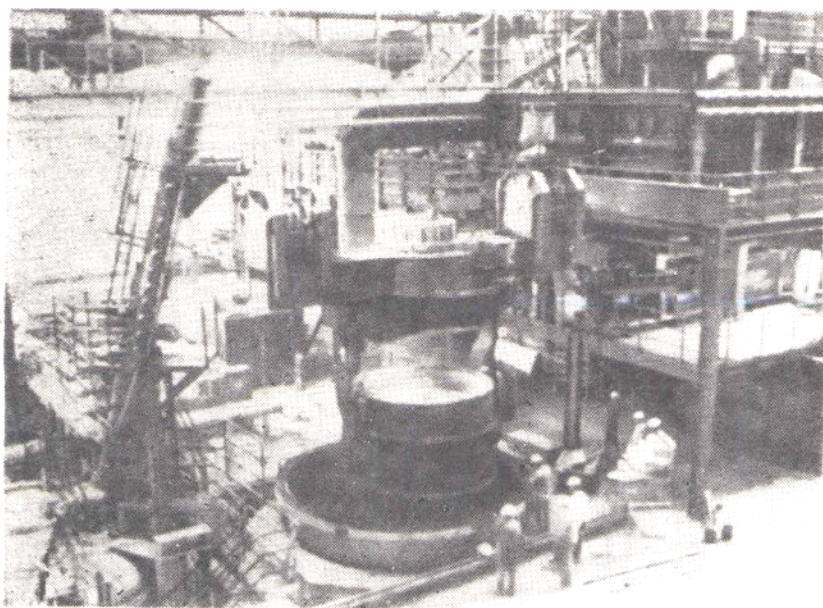


炉外精炼译文集

TRANSLATIONS

OF SECONDARY REFINING PROCESS



辽宁省冶金工业厅情报研究所

炉外精炼译文集

TRANSLATIONS

OF SECONDARY REFINING PROCESS

目 录

1. 碱性氧气转炉炼钢厂用于调整超低C、P、S、N钢成分的设备与工艺..... (1)
2. 采用RH真空脱气设备的二次精炼工艺的开发 (7)
3. 用Q—BOP—RH法综合精炼超低碳钢 (14)
4. RH操作在鹿岛钢厂的新发展 (19)
5. 蒂森钢铁公司利用RH工艺生产超低碳钢 (25)
6. LTV钢铁公司印第安那港厂钢包冶金设备的投产与操作 (31)
7. 索拉克敦刻尔克钢厂超低碳钢的生产 (35)
8. 电弧炉和钢包炉的发展..... (42)
9. 罗兰钢厂钢包冶金设备的安装和操作..... (46)
10. 赫施钢铁公司氧气顶吹转炉炼钢车间的二次炼钢设备..... (52)
11. 两台钢包冶金设备的投产与操作..... (56)
12. 通过KMS转炉和二次炼钢生产连铸优质钢 (60)
13. 向钢包吹氧钢水升温时铝、硅、锰的氧化反应试验..... (64)
14. 靠工艺自动化来实现AOD操作和冶金控制的优化 (71)
15. 生产超低碳高纯钢的冶金反应工程..... (77)
16. 钢包喷粉脱硫的规范优化..... (87)
17. 沸腾钢的炉后处理..... (90)

碱性氧气转炉炼钢厂用于调整超低

C、P、S、N钢成分的设备与工艺

埃卡特·黑斯

一、引言

在联邦德国，绝大部分粗钢是在碱性氧气转炉炼钢厂生产的。由于这些厂改进了吹炼工艺，并在二次炼钢方面投入大量资金，所以目前都能生产伴生元素含量极低的钢。本文对由这种目的要求的设备和工艺进行综述。

钢铁厂委员会的报告分两部分讨论了在碱性氧气炼钢工艺和附设的二次炼钢装置上将伴生元素脱除至极低的程度。报告中的“设备与工艺”部分就不同氧气转炉炼钢厂生产中的冶金反应进行了阐述，此外还介绍了为防止逆反应而需要采用的工艺工程设备。并且也指出了二次炼钢的任务。

第二部分报告是“工艺流程和操作效果”，这部分叙述了多级工艺流程。结合一些钢种讨论了有关脱碳、脱磷、脱硫和除氮方面的操作效果。最后简要概述了有关不同工艺自动化方面的内容。

图1a和1b两个图体现了三十五年来的变化（图略），图1a表达了1954年在一座贝塞麦转炉厂操作者肉眼评估样品含锰和磷量的景象。图1b给出了目前在一座现代的炼钢厂设在现场用人与机械共控方式的、以VDU（直观显示设备）为主进行过程控制与操作的转炉操纵站。从两个图片清楚地表明了钢铁工艺技术和操作环境的变化。

二、装备及工艺

1. 铁水处理

炼钢生产中的脱硫可分三个不同阶段进行，即铁水脱硫、敞口钢包脱硫或脱气钢包脱硫。转炉不再是主要的脱硫工序。为了将含硫量调至低水平，总是要以铁水处理作为开始工序。用户对钢中超低含硫量的要求也促进了铁水预处理发展的必要性，下面介绍一种适用于不同钢铁厂的可换型工艺。

图2a（略）是具有两个处理站，双喷枪装置和操纵室的铁水脱硫装置的照片。该装置根据共喷法进行操作，这样取代了两级脱硫工艺。两种方式脱硫工艺的比较如图2b所示。在两级法中，先在鱼雷式铁水车中用碳化钙（ CaC_2 ）混合剂进行预处理，然后

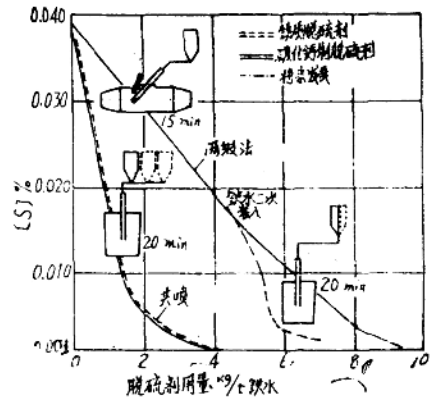


图2b 共喷法与两级法脱硫情况的比较

在铁水罐中用碳化钙或镁进行深脱硫。合喷法是在铁水包中用碳化钙和镁两种不同脱硫剂一起进行喷吹。脱硫的深度根据脱硫剂的量和成分以及容器的形状而定。此外，由于两种脱硫剂的联合反应，使整个脱硫效率大大提高，而且脱硫剂的耗量和渣量也明显减少。在共喷脱硫法中，也产生具有去除氮的作用。进一步发展的特征是需要另外一个吹炼容器。

2. 转炉操作

在转炉吹炼期间除了进行脱碳外，也进行着脱磷、脱硫和除氮的过程。采用底部搅拌的复合吹炼技术在脱磷上也具有很大优势，这体现了其现代化的特性。以低硅低锰铁水为炉料并通过加速渣造过程使含磷可降低更低。

