

国外机械技术资料

鋼水包炉炼鋼法

第一机械工业部情报所

目 录

引言	1
原理、设备	3
一、原理与设备特点	3
二、感应搅拌器的设计	7
操作经验	13
一、脱硫	13
二、脱氧	19
实例	23
一、瑞典波费斯钢厂(1)	23
二、瑞典波费斯钢厂(2)	30
三、瑞典吕勒欧冶金研究厂	33
四、美国阿尔芬尼钢厂	40
五、70吨钢水包炉的成套设备	43
附表	53

引 言

瑞典通用电气公司 (ASEA) 和滚珠轴承公司 (SKF) 协作, 研究出一种新的优质钢冶炼过程, 简称为 ASEA-SKF 过程。这项新技术首先是在波费斯 (Bofors AG) 钢厂进行工业实验的, 在炼制低硫合金钢种方面获得显著成效, 所以有人又把这项技术称为波费斯脱硫过程。

该项技术的目的在于提高合金钢种的冶金质量和生产效率。

合金钢的冶炼过程可分为三个阶段: 即初炼阶段, 脱碳和脱磷阶段, 脱硫、合金化精炼阶段。

迄今, 在所有类型的炼钢过程中, 这三个阶段都是连续在一个炉体内完成的。

这些类型的炼钢炉都各有一些人所共知的优点和缺点。总的来说, 冶炼低硫钢种都比较困难; 难以连续生产变钢种合金钢; 与技术发展对合金钢质量要求日益提高的趋势不相适应。

在这方面, ASEA-SKF 炼钢法因下列特点而卓见成效 (图 1)。

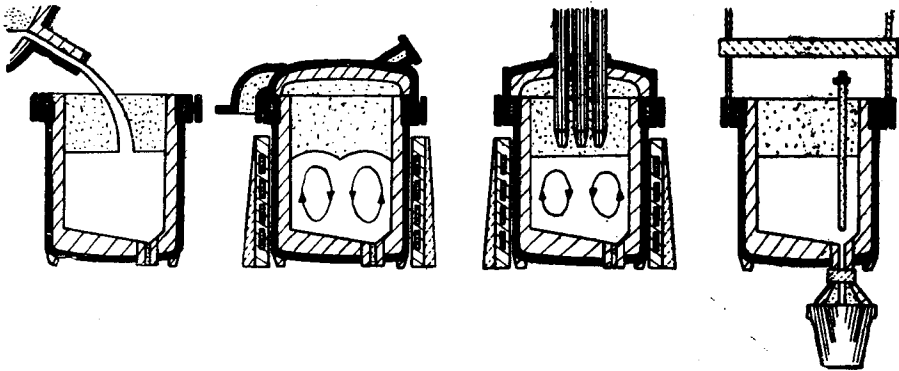


图 1 ASEA-SKF 炼钢过程示意图

1. 把精炼阶段从初炼炉——平炉、电炉、转炉、感应炉 (把感应炉作为一种初炼设备在现有的事例中还未见报导) 转移到特制的另一套精炼设备中进行, 从而可以充分发挥初炼设备的能力。

2. 这个精炼炉, 即所谓钢水包炉, 可以和任何一种初炼炉配合应用。它由钢水包、感应搅拌器、电极炉顶和真空炉顶四大部件组成。

3. 将盛装初炼钢水的钢水包放在感应搅拌器中后, 首先盖上电极炉顶对钢水加热, 此时, 它就是一座电炉; 然后以真空炉顶 (通真空系统) 取代电极炉顶, 就变成一个真空除气容器了。

4. 感应搅拌器是钢水包炉的核心部分。其壁内成对埋设感应圈, 通入 1~2 赫芝的变流电, 则钢水在其感应作用下, 急剧喘动、沸腾。改变感应圈的配置形式, 钢水的运动状态亦随之改变。

5. 感应作用持续于精炼的全过程。钢水急剧翻滚，有助于造渣剂充分交融，促进杂质微粒凝聚上浮、气体漂溢，强化了除渣、除气过程，提高了合金的收得率。真空则进一步增强了净化效果。

基于上述优点，该过程的技术经济性表现为

初炼炉的生产能力可提高30%；

夹杂物及气体含量比一般炼钢过程可减少将近一半；

在使用优良脱硫剂的条件下，含硫量有把握地控制在0.001~0.003%之间；

综合机械性能提高10~20%。

截止1971年，有近20套这种设备在世界各国运转（参加附表）。据报导，最近又有大量定单。也有的厂在订购一台后，又增订了一台。但是这套设备的操作条件比较严格。钢水包容易渗漏。关于感应绕组的形式还在研究，钢水呈现什么样的沸腾状态最为有利还不完全清楚。有关国家订购的设备在结构和操作程序上也不完全相同。这些，都是研究和采用这项技术时必须注意的。

