三种方法加铝的钢锭，其外壳几乎完全没有气泡，然而按第一种方法加铝的钢锭在外壳带所残留的气泡最多。

2) 钢锭外壳的厚度，受着浇铸速度和不发生蜂窝气泡区高度两种因素的影响。这种不发生蜂窝气泡区的高度，在浇铸0.06~0.08% C 钢时主要取决于钢水含 Mn 的高低。[Mn]对浇铸钢水的脱氧几乎无影响，但[Mn]参与在钢水凝固界面上进行的脱氧反应，因而对于在钢水凝固面上 CO 气体的产生状况有一定影响。

不产生蜂窝气泡区的高度，随着钢水[Mn]的减低而增大。含[Mn]量相同时，含[C]量为0.05%和0.09%的钢比含[C]量为0.06~0.08%的钢所形成的不产生蜂窝气泡区较小。而含[C]量在0.06~0.08%之间的钢锭，所形成的不产生蜂窝气泡没有明显差异，不产生蜂窝气泡区的高度主要取决于[Mn]。

(2) 冶炼低氮沸腾钢

氧气顶吹转炉，由于炉内进行激烈的脱碳等化学反应而生成大量废气，致使炉内造

成几乎与大气完全隔绝的状态，亦即氧气转炉炼钢好似是在“密封容器”内进行“真空”冶炼一样，如果所用氧气纯度愈高、搅拌(脱碳反应)愈强烈，则钢熔池的脱氮愈佳。

因此，氧气转炉炼钢法，特别有利于生产深冲薄板用的低氮低碳沸腾钢。日本钢管公司在水江厂90吨氧气转炉上(原料铁水比为85%)，研究了59炉低碳沸腾钢[N]的行为。

1) 吹炼时[N]的行为

炉衬外形对吹炼反应影响很大。吹炼时喷入的氧气使钢水[C]氧化为CO的脱碳效率，随着炉衬使用次数(炉数)的增加而逐渐

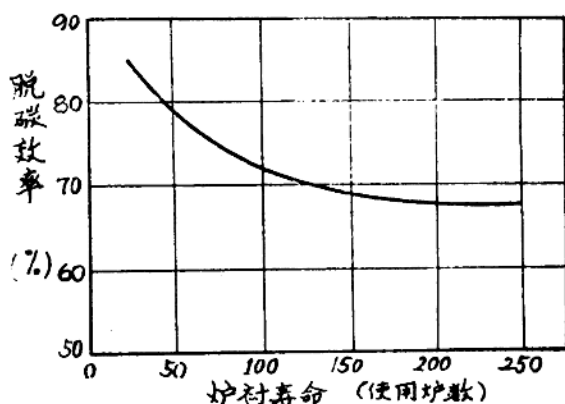


图3 吹炼时喷入氧气的脱碳效率与炉衬使用炉数的关系

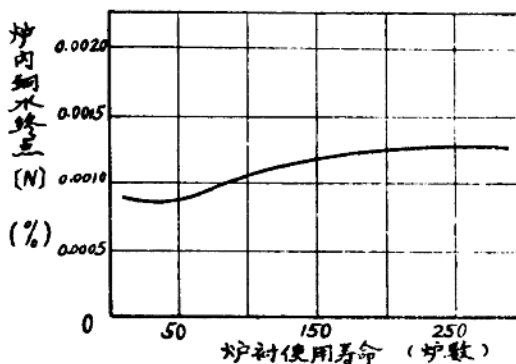


图4 炉内钢水终点[N]与炉衬使用炉数的关系

减低(见图3)。脱碳反应是氧气转炉炼钢最重要的基础反应,脱碳反应变化时其它冶炼反应也会受到显著影响。钢水的终点[N]也随着炉衬使用炉数的增多而有所增高(见图4)并且查明了这种炉衬外形的变化对于其它反应(首先是终点[O])也有影响。