在转炉中是不能进行充分脱硫的。当废钢中带入硫多时，即使铁水已进行了预脱硫，钢中的含硫量仍然较高。

除氮的程度一般为 20—40 ppm，其高低取决于铁水的加入量。高铁水比和矿石比能使含氮量略低一些，使含氮能保持在初始的水平。

图 3a (略) 表现了具有 CO 回收系统的转炉，这座转炉是密闭型的。转炉炉口和锅炉的下部之间除了留有小间隙外，由一个调节圈进行密封。但为了达到过程控制的目的，采用煤气成份和流量的测定系统，从密封系统能够直接获得数据。因此熔体和渣的氧化度（这对脱磷也有着决定性的影响）是可控的。

图 3b 表达了初期样含磷量与渣中含铁量的关系。虚线和实线表示不同的温度和操作方式。两个区域的碱度范围为 3（上限）至 4.5（下限）。下部区域表示的是采用副枪控制温度和带有动态吹炼模型控制转炉的情况。上部区域对应的是含有不同吹炼条件

（如减少转炉容积）和纯静态吹炼模型转炉的情况。这样的转炉改进后，就可以采用动态吹炼模型脱磷至 30 ppm，这在第一炉役已经实现。

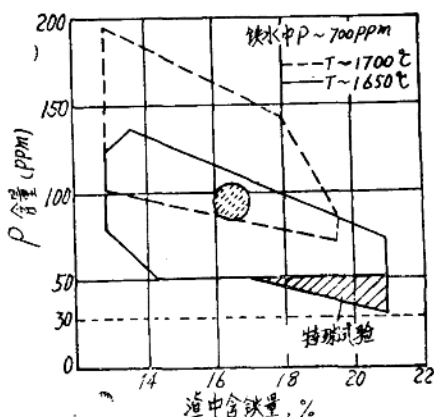


图 3b 碱度为 3.5—4.5 时含磷量随着渣中含铁量的变化

比较的重点在于因改善冶金反应控制而得到的发展可能性。为了使含硫量接近于工厂实验室确定的准确极限（阴影区），有必要提供最佳的装料和工艺条件以及稍高的渣中含铁量。象这样的控制方法可保证准确地调整所要求的金属和渣的成份。

3. 出钢及其设备

在出钢期间进行合金化，用铝脱氧时吸收氮，对高氧化度、高磷渣进行挡渣操作。即使是在现代化的钢铁厂，在出钢方面也应一如既往地重视经验和训练有素的操作者。

为防止处理后（如脱磷处理）的反应而设计开发的工艺工程如图 4（略）所示。其中包括插入转炉之前的挡渣设备，其它主要设备包括铁水和钢水的扒渣站，搅拌喷枪和多孔透气塞、惰性气体压缩滑动水口、钢包护罩装置以及绝热盖。这些设施的投资和维护费用是相当高的。

4. 钢水脱硫

在下列条件下利用高碱、低氧化铁的液态渣脱硫是非常有效的：即为减少因炉衬而产生的二次氧化采用碱性钢包内衬，以及钢水和渣的充分脱氧。

图 5a (略) 是在处理期间在钢包输送车上的白云石质内衬钢包的照片，辅助装置设在平台之上。

在工业性操作中采用如下方法可获得适宜的渣成份：在出钢时加入石灰或含石灰的熔剂与少量带出的转炉渣和脱氧形成的氧化铝混合，在钢包内强烈搅拌的过程中，混合物变成液态，通过添加铝或使之过合金化以减少新形成钢包渣中的FeO含量。

图 5b 表达了具 5% MgO 的 CaO—Al₂O₃—SiO₂ 三元相图中的缺口，在图中标明了铝镇静钢的硫分配计算值。脱硫能力的提高超于CaO饱和线。划出了一个有效脱硫的范围。两种渣系操作结果表明适宜的造渣制度，低碱度渣将导致较高的终点含硫量。为了获得极低的含硫量，必需增加CaO含量并且将金属氧化物含量降到很低的程度，而不必处于液态反应性好渣的范围内。

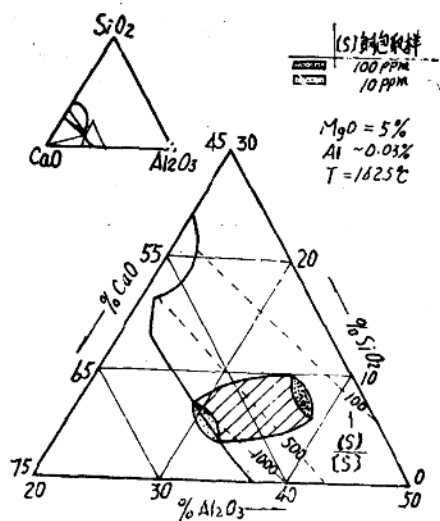
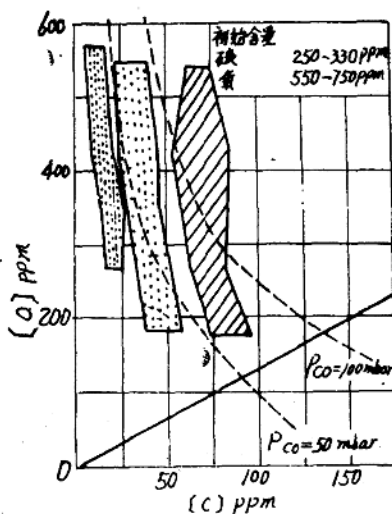


图 5b 使用高碱度钢包渣进行钢水的脱硫

5. 真空处理装置

图 6a (略) 表达了用于深脱碳设有循环脱气工艺的连通管的容器下部。在这种工艺中，以提升气体促使熔体连续循环并很大程度地加大了反应界面，从而形成了良好的脱碳条件。

图 6 b 所示为在碳—氧图中不同的操作结果。无论是转炉直接的数值，还是在出钢时合金化调整的数值，其原始含量都列于图下面的表中。



	压力 (mbar)	提升气体流量 (l(S.T.P.)/min)	处理时间 (min)
●	1-2	1500	>25
■	1.5	800	~20
▨	70-100	800	~15

图 6 b 采用循环脱气法脱碳

通过原管路的抽吸能力可以控制脱碳过程。当容器和连通管的几何形状给定时，终点含碳量主要取决于容器的压力和提升气体流量。通过适当地调节压力和气流量，可以达到与分析规范相符的不同程度低的含碳量。当要求含硫量非常低，达 200 ppm 以下时，则需要初始含硫量低，并且延长处理时间。反应气体 CO 和提升气体的搅拌作用减

少了钢中含氮量。

图7a(略)展示了用于钢水脱硫和除氮的钢包脱气装置。具有定位调节保温盖的钢包置于罐式真空容器中。处理时一个真空盖放在容器上面。通过底部的搅拌器喷吹惰性气体使熔体和渣产生涡流混合,从而创造一个良好的传质条件。附加漏斗和物料锁阀、喂线机和温度测量取样装置都设在真空容器的上面。