原 理、设 备

一、原理与设备特点

如前所述，ASEA-SKF 炼钢法的主要特点是，把炼钢过程分成二个步骤进行：

1. 炼制粗钢，这可在已有的电炉、转炉、感应炉、平炉或其它专门设计的装置内进行。这个阶段，对钢水无任何特殊要求。

2. 把初炼钢水精炼成优质钢，即把钢水倒入钢水包炉内精炼，目的在于获得低硫钢水，在磁场和真空双重作用下进行精炼。

钢中产生缺陷的主要原因，无疑是冶金上的问题。除了原材料（在炼钢中它在这方面仅起次要作用）之外，对钢的最后质量起支配作用的是炉子和浇铸。在普通炼钢中，人们力求钢水“洁净”，可是无疑地钢水多少受到一些“污染”。

在许多情况下除气或真空处理已成为当前炼钢的一个部分。氢和氧都是造成钢中缺陷的主要原因。对于某些钢种来说，甚至氮的含量也要求很低。这些元素中，氢的含量通过真空处理可以有效地降低。氧的含量（尤其在低碳钢中的氧）也受到很大影响。氧的最后含量，当然受碳含量的影响。而氮的含量几乎不受正规除气的影响。

因此真空处理只能解决生产无缺陷钢中存在的一部分问题。

为了生产质量更高的钢，对下列几点的要求更为严格：

1. 含氢量低
2. 含氧量低（即熔渣夹杂物少）
3. 在某些情况下，要求横向冲击强度高的钢，含硫量必须很低
4. 化学成分差别少
5. 按照规定的温度浇铸或是浇铸温度差别很小

为了满足上述各项要求，发展了 ASEA-SKF 钢水包炉。

ASEA-SKF 钢水包炉与下列炉子结合使用的优点如下：

a) ASEA-SKF 钢水包炉与电弧炉（两次造渣）结合使用，由于精炼过程转到钢水包炉内进行，这意味着电弧炉生产速率大大提高。

b) ASEA-SKF 钢水包炉与平炉或碱性氧气转炉结合，这意味着大大地扩大了可在这些炉内所生产的钢种范围。这甚至对于一次造渣操作的电弧炉也是如此。

由图 1 可见，钢水包炉包括以下部分：

钢水包，非磁材料制成，塞杆式出钢孔，可直接用于浇铸

感应搅拌器，搅拌

真空炉顶及真空泵系

电极炉顶及电气设备

电视——摄影及其它辅助设备

钢水包炉装置可分二种（图 2）。感应搅拌器固定、而真空炉顶和电弧炉顶摆动者，为固

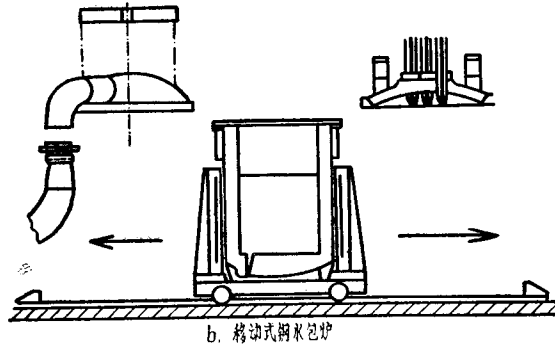
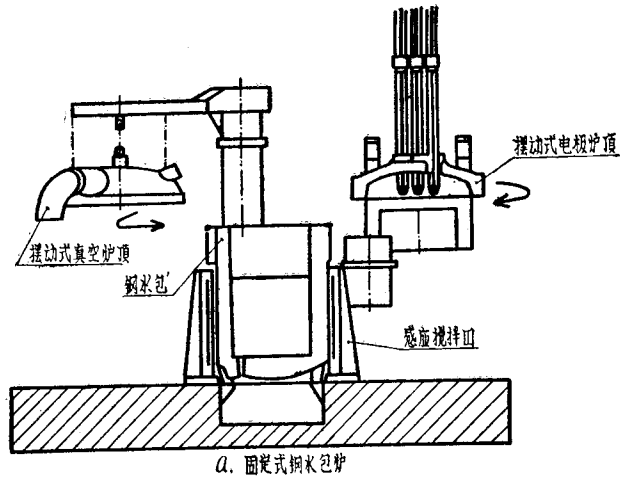