2) 从出钢到铸锭[N]行为

从出钢到铸锭这一段过程中,钢中之[N]一般将由于添加料和吸收大气中之氮而有所增高。在添加剂之中增碳剂所含的氮被钢水的吸收率相对于镇静钢的约为40~50%(以镇静钢为100%)。

铝常用来调整钢水的沸腾作用而加入盛钢桶内,铝本身并不含N。但铝的加入量对沸腾钢在铸锭时的氮气吸收量却有很大影响。应该注意两个方面,即一方面沸腾作用对防止钢水在铸锭时吸收氮气很有效,但加入过量铝时会削弱钢的沸腾作用,另一方面加铝使钢中[O%]减低而使氮的溶解度有所增高。

低碳沸腾钢,几乎不从增碳剂和锰铁中吸收氮,然而增加铝的加入量时则有增高钢水对氮气吸收量的倾向。因此,必须注意加铝量要适宜。

(二) 半镇静钢

(1) 一种优质半镇静钢的生产工艺

日本日立公司提出了一种利用真空脱气处理设备,对氧气顶吹转炉或平炉初炼的钢水,在盛钢桶中进行反复真空脱气处理生产半镇静钢的方法。

用于真空脱气装置上的真空泵,可以采用机械泵或蒸汽喷射泵,设计成一般排气速度,不致于因真空室压力而发生很大变化。

把盛钢桶内的部分钢水反复吸入真空室内进行脱气时,随时根据真空室内的压力和所吸入真空室内的钢水含C量确定出可与钢水发生反应的氧量,因此能够生产脱氧程度稳定的半镇静钢。

据根每次吸入钢水时真空室内压力的最高值与最低值之差 ΔP 和每次吸入的钢量

Δm , 求出 $\Delta \frac{P}{m}$, 另外按照真空脱气处

理前钢水含C量和真空脱气设备能力所决定的

的钢水游离氧含量与 $\Delta \frac{P}{m}$ 的关系, 求出

现有钢水的游离氧, 从而确定为生产具有规定游离氧含量的半镇静钢需要加入的脱氧剂数量。

例如: C0.1%、Si<0.01%、Mn0.17%的钢水, 在盛钢桶中加锰铁使钢水含Mn量增高到0.31%, 然后进行真空脱气处理, 真空脱气进行到 $\Delta P = 2$ 毫米汞柱时为止。此

时钢水吸入量为7吨, $\Delta \frac{P}{m} = 0.29$ 。按

图5可求出钢水游离氧含量为0.011%, 应加脱氧剂—铝—0.08公斤/吨钢, 含氧量减低至0.003%。另外, 为了使轧制钢板具有非时效性, 在真空脱气之前往钢水中添加了0.006%B。真空处理后铸成9吨钢锭, 钢锭头部呈圆顶状的半镇静钢, 断面形状也很正常。

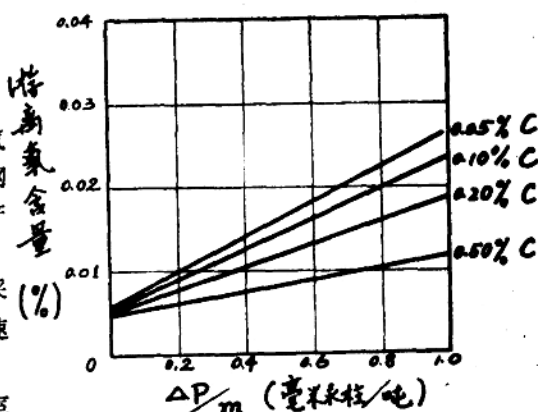


图5 钢水游离氧含量与 $\Delta P/m$ 的关系曲线

(2) 氮气顶吹转炉利用增氮

吹炼薄板钢

往钢中加氮的方法，一般是在出钢时往钢水中加入增氮剂。但这种加入增氮剂的方法存在一些问题。新日本钢铁公司名古屋厂为了解决氧气顶吹转炉钢的加氮问题，采取了在转炉吹炼时按氧分压控制为一定分压的氮气进行加氮的氧气吹炼。