图7b表达了硫和氮的降低过程。前面已介绍了高碱度渣用于脱硫。当所得到的确实是无金属氧化物渣时,并且在工艺中使用的按大净空间设计的钢包中能实现强烈而充分的混合时,在真空条件下进行脱硫是非常有效的。

脱除氮的效果受一些已知因素的影响,即搅拌气体流量、压力和处理时间。当界面活性元素硫和氧的含量特别低时,可以保证得到高的氮向气相的传质速度。对这些关系的进一步研究和应用是将来的重要课题。

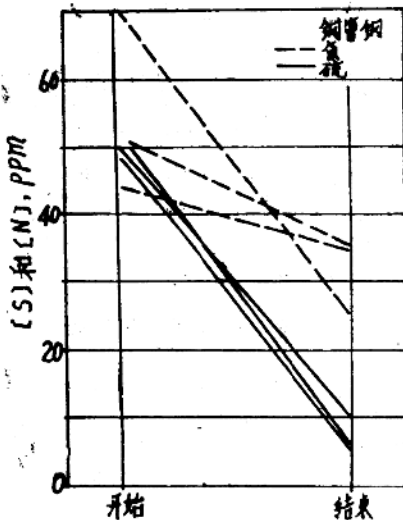


图7b 在钢包罐中的脱硫和除氮

如前所述的设备和工艺还具有许多其它功能,如氢的减少,精炼合金化,添加球化

夹杂物的物质,均匀钢包中钢水的成份以及调整温度等。在冶金过程所取得的这些效果在目前的连铸机上能够可靠地保持住,既通过采用工艺工程设备又应用纯浇铸辅助措施来实现这一目的。

三、工艺流程和操作结果

在下面将讨论不同碱性氧气转炉炼钢厂的操作结果。因此,必须从很宽的钢种范围内进行选择,所包括的钢占各个钢铁公司当时生产计划构成的20%,而且有上升的趋势。

1. 含碳量的变化

图8表达了三个钢种的不同含碳量,这三个要求低含碳量程度不同的钢种是:涂层薄板、IF钢和特制电工钢板。电工钢在转炉中和出钢时进行预调整。为了通过大量发生CO提高除氮能力,用碳化铁锰对要求低氮薄板钢种进行合金化。经过深脱碳并在真空装置中进行合金化之后,在浇铸时可看到增碳现象。当使用低碳浇铸保护渣时,通过对热带和真空处理样的比较表明在真空装置中调整的终点成份在成品材中也可以发现。

2. 含磷量的变化

图9表达了一种薄板钢和两种不同含磷要求的钢管钢的含磷量变化。只在转炉内进行规定的含磷量调整。

在复合吹炼工艺中,从取样后转炉内反应继续进行到出钢开始。磷进一步降低的结果在低合金钢板时是明显的。对于钢管钢,这种作用受到高合金比的阻碍。只能用低磷合金来限制含磷量的增加。

由于在转炉中留存的渣量减少,在钢包处理时,所有的钢都发生轻微的回磷。这种

反应可以通过钢包扒渣来防止。

3. 含硫量的变化

以钢水脱硫为主的工艺流程如图10a所示。以铁水深脱硫为主的操作方式如图10b表明。所有考虑情况都与分析规范最大[S]分别为10ppm和20ppm的钢管有关。

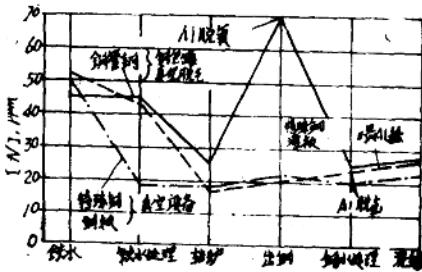


图8 转炉—真空处理钢中含氮量的变化

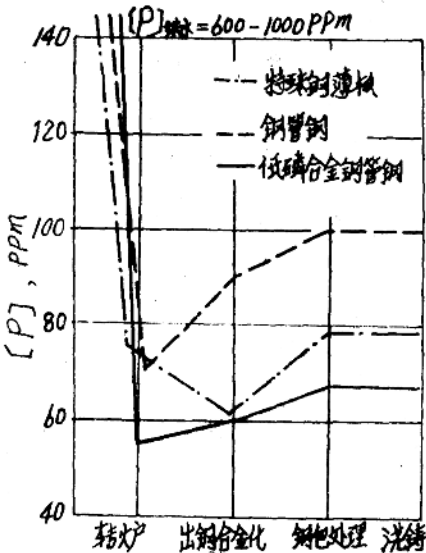
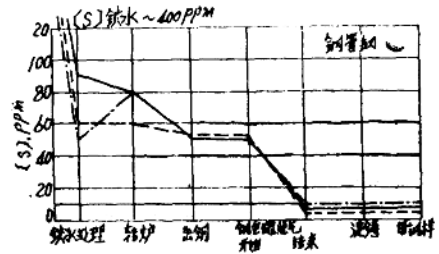
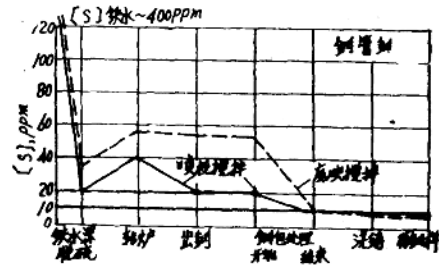


图9 在转炉中脱磷及回磷情况下钢中含磷量的变化



a) 铁水脱硫—钢包罐脱气装置流程



b) 铁水深脱硫—钢包处理流程

图10 钢中含硫量的变化

(1) 钢包罐脱气

当铁水进行预脱硫之后，在转炉中只能保持住这个含硫量，但是由于废钢的装入，含硫量也会再一次增加。

以高硫含量钢水出钢的钢厂可通过添加顶渣和短时间搅拌来进行脱硫。

主要的脱硫反应在钢包罐脱气装置上进行。

(2) 铁水深脱硫

没有钢包罐脱气装置的钢厂把绝大部脱硫任务转移到铁水处理阶段。因此他们接受在转炉内发生的硫化。但是总的来看，对于脱硫来说，这只达到了较低的初始阶段。通过在钢包上采用喷枪或底部搅拌装置可以实现脱硫要求不高的处理。

4. 含氮量的变化

图11表达了采用不同铁水处理和脱氧技术时两个钢种的含氮量，对于钢管钢，必须

调节至低硫氮含量。在特制薄板钢种中，主要影响因素是含氮量。

(1) 钢管用钢 (采用钢包罐脱气装置的流程)

对铁水进行除氮是不能进行的。在转炉中可以正常地除氮。在出钢时添加铝以及在下一道工序进行预脱硫可导致明显地回氮，在用钢包罐脱气装置进行脱硫期间，可完成脱氮的任务。

(2) 特殊钢板钢 (可采用两种办法)