图 2

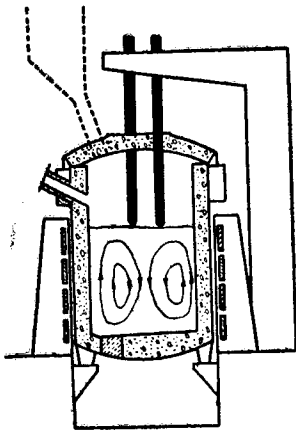


图 3

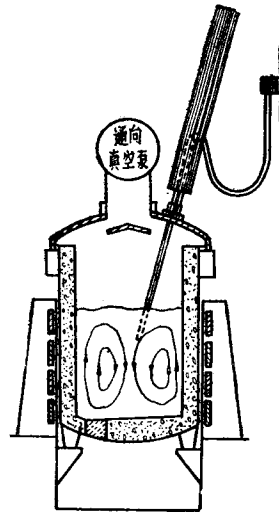


图 4

定式钢水包炉；反之，为移动式钢水包炉。这两种布置可根据实地条件和爱好加以选择。

图 3 示出在加热状态下设备的基本外观。电极通过炉顶插入炉内。炉顶斜槽，用于加合金元素。从图中也可看到取试样专用孔，用于检验温度和成分分析。

图 4 示出，以真空密封炉盖代替电极炉顶时的设备外观。有时装有真空脱碳用的氧气喷枪。合金元素、造渣剂等也可通过密封机构加入，但在图中未示出。

抽吸设备一般是一台 STAL-LAVAL 造制的四级蒸汽喷吸器。当用氧进行真空脱碳时，纳入第五级。

为取得最大感应搅拌效果，钢水包的耐火炉衬不能砌的太厚。过薄又有渗漏的危险。经反复试验，炉衬如图 5 所示。表层为 75% 的 Al_2O_3 和镁砂的捣固物，底层为 40% 的 Al_2O_3 耐火粘土。在熔渣线上，则砌以浸过焦油的镁砖。

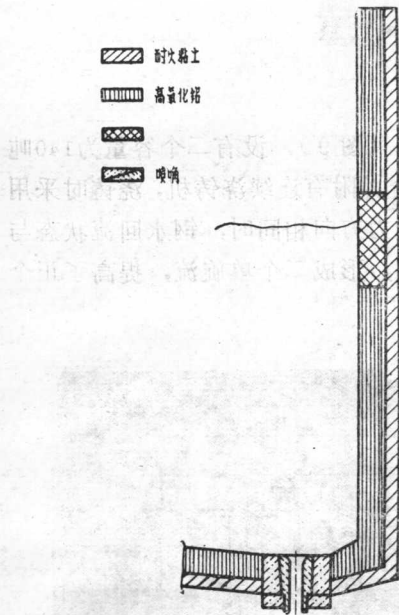


图 5

现据已安装设备（参见附表）简要叙述钢水包炉的某些特点：

瑞典哈格费斯钢厂（附表，8）的钢水包炉设有不锈钢真空脱碳装置。20 吨包在感应器内悬空支放，50 吨包直接座放在搅拌器上（图 6）。

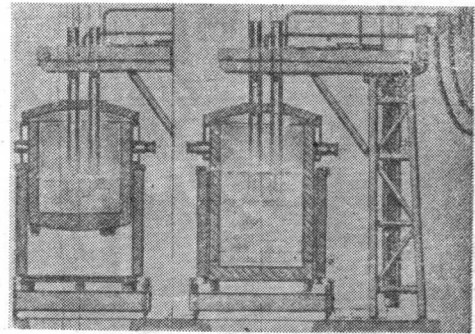


图 6

日本水岛川崎制钢公司安装的设备（图 7）（附表，9）不能进行真空吹氧脱炭。变压器架的较高，以使电极炉顶之母线最短。钢水包具有双水口，规定容量为 100 吨。钢厂用来处理 60~110 吨的钢水。

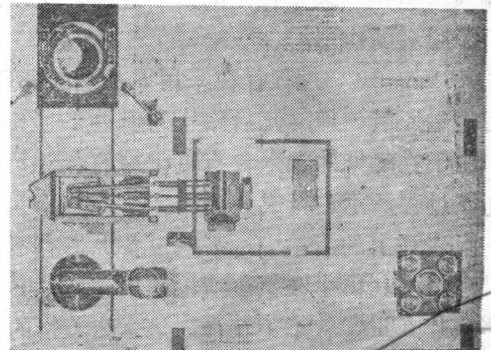
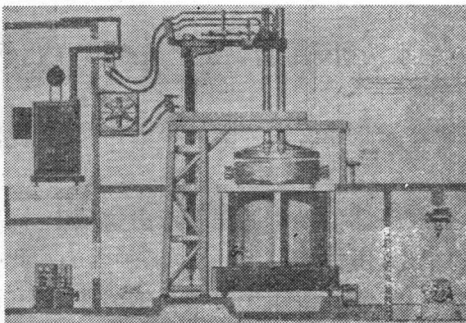