1) 供氮设备：

从氧气车间把氧气送往炼钢车间，此时把氮气压力自 7 公斤/厘米²提高到 20 公斤/厘米²左右，通过贮气罐而与炼钢用氧气管道接通。氮气压缩机：进气压为 6~8 公斤/厘米²，出口压为 23 公斤/厘米²（最高压），容量为 700 米³/小时。贮气罐：设计压力 25 公斤/厘米²，容量为 80 米³和 100 米³。

2) 操作结果：

氧气吹炼进行到一定时间之后，开始送入按氧分压控制一定分压的氮气，进行加氮的氧气吹炼直到吹炼终点。

图 6 示出了终点[N]与吹炼时氮分压之间的关系。氮分压为 0.02 时送氮时间为 3~4 分钟，氮分压为 0.05 时送氮时间则需 8~10 分钟。因此，有必要保证一定长的吹炼时间以便恰如其分地达到终点[N]的目标值。

加氮的氧气吹炼效果：历来所用的增氮剂大都含有 Ca、Si 等。这些元素往往妨碍钢水的正常沸腾反应，对产品表面质量造成

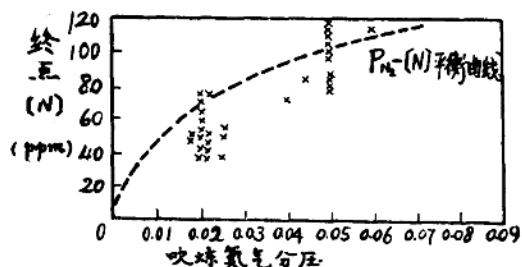


图 6 终点 [N] 与吹炼氮分压之间的关系 (160 吨转炉)

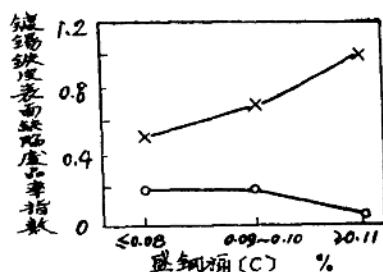


图 7 使用加氮剂 (x) 与采取气体增氮 (O) 的镀锡铁皮表面缺陷之比较

不良影响。在生产成品钢要求 [N] 为 80 ppm 的镀锡铁皮用半镇静钢时，使用加氮剂比采用加氮的氧气吹炼的产品表面缺陷废品率显著提高。说明利用气体增氮的方法能够提高镀锡铁皮的表面质量 (如图 7 所示)。

采用气体增氮时的费用 (按名古屋厂的情况)，包括供氮设备的固定费用和非固定费用在内，只有使用加氮剂时所需费用的 1/30 左右。同时气体增氮时是由转炉控制室进行远距离操作的，较之使用加氮剂远为优越。盛钢桶内钢水 [N] 的波动情况，这两种加氮方法相同。采取气体加氮时，由于吹炼或压钢时氮含量的突然波动等的影响，所以终点 [N] 波动较大。

3) 结论：

利用氮气往钢中加氮的方法，较之一般使用加氮剂加氮的方法有助于加氮钢种质量的改善和加氮费用显著较低，并且劳动条件也得到改善。

(三) 碳素钢 (以低碳钢为主)

(1) 高温高压锅炉管用低碳镇静钢

1) 对高温高压锅炉管用碳素钢的要求，为了满足苛刻的使用条件，要求高温高压锅炉用钢管使用纯净钢并具有相当高的强度，特别是蠕变强度。

为了确保较高的蠕变强度，对于低、中碳镇静钢所要求的质量，认为应满足两个条

件, 即一是钢中固溶的有效N较高, 二是溶解Al要低, 奥氏体晶粒较粗而匀整。

2) 吹炼试验:

用氧气顶吹转炉冶炼高温高压锅炉管用碳素钢的最重要问题，在于确立为了将溶解A1 控制在一个很狭小的范围内的铝脱氧工艺。因此，住友金属工业公司和歌山厂试炼了11炉低碳钢和10炉中碳钢，研究了停吹后加硅锰进行炉内脱氧和出钢时往盛钢桶中加铝脱氧时适宜的脱氧工艺。炉内脱氧：炼低碳钢时加硅锰1.5公斤/吨钢，吹中碳钢时加硅锰2.0公斤/吨钢，并且保持不变。

确保钢产品一定的 N 含量是很重要的, 如果终点 [N] 含量不足时, 可在出钢时往盛钢桶内加含氮锰铁来加以调整。

160吨转炉冶炼完毕后，用上铸法浇铸到带正锥形保温帽的锭模内，钢锭先轧成制管用的圆钢。对圆钢的材料质量试验结果如下。

① 溶解A1的调整;

分析了转炉停吹时钢液[O]含量和炉内脱氧后[O]的变化。炉内脱氧使[O]减低的程度不大而且很不规则,认为可能是因为硅锰添加量少的缘故。

停吹时钢液 $[O]$ ，接近于C-O平衡值，炉内脱氧的低碳钢与中碳钢在出钢前的钢液含 $[O]$ 水平有所不同，这种差异当然会影响到在盛钢桶中添加铝的损耗或残留于钢中的Al(即溶解Al)量。

因此，为了把溶解 A1 控制在相当狭小的含量范围内，有必要根据出钢前的 $[O]$ 含量确定往盛钢桶内所应添加的适量 A1。在实际生产中，可以根据图 8 所示的出钢前 $[O]$ 与加铝量之比，或按图 9 所示钢液停吹 $[O]$ 与 $[C]$ 的反比关系，把停吹 $[C]$ 与加

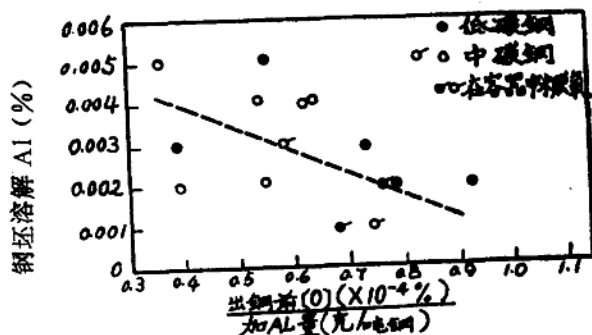


图 8 出钢前钢水[O]含量对盛钢桶内加铝量之比与钢坯溶解Al含量之间的关系

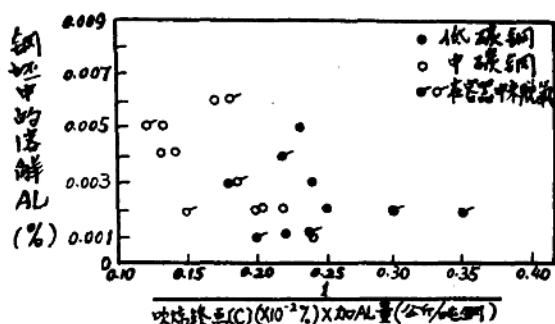


图 9 吹炼终点钢水[C]含量和盛钢桶内加铝量的乘积之倒数与钢坯溶解 Al 含量之间的关系

A1量之积作为溶解A1的调整指数，从而按
停吹[C]确定出应往盛钢桶中的加铝量。

② N 的调整,

氧气转炉钢的特征,是在停吹时〔N〕非常低,但钢锭含N量可增至0.004~0.006% (不进行加氮时)。在镇静钢中所发现的含N量增高,认为主要是因为出钢时和铸锭时有空气N₂侵入钢液的缘故。因此,往往不必故意进行加氮,即可达到为确保蠕变强度所必要的氮含量。若偶尔〔N〕含量低于0.004%时,则应考虑在出钢时进行加氮。

③ 钢的质量:

已查明溶解 Al 含量低的钢, 由于溶解 Al 量的微小变化会引起氧化物夹杂成分等的显著变化。因此, 研究了溶解 Al 对转炉