一采用共喷进行铁水脱硫同时除氮 在转炉采用高矿石比提高除碳能力。

一通过喷吹脱氮剂将铁水中的氮除至较低程度并在转炉中保持住这个水平。

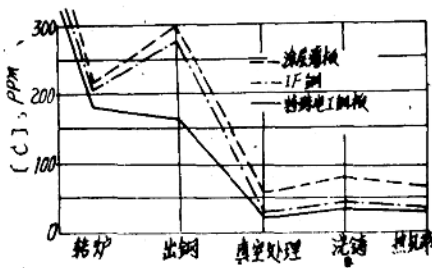


图11 含氮量的变化 (采用不同铁水处理和Al脱氮的流程)

在这两种情况下，出钢不用加铝，从而限制了出钢时的回氮。根据现有的生产设备在以后采用铝喂线机进行钢包脱氧，或者在真空装置中进行彻底脱气时进行脱氧。

(3) C、S、N含量的变化

图12表达了对 $[Si] > 3\%$ 的电工钢将 C、N、S 脱至极低程度的过程。必须符合软磁材料性能严格要求的电工钢是用有害伴生元素含量低的硅铁合金生产的。进一步的发展目标是生产可测合金含量的纯铁。

多个的工艺步骤和各个不同的处理距离需要对超过6小时的一段时间的生产次序进行严密的组织管理。各个工作程序、扒渣和

处理操作所需要的时间在图中也表示出来了。经过铁水预处理、吹炼工艺、除渣和真空处理后，碳、硫和氮的含量都降到30ppm以下。

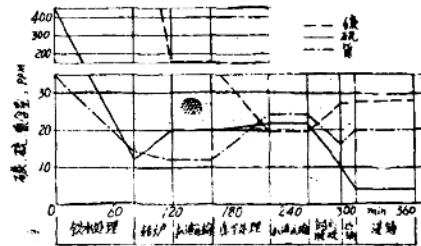


图12 硫、碳、氮含量的变化 ($Si > 3\%$ 电工钢的多级处理流程)

在真空处理期间由于加合金料的原因钢中含氮量明显增加。在下一道钢水精脱硫处理中，含氮量由于搅拌作用随着硫的降低也降低。由于脱硫剂加入以及与钢包衬反应的原因，含碳量有所增加。在运输过程中出现的沉淀现象促使含硫量进一步降低，最低可达4ppm。

在成品样中这些元素的总和约52ppm，这是整个钢铁厂共同努力所取得的优良成果。从对其它钢铁厂的样品分析也可以看出都能满足类似的要求。

5. 生产管理和工艺控制

在描述不同工艺过程中已经简要讨论了吹炼模型、控制方法和组织管理的问题。图13给出了现代生产管理和工艺控制中的这一非常重要的环节的思路。图13a (略)展示了在计算机室中监控实际生产数据的操作者，具有若干座转炉，连铸机和二次炼钢设备的BOF炼钢厂的系统结构如图3b所示。

在生产管理水平上采用了用于炼钢设备和连铸设备的双计算机系统，并且数据传输网络与外部系统相联。这种工艺控制包括用

(下转第13页)

采用RH真空脱气设备的二次 精炼工艺的开发

水上良正 等

一、前言

近年来，一直要求钢材满足愈来愈严格的质量要求，尤其普遍要求高纯度钢所含杂质如氮、氧、磷、硫和氢同时降低。因此，为了满足这一要求使二次精炼工艺遇到了更加变化多端的要求，工艺复杂性增加的结果已经成为努力以低成本大量生产高纯度钢的障碍。

在众多二次精炼工艺中，考虑到操作容易和生产能力大，也利用原来为去除钢中氢而开发的RH工艺来脱碳、脱氧和成分制。增加了吹氧加热功能（RH-OB）以便于生产超低碳钢，并且发展了熔剂精炼脱硫功能。由于这些开发和改进，作为具有多重功能的二次精炼设备RH真空脱气装置已经取得了迅速发展。

新日铁名古屋厂开发了一种新的二次精炼工艺，称做RH-PB工艺，该工艺增加了喷粉功能，利用普通的RH-OB设备下部容器中的吹氧喷嘴喷粉，进行脱硫、脱磷及真空脱气处理。下面概述RH-PB工艺及其操作结果。

二、RH-PB工艺的特点

在最近其严格性增加的质量要求中，钢板必须满足： $\leq 1.5\text{ppm}$ 的超低氢含量； $\leq 10\text{ppm}$ 的超低硫含量；超低氮含量。薄板也面临着超低含碳量和超低磷含量分别 $\leq 30\text{ppm}$ 和 $\leq 20\text{ppm}$ 的规定，以改善加工性能。

为了满足这些要求，采用复合二次精炼生产钢板。该工艺由向钢包中喷粉脱硫或普通钢包炉脱硫与RH真空脱气进行脱氢组成。超低碳钢的生产必须依赖于钢包脱磷和RH容器脱碳的结合。

这些复合二次精炼工艺具有下列缺点：由于物流复杂性增高而引起热损失增加并降低生产率；随工艺步骤增多使氮的吸收增加（尤其在钢包脱硫过程中增加了来自于大气中的氮的吸收，这是由于在强脱氧条件下钢水受到强烈搅拌所致）。

为克服上述缺点，直接向RH容器中喷射熔剂被认为是解决问题的一种方法。因为钢包中钢水与上部渣的混合程度轻而容器又处于真空条件下，直接向容器中喷射熔剂可望获得下述效益并解决复合二次精炼问题：

①熔剂精炼（脱硫、脱磷）可与脱气（脱氢、脱碳）同时进行，减少了所要求的工艺步骤；

②钢包上部渣的作用将减至最低程度，反应过程主要由熔剂颗粒和钢水的直接反应组成，增强了二次精炼的效果，其它元素（铝、铁等）含量的变化减小；

③可以防止从大气中吸收氮。

通过向RH容器中喷射熔剂开发了RH-PB工艺，获得了上述效益。

三、RH-PB设备概况

在RH-PB工艺中，通过设于下部容器中的氧气喷嘴（用于对钢水加热和脱碳）与

载气一起喷射粉状熔剂。

RH-PB设备示意图如图1所示,其主要技术数据列于表1。设于下部容器上的两个喷嘴的开关结合起来使用,进行既可吹氧又可喷粉的操作。每个喷嘴能够以 $1500\text{Nm}^3/\text{h}$ 的最大流量吹氧,通过加铝可以加热钢水 $8\sim 10^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

①每个喷嘴最大喷粉流量为 $150\text{kg}/\text{min}$ 。与普通钢包喷射相比,由于在真空条件下进行喷射,能够以较低的压降、较大的固/气比和较高的速度喷射粉剂。