图 7

多米尼加共和国D厂的钢水包炉用来精炼镍铁(附表, 10)。这套设备的感应搅拌器为单V型板状结构(图8), 置于钢水包之一侧。关于感应搅拌器的形式参见下节。

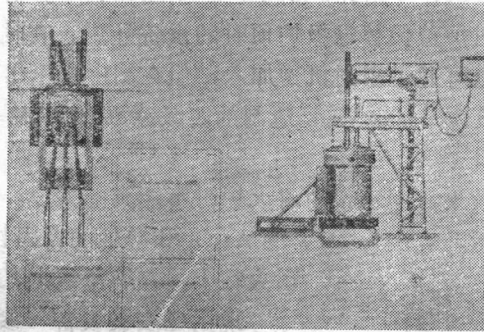


图 8

瑞典奥克吕松德钢厂的钢水包炉是迄今容量最大的设备(图9), 设有二个容量为140吨的钢水包, 每个可处理80~140吨钢水, 与KALDO转炉配合并附有连续浇铸机, 浇铸时采用滑动水口。双V型板状搅拌器设于钢水包之二侧。当感应磁力方向相同时, 钢水回流状态与圆筒型搅拌器类似。反之, 则钢水回流一边向上, 一边向下, 形成二个单旋流, 提高了正个搅拌作用。设备上方架有皮带输料机。

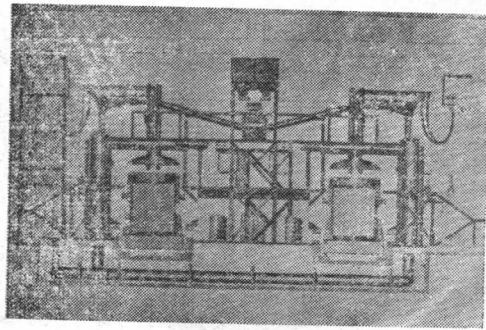
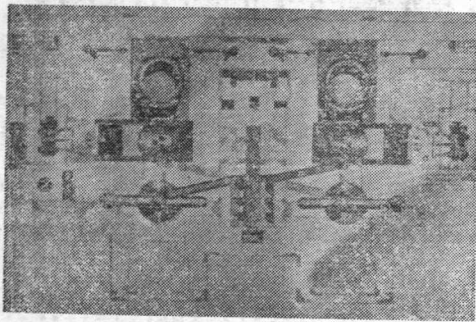


图 9

因设备特点多异, ASEA-SKF 过程十分灵活, 欲表述其全部可能性是有困难的。图10是瑞典一些钢厂通常使用的四个过程。a 以碳作为脱氧剂, 由于形成 CO_2 , 也就在一定程度上起了脱炭的作用。

ASEA-SKF 过程往往采用 b 类型的处理方法。钢水从初炼装置倒出之前或正在出钢时已经经过脱氧处理, 此后除气处理主要对氢的浓度有影响。

由于在晚期才加入含有氧化物的合金元素附加物, 因此许多钢种都被“染污”。为此, 必须如 c 过程所示进行成分调整。

附表列出的清单中, 某些设备上带有不锈钢真空脱碳设备。d 过程表示出这项十分新颖的处理技术。由于在氧气喷枪作用下, 铬的氧化受到阻碍(压力低), 因此, 电弧炉中的熔化铬, 其含量比在正常状态下较高, 这意味着铬的损耗很少。某些不锈钢如弗来体钢需要一个除气阶段。对于奥氏体钢则没有必要, 因为它对氢并不敏感。

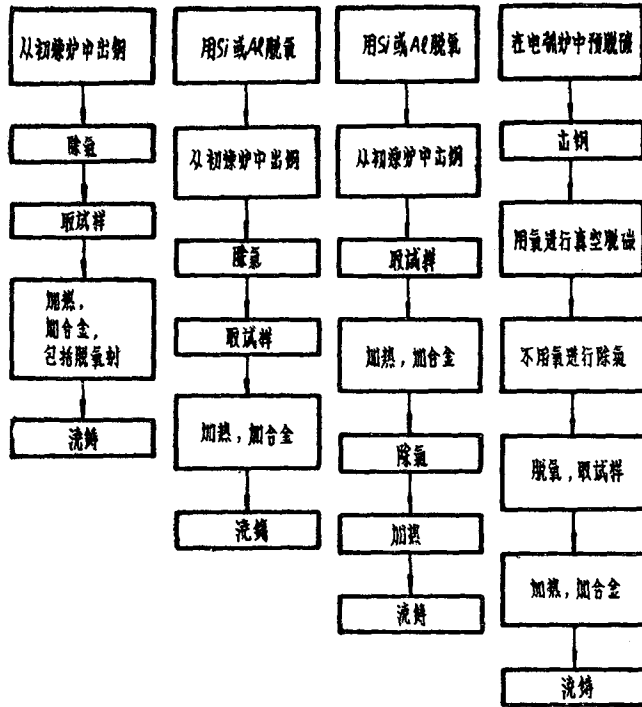


图 10

二、感应搅拌器的设计

感应搅拌器是钢水包炉的关键部分。感应原理很简单。以四个线圈的感应器为例(图11)，线圈成对地接入经变流器产生的1~2赫芝的交流电，则根据线圈的直径产生一定强度的磁力波。

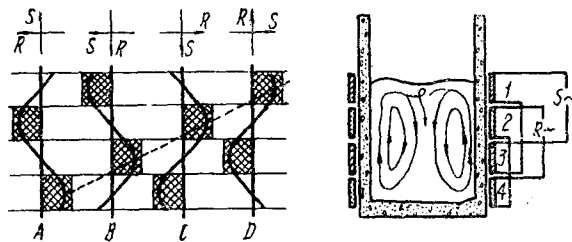


图 11

感应搅拌钢水的优点，多少有点像化学工艺。归根到底，冶金学是高温下的化学。搅拌可加速两种不同型式的冶金反应：表面反应和体积反应。表面反应是熔渣和熔池的反应，如脱硫、氧化等，体积反应使之均化并便于熔渣上浮。

接触面大以及在接触面上钢水流动速度快，都可促进表面反应的速度。对于体积反应，最重要的是产生喘流。

在设计感应搅拌器时，必须考虑到使其与装熔液的容器一起构成一个集成组件，而且在

不影响其灵活性和安全性的基础上，还必须具备令人满意的钢水沸腾运动。这一点往往使设计人员和操作人员之间产生一种矛盾：设计者希望尽量缩短线圈与熔液之间的距离，而操作者则希望耐火壁保持适当的厚度。

在过去的 25 年期间，ASEA 公司在造制电弧炉用的感应搅拌器（图12）方面已经积累了大量的经验，现在，对于在电炉炼钢条件下，搅拌器搅拌力究竟需要多大，线圈究竟能承受多大的应力，已积累起成熟的经验。近几年来，这方面的设计目标，在于制造一种结实耐用的线圈，这种线圈甚至能够承受溅到它上面的钢水温度。

对于钢水包炉来说，情况则有所不同。由于这方面的生产工艺尚在研究发展阶段，还不完全了解搅拌力究竟需要多大，钢水沸腾运动究竟在什么情况下最有利。从搅拌器的角度来看，则要求细高的钢水包，以便保持较低的费用；而从耐火壁来考虑，则要求粗大的钢水包，以便减少电弧的蚀损。

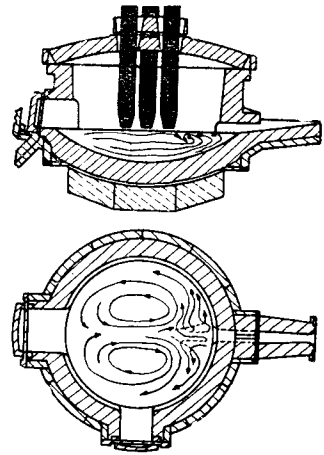


图 12

一、电弧炉用的搅拌器

1939年，ASEA 公司朱拉哈马炼钢厂试制出第一台搅拌器，它由一个安装于耐火壁与底壳之间的绕组构成。由于它处于一个暴露的位置上，所以在第一次试用时因钢水渗漏而遭到损坏。然而从中却获得了实践经验，为以后的发展创造了条件。

第二台搅拌器采用了分离式线圈，并悬挂于熔炉的下面，它的底是无磁性的。这一想法证明是正确的，直至今今天仍然被沿用下来。

最近研制的一台搅拌器称作“室石型”搅拌器。它是一种浇铸成的集成组件，其中绕组嵌入经过加热的树脂和耐火壁内。这样，保护良好，即使在不利的情况下，如熔炉渗漏时，也仍然能承受溅到它上面的钢水温度。