②喷嘴的寿命与下部容器的耐火衬寿命一样,在整个炉役不用维修而连续使用。

四、RH-PB处理

1. 超低硫钢的处理

典型的超低硫钢板目标成分列于表2。这种钢的生产过程和RH-PB处理方法分别示于表3和图2。

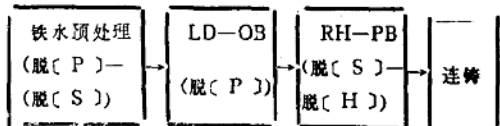
表1 RH-PB设备的主要技术指标

项目	技术指标
炉容	250t
真空度	1~100托
连通管直径	730mm
喷嘴数量	2(双管喷嘴)
氧气流量	$1500\text{Nm}^3/\text{h}$ ·喷嘴
喷粉	
熔剂喷射量	$150\text{kg}/\text{min}$ ·喷嘴(最大)
载气种类	氩或氮
喷吹量	$100\text{Nm}^3/\text{h}$ ·喷嘴
压力	$7\text{kg}/\text{cm}^2$

表2 超低硫钢的目标化学成分

成分	P($\times 10^{-3}$)	S(ppm)	H(ppm)	N(ppm)
Al-Si镇静剂 (用于钢板)	≤ 10	≤ 10	≤ 1.5	≤ 40

表3 超低硫钢的生产过程



经铁水预处理和LD-OB吹炼的低磷钢水输送至RH设备,通过真空脱气加铝脱氧、喷射 $\text{CaO}-\text{CaF}_2$ 脱硫剂同时进行脱氢和脱硫。紧接着就是吹氧加热或其它元素细微的成分调整,如表2所列的这类超低硫、氢含量的钢可以在20分钟内用这种RH-PB工艺处理完毕。

2. 超低碳和超低磷钢的处理

超低碳和超低磷钢的典型目标成分列于表4。该钢种的RH-PB处理方法示于图3。其生产过程和RH-PB处理方法与超低硫钢大致相同。超低碳、超低磷钢与超

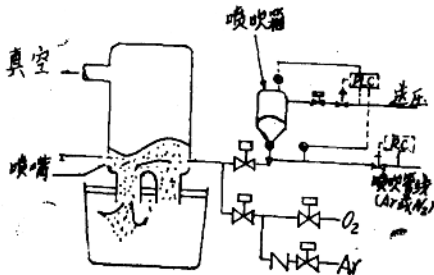


图1 RH-PB设备示意图

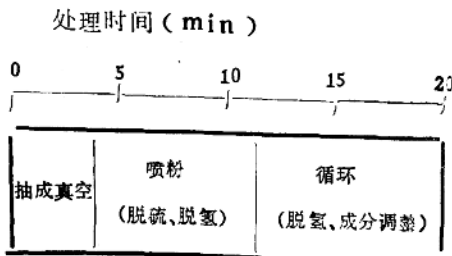


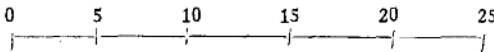
图2 超低硫钢的RH-PB处理方法

低硫钢的不同之处在于：后者先进行吹氧进行脱碳，接着在不脱氧条件下喷粉同时进行脱碳和脱磷。因此，成分如表4所列的这种超低碳、超低磷钢可以在总处理时间25min内处理完毕。

表4 超低碳、超低磷钢的目标成分

成分	C(ppm)	P(ppm)	S(ppm)
Al镇静钢 (用于薄板)	≤30	≤20	≤30

处理时间(min)



抽成真空	吹氧 (脱碳)	喷粉 (脱磷、脱碳)	循环 (加热、成分调整)
------	------------	---------------	-----------------

图3 超低碳、超低磷钢的RH-PB处理方法

五、脱磷和脱硫的特性

RH-PB 工艺的目的在于熔剂颗粒与钢水直接反应。期望与普通钢包喷粉工艺相比，使钢包中渣的不利影响降低。在实验室和车间进行的试验主要与熔剂粉粒及其喷射位置有关。

1. 熔剂粉粒的脱硫、脱磷特性

采用其比例为1:1的氧化钙 (CaO) 和氟化钙 (CaF₂) 作为脱硫熔剂，它具有最佳的脱硫能力 (如图4所示) 和很大的脱磷能力 (如图5所示) 在RH-PB真空脱气装置的下降连通的正下方取样以研究熔剂粉粒的脱硫和脱磷特性。

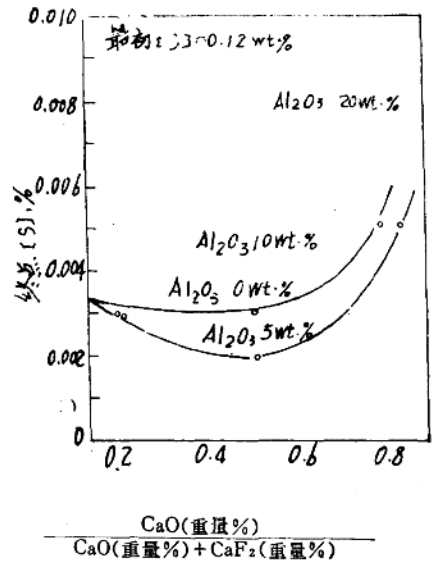


图4 熔剂成分对终点硫含量的影响

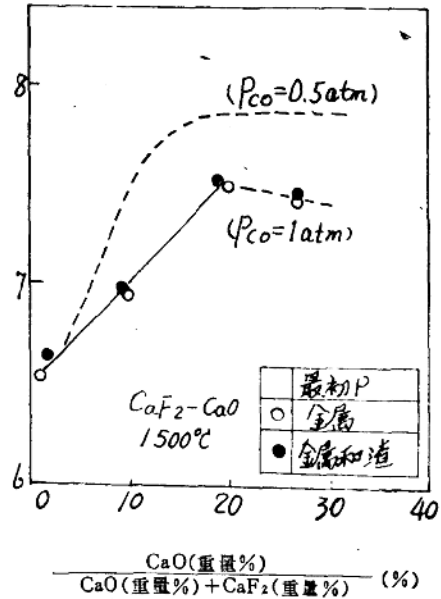


图5 熔剂成分对脱磷能力影响

(1) 脱硫特性

图6示意了从钢包中复盖着氧化性LD渣的铝-硅镇静钢中取样得到的熔剂粉粒的

硫含量；熔剂粉粒的EPMA特性的X射线图像示于图7（略）。熔剂粉粒呈完整球状，喷入容器中的熔剂在到达下降连通管正下方后完全转化成渣。当用铝脱氧后喷射熔剂一段时间所取的A样和B样含硫较高。当在吹氧加热后立即喷射熔剂时取的C样、D样和E样则 Al_2O_3 、 SiO_2 、 MnO 和其它能降低硫化能力的组分的浓度较高，而硫富集量小。这些颗粒被认为是在吹氧加热期间形成的 Al_2O_3 、 SiO_2 和 MnO 与熔剂粉粒聚合而成。这些结果表明：在吹氧加热前喷射熔剂的RH—PB处理方法对提高脱硫效率是有效的。