感应搅拌器由一带几个绕组的铁心构成，其原理与电机的定子相同（见图13）。联想到通用的电机，一般线圈头是相当大的，必须予以很好地支撑，否则就容易震动（参见图14和图15）。每对线圈头二个相位之间所产生的作用力对于搅拌器来说约为 40KN（4 吨），安装搅拌器的熔炉的外壳直径为6.5米。而且“宝石型”搅拌器的线圈头不需任何支撑，因为树脂本身就可以使绕组固定于正确的位置上。绕组所用的铜导线是空心的，冷却水可以从中间流过。线圈用清漆布带叠层绝缘。搅拌器线圈的上面由耐火壁加以保护，线圈的侧面和底面用非磁性薄板加以保护。

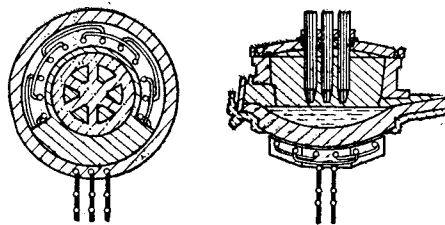


图 13

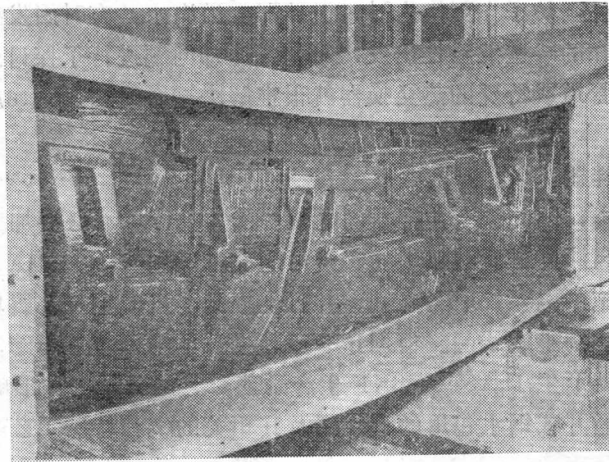


图 14

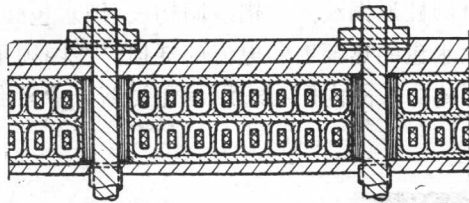


图 15

截至 1970 年 4 月，ASEA 公司已经提供和接受了 130 台电弧炉搅拌器的订货任务。搅拌器线圈必须具有充分的灵活性，以适应各种设计不同的电弧炉。从制造的角度来看，甚至有必要实行某种程度的标准化。电弧炉在外径、底部半径和安装的可能性方面各有不同；从另一方面来说，要求炉底无磁性和耐火壁保持在一定限度的厚度范围内总是可以达到的。

搅拌器线圈的长度取决于电弧炉外壳直径。所能容纳的线越长，搅拌的效果就越好，而且安装耐火壁的空白处就越大。

为了使线圈接触面能适应各种形状不同的炉底，至今线圈铁心都用直铁心制成，并形成钝角。曲面处用耐火材料抹平。此外，直铁心比较容易制造，线圈绕组也容易在上面进行排列。

很明显，相对于一台电机来说，搅拌器则是在一种恶劣的环境条件下工作的。大量的含有石灰和氧化铁的灰尘不断地落在搅拌器上；操作时，炉子不断地振动，因此在装料时，容

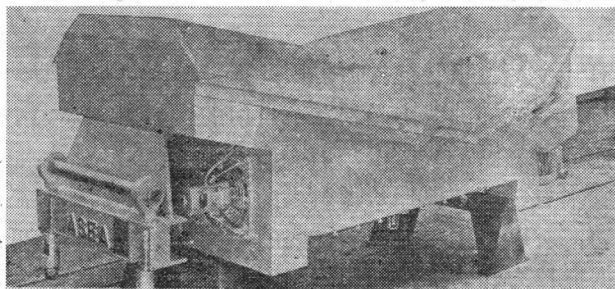


图 16

易引起严重阻塞；此外，炉子在更换内衬时搅拌器会溢满水，有时因发生渗漏，还会溅上熔融的钢水。从上述存在的一些危险性出发，对空气冷却问题进行了探讨。由于空气中杂质很多，如果没有精密的管道或特殊的热交换器就很难解决这个问题。图16就是一种这样的空气冷却感应搅拌器。

二、钢水包炉搅拌器

由于钢液强烈沸腾，因此装有搅拌器的电弧炉的熔池深度有必要加大。1950年，ASEA公司内部讨论了引进高深度熔池电弧炉的实施可能性。1958年，ASEA公司应用一种带有真空密封顶和抽气设施的电弧炉取得专利。并且也提到了可使钢水沸腾增加到某种程度的可能性：即用立式线圈代替卧式线圈。根据这一原理设计的钢水包炉于1964年由SKFSTAL公司制成，于是后来就产生了ASEA-SKF生产工艺。它是一种圆柱形的线圈。同年还提供了一种在空气中搅拌的开式钢水包用的直线圈及其相关的一种特殊工艺。这种线圈与一般的电弧炉搅拌器相似。

钢水包炉与搅拌电弧炉之区别，在于钢水具有更强烈的沸腾。

圆柱形钢水包搅拌器由圆柱形铜线圈或铝线圈构成，钢水包必须由非磁性材料制成，并置于上述线圈的内侧。由于钢水包的热辐射和电流的耗损，线圈须用水冷却。线圈外侧有一个叠片状钢磁轭圈，产生磁流体，线圈内侧有一层陶瓷衬壁，中间嵌有几条导轨，以免钢水包放入时损坏线圈（图17）。

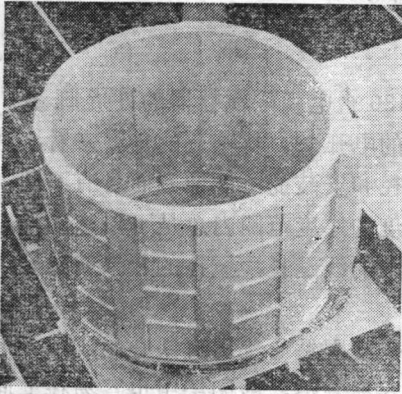


图 17

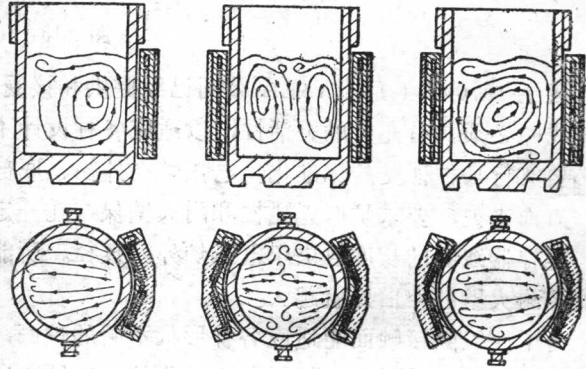


图 18

钢水包搅拌器的设计形式并非仅圆柱形一种。如果希望搅拌器的形状能随着钢水包的外形而变化，则可将感应搅拌器设计成板状结构。因铁心的俯视形状是V型的，故可称V型板状搅拌器（图18）。

钢水包的两边都有一个V型板状搅拌器，因此搅拌时，可以开动一个或二个同时使用，富有很大的灵活性。每一个这样的线圈必须备有自用的变频器，其大小与圆柱式搅拌器中应用的那一套相同。这样，电气设备的费用几乎增加了一倍。

但是从设备的角度来看，该种搅拌是吸引人的，布置简单，提升高度小。一旦钢水包就位后，直线圈向其移动，所以钢水包与线圈之间的距离可以缩减到最低限度。

钢水包的形状根据搅拌力和耐火壁的磨损程度进行选择。为了使每吨钢的生产费用降低到最低限度和获得最佳设计，各类型钢水包之间各种因素可以经济而简易地用下列方法来衡

量：

要想获得最好的搅拌效果，应力求达到最大限度的作用线长度。（见图19）。从图中可以看到，随着钢水包直径的增加，搅拌力须相应迅速增加。ASEA公司选择 $D/H = 1$ 作为钢水包设计的参考值。（其中 D 为钢水包内径， H 为线圈高度）。譬如说一个50吨的钢水包，其内径为2070毫米，外径为2610毫米。

较粗大的钢水包的优点在于可减少耐火壁的磨损。如果磨损只是由于电弧的辐射所引起的，那末耐火材料的指数 R_i 在一般的电弧炉中可以用下式表示：

$$R_i = \frac{P \cdot U}{a^2}$$

其中： P 为电弧功率， U 为电弧电压， a 为电极与炉壁的距离。

耐火材料的寿命 L 与耐火材料指数 R_i 成反比。

在钢水包炉中，耐火壁的磨损并不单是由于电弧作用所引起的，而且还受到其他各种因素的很大影响：如耐火材料的型号和熔渣成分，因此必须引进一个修正项 k 。在已知功率和电压的情况下，可得出下式：

$$L = k + \frac{1-k}{R_i}$$

如果 $k = 0$ 时，可用耐火材料指数方程式。但 $k = 1$ 时，耐火材料的寿命与辐射之间不存在任何关系，这种关系对于无限的直径来说，理论上是可以获得的。