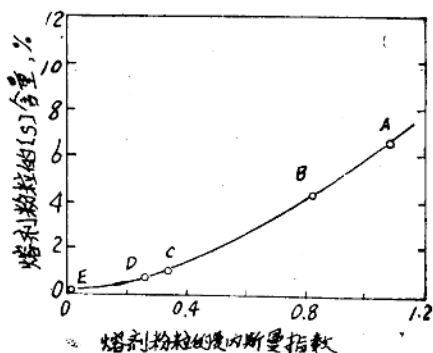


图6 熔剂粉粒的成分和硫含量

(2) 脱磷特性

从未脱氧钢水中所取熔剂粉粒样的磷含量示于图8，其EPMA特性的X射线图像示于图9（略）。正如在脱硫钢中所观测到的那样，熔剂粉粒呈完好球状并在到达下降连通管正下方后立即转变成渣。

从图8可以看出，在某些熔剂粉粒中以 $4CaO \cdot P_2O_5$ 或 $3CaO \cdot P_2O_5$ 形式富集的磷接近理论极限，简言之就是可以进行高效脱磷。这样我们就可以假定当熔剂与钢水直接反应时脱磷反应基本上不受钢包顶部低碱度渣的影响。

2. 熔剂喷射位置的影响

采用1/5规模的水模型试验研究了熔剂喷射位置对脱硫、脱磷反应的影响。在试验研究中，用氯化钠（NaCl）作示踪剂，在三个位置喷射：上升连通管与下降连通管中间位置（A）；上升连通管之上位置（B）；下降连通管正下方位置（C），在下降连通管出口处和钢包内测量导电性，如图10所示。在三处熔剂喷射位置的导电性变化示于图11。

当在位置（A）喷射熔剂时，下降连通管出口处测量的导电性有摆动现象，说明在容器中熔剂分布不均匀。这种摆动现象在位置（B）和（C）依次得到改善。按照熔剂喷射位置进行了脉冲响应试验以定量测定熔剂与钢水的混合特性。熔剂的停留时间分布示于图12。当采用连续搅拌的筒式反应器组模型时，对位置（A）筒式反应器组为8~10，位置（B）和（C）为2~3。结果由此发现了一种可能性：当熔剂在强搅拌区喷射（如位置B和C），可以明显改善熔剂与钢水的混合，从而加速脱硫和脱磷反应。

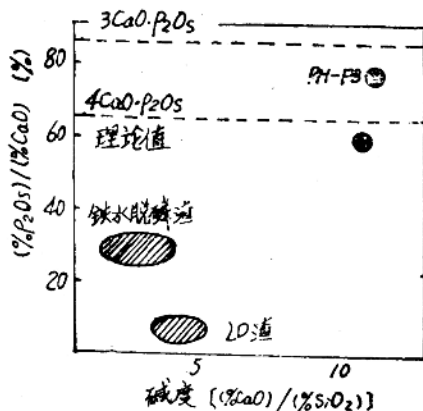
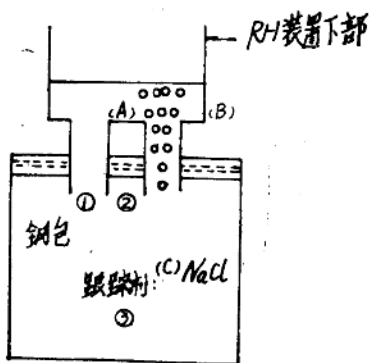


图8 熔剂粉粒的磷含量



1) 试验方法: 使用NaCl作示踪剂; 2) 喷射位置:
 (A) 上升连通管与下降连通管的中间 (B) 上升连
 通管的正上方 (C) 上升连通管的正下方; 3) 导电
 性测量位置: ①下降连通管正下方 ②钢包上部
 ③钢包下部

图10 RH真空脱气装置 1/5 水模型的
 试验方法

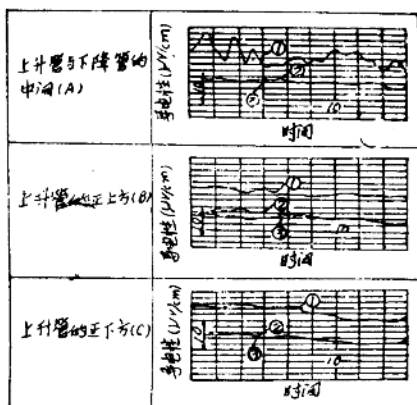


图11 导电性随喷射位置的变化

根据上述结果, 在工业RH-PB设备上
 对脱硫、脱磷特性进行了研究。研究结果示
 于图13~17。

从图13、14可明显看出, 脱硫程度受熔
 剂喷射位置的影响极大, 当在上升连通管正
 上方喷射熔剂时, 脱硫程度得到很大的改善。
 结果, 以4kg/t的熔剂耗量可以生产含量为
 5 ppm的超低硫钢。

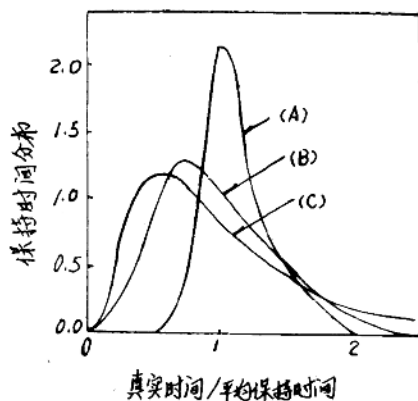


图12 脉冲响应试验结果

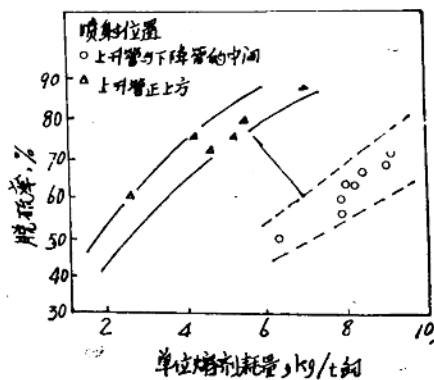


图13 脱硫程度与熔剂耗量的关系

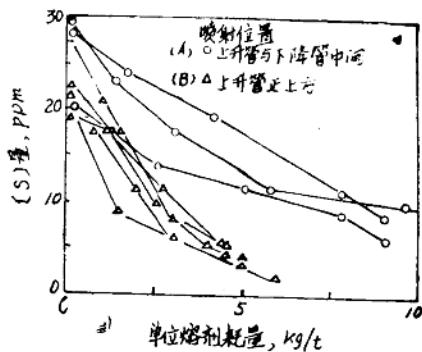


图14 熔剂耗量与终点硫含量的关系

从图15可以证实：与常规钢包喷粉工艺相比，RH—PB工艺对钢包渣的影响不那么敏感。

脱磷率表示为最初磷含量 $[P]_i$ 与终点磷含量 $[P]_f$ 之比除以熔剂耗量，如图16所示，脱磷率受游离氧含量和真空度的影响，这与脱硫率一样，当在上升连通管正上方喷射熔剂时脱磷率得以改善。

如图17所示，在不脱氧条件下，相对于最初 150~300ppm 的磷含量可以达到每单位熔剂耗量 (kg/t 钢) 为 $\Delta [P] = 20 \sim 30$ ppm 的较高脱磷率。当以 3kg/t 的量喷射熔剂在不脱氧条件下生产超低碳铅镇静钢时，实际所达到的终点磷含量为 10ppm，而初始磷含量大致为 20ppm。

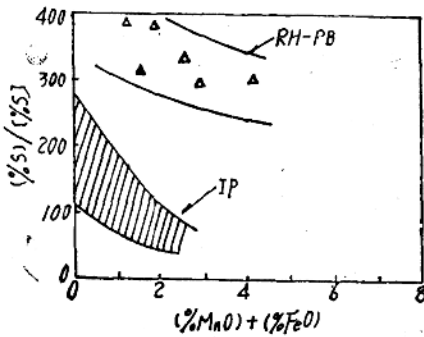


图15 渣中 $(\%FeO) + (\%MnO)$ 与 $(\%S) / [\%S]$ 的关系

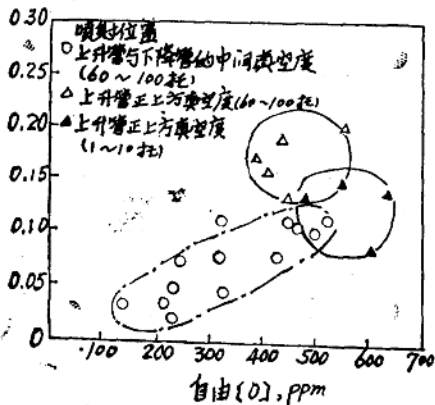


图16 熔剂喷射位置、自由氧含量和真空度对脱磷率的影响

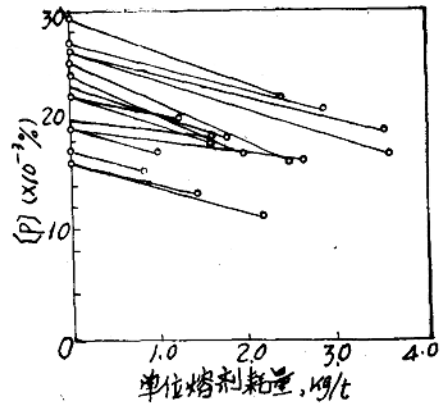


图17 熔剂耗量与终点磷含量的关系

六、其它元素的行为

下面讨论在RH—PB工艺处理钢水过程中除硫以外的氢、氮、总氧量等组分的行为。

在RH—PB处理过程中的氢行为示于图18。RH—PB处理中脱氢良好，可以满足产品氢含量 ≤ 1.5 ppm 的技术要求，RH真空脱气中同时完成了预定的脱硫、脱氢目的。

在RH—PB处理过程中氮的吸收如图19所示。在真空条件下进行脱硫实际上避免了氮的吸收，这与普通钢包喷粉不同，RH—PB工艺完全能够满足低氮含量的要求。

图20比较了采用RH—PB工艺处理时与采用普通RH工艺处理时的氧含量。两组数值大致相等。可以认为其它元素的行为也与脱磷过程中的行为类似。

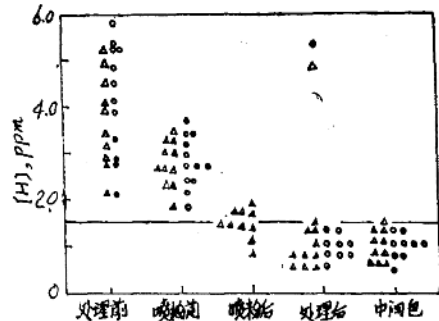


图18 在RH—PB处理过程中的氢行为

根据上面的讨论可以说：RH—PB设备是一种保持了普通HR真空脱气功能而且增加了脱硫或脱磷功能的二次精炼设备。

七、结论

开发了一种称作RH-PB工艺的新型二次精炼工艺,通过设于RH-OB容器下部的喷嘴喷射大部分粉剂,同时进行脱硫、脱氢以及脱磷。对于RH-PB工艺获得了下列发现:

① 在RH-PB工艺中的脱硫、脱磷反应主要与熔剂粉剂和钢水的直接反应有关。脱硫与脱磷效果主要取决于熔剂粉剂在钢水中的混合特性。

② 在初始硫含量为20~30ppm,熔剂耗量为4kg/t,而熔剂喷射状态最佳化时,脱硫率达70~80%,终点硫含量为5ppm。

③ 在未脱氧条件下,对于150~300ppm的初始磷含量可以达到单位熔剂耗量(kg/t钢) $\Delta[P] = 20\sim 30\text{ppm}$ 的脱磷率。

④ RH-PB工艺脱氢令人满意而对普通的RH真空脱气能力无不利影响。可以避免氮的吸收且稳定地生产最大氢、硫、氮含量分别为1.5、10、40ppm的钢,处理时间约为20min。

参考文献: (略)

崔德成 译自《SCP》1989

裴孝民 校对

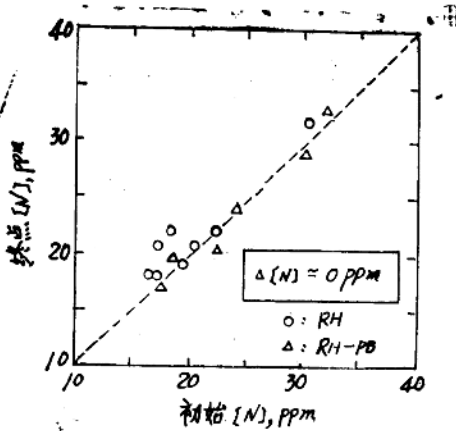


图19 RH-PB处理过程中氮的吸收

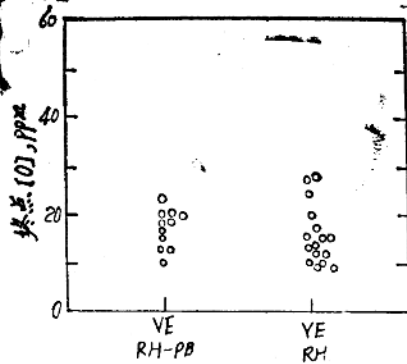


图20 采用RH-PB和普通RH处理的总氧量比较

(上接第6页)

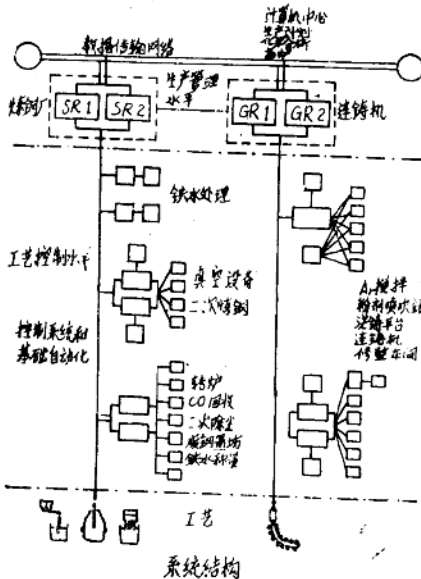


图13b 工艺流程自动化结构

于测量和控制目的的基础自动化,控制和元件,以及操作和监控功能。

钢铁厂装有目前这样的自动化系统的目的是为充分利用工艺控制和质量保证的计算机辅助管理生产方法。

孙宝坤 译自《MPT》1990.2

崔德成 校对

用Q-BOP-RH法综合精炼超低碳钢

今度広 等

一、前言

为了满足日益增长的对通过连续退火工艺生产压力加工性好的冷轧钢板的要求。用通常的炼钢工艺生产超低碳钢是非常重要的。

千叶厂第3炼钢车间自1977年开始已来一直致力于制定用Q-BOP-RH方法大规模生产超低碳钢的工艺。因此,平均含[C] 20ppm的超低碳钢已工业性地、稳定地多炉生产了30炉以上。

本文论述了为稳定转炉操作而降低出钢温度和为多炉连铸而缩短在RH中的脱碳时间。

二、超低碳钢的生产方法

在千叶厂3炼钢车间的超低碳钢的生产方法及其[C]含量的变化分别示于图1和表1。

钢从Q-BOP(平均含[C] 100-200ppm), 出钢温度是1630°C)被输送到RH(连通管内径550mm)进行将含[C]降至20ppm目标值的真空脱碳。平均脱碳和脱氧的操作时间为25分钟。然后用垂直一顶弯双流连铸机多炉连铸(板坯宽=260mm, 浇铸速度=1.6m/min), 中间包浇铸的钢水平均[O]含量为32ppm。

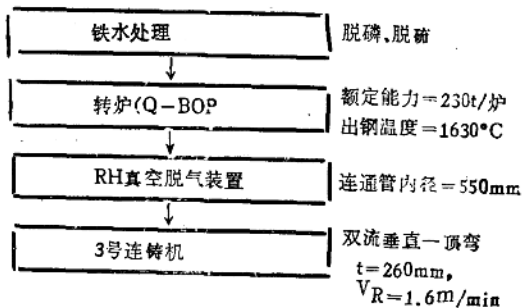


图1 超低碳钢的生产工艺流程

表1 [C]含量和[O]含量的变化

	[C](ppm)	[O](ppm)
Q-BOP	100-200	450-550
RH	20	40
CC	20	32

三、对超低碳钢生产的改进

由Q-BOP生产的钢([C]=100~200ppm)在RH真空脱碳期间可以被脱碳成超低碳钢。Q-BOP渣中的T·Fe含量低于LD渣的T·Fe含量,这是由于通过图2所示的强烈的底部气体搅拌的结果。为了实现获得低于20ppm[C]含量的稳定脱碳,需要足够的脱碳时间,这导致了Q-BOP的出钢温度较高。较高的出钢温度使得耐火材料的磨损速度提高并破坏了Q-BOP的脱磷操作。由于此不利因素和把钢包送至连铸操作的能力不足,很难不受限制进行完全的多炉浇铸操作。

要想克服以上不足,重要的是缩短RH真空脱碳时间,减少从出钢到中间包浇铸过程中的温降。川崎钢公司进行了以下改进:

① 缩短RH中的真空脱碳时间:提高循环气流量,加大连通管内径,根据测量的自由氧计算[C]含量。

② 减少温降:控制出钢温度要求,控制运行中的钢包数量;对钢包衬使用绝热材料。

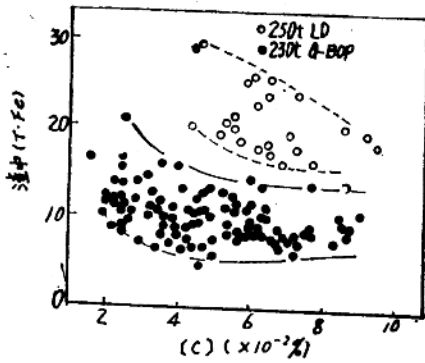


图2 渣中(T·Fe)与[C]含量之间的关系

四、缩短RH的真空脱碳时间

1. 真空脱碳反应分析

利用数学模型分析真空脱碳反应。在真空装置中的[C]含量的质量平衡式为：

$$V \frac{dC_t}{dt} = Q'(C_v - C_L) \dots\dots\dots (1)$$

$$v \frac{dC_v}{dt} = Q'(C_L - C_v) - ak(C_v - C_e) \dots\dots\dots (2)$$

初始条件

$$C_L = C_v = C_L^0 \text{ 在 } t=0 \text{ 时 } \dots\dots\dots (3)$$

此处V, v: 钢包及真空装置的钢水体积(m³)

ak: 脱碳反应的体积系数(m³/min)

C_L, C_v: 真空装置中[C]含量(%)

C⁰: 初始[C]含量

C_e: [C]含量与P_{co}的平衡(%)

Q': 钢水的循环流量(m³/min)

在RH操作中将20托的真空压力改成1托的压力, 以便达到较低的C_e含量, 那么

在方程(3)条件下, 而且C_e=0, 方程

(1)和方程(2)便是:

$$C_L = C^0_L \exp(-kt) \dots\dots\dots (4)$$

$$K = \frac{ak}{Q' + ak} \dots\dots\dots (5)$$

在此处, 如果Q' > ak (反应控制)

$$C_L = C_L^0 \exp(-akt/v) \dots\dots\dots (6)$$

如果Q' < ak (循环控制)

$$C_L = C_L^0 \exp(-Q't/v) \dots\dots\dots (7)$$

图3示出Q和ak对K的影响, 图3中的I、II、III表示对于提高脱碳反应速度的实验步骤。

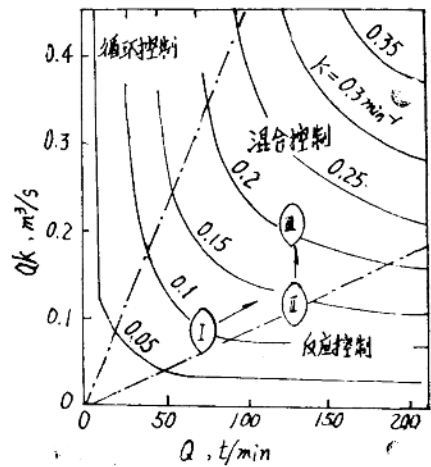


图3 Q和ak对K的影响

2. 加大连通管内径, 提高循环气体流量

为了提高循环流量, 在表2所列条件下进行了加大连通管直径, 提高Ar流量的试验。因此, 将I区改进成如图3所示的II区。

从II区到III区的最终改进是通过下部装置底部增加吹Ar流量获得的。其结果(示于图5)是改善了脱碳反应速度并经10分钟的