图20为最佳化的结果，即：每吨钢的生产费用与所增加的直径之间的关系。假设耐火材料寿命和耐火材料指数（ $k = 0$ ）之间为反比例，那末增加钢水包的直径合适。然而，根据上述理由，必须假定一个更适宜的比例，而 $k = 0.5$ 这个数值似乎更加合理。这将使费用降低7%（用克朗/吨表示），而钢水包的直径从2610毫米增加到3000毫米（耐火材料的寿命提高了30%）。要达到上述目的，就需要多付出5%的代价来购置设备。

对于上述同样的假设，如果电极圆周直径从700毫米减少到550毫米， $k = 0.5$ ，那末可以节约同样的数量。这样，耐火材料的寿命提高了11%，但不需要增加额外的投资。

还有一种折衷的办法，就是采用圆锥形钢水包。这种钢水包的上部是圆柱形的，这样给提升环留下了适当的位置，并且限制了电极炉顶的直径和真空密封盖的直径。然而，钢水包本身的费用比圆柱形钢水包要高一些，因为搅拌器也必须制成圆锥形。此外，由于电极臂较长，电弧炉的费用也必然要高一些，因此这种办法实际上是不能实施的。

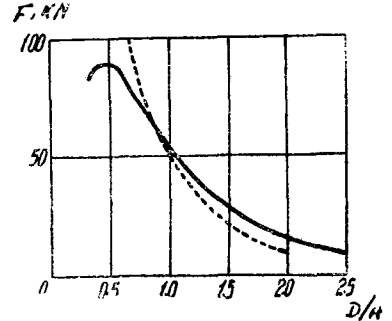


图 19

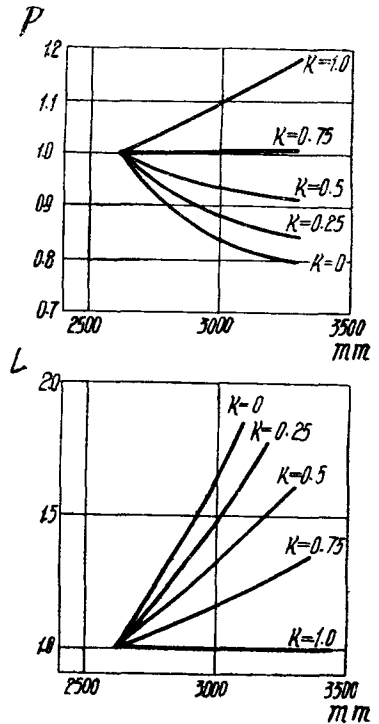


图 20

每吨钢的生产费用 P 与钢水包外径 D 的关系
 外径 D 与耐火材料寿命 C 的关系
 折旧时间五年，工作时间2000小时/年，利息8%

不幸的是：由于钢水包炉的耐火壁较薄，因此渗漏的危险性比电弧炉大。再则，钢水包线圈也较脆弱，因为它不能得到有效而均衡的保护。

V型板状线圈在这方面较圆柱形线圈好。一俟发生渗漏，可立即拉向旁边。或者在温度达到某种危险极限时，采用自动报警，以便及时采取措施。

三、耐火壁的控制

外壳的表面温度往往反映了电弧炉和钢水包二者的耐火壁的厚度。

在安装搅拌器的电弧炉中，常常习惯用一种电阻元件来测量温度。这种电阻元件插在炉底的小钢管内。如果耐火壁的某一特殊点上受到腐蚀，温度立即上升到可能出问题的某一点，并给予报警信号。因此应该注意到温度曲线的梯度比它的绝对值具有更大的重要性。

这一方法不适于钢水包炉，因为钢水包是不固定的。但有可能应用一种接触元件，它可在钢水包就位到线圈时，放在钢水包边上测量。然而这种元件一定要很小才行，以便于插入绕组之间。此外，用这种元件测得的数值可能受到磁场的干扰。

热视照相是一种灵敏而有效的方法，它可在每次加料后扫描钢水包外壳。用这种方法所显示出来的热外型变化给修整耐火壁提供了可靠的消息。

感应搅拌器实际上是一种在极其严格的环境条件下工作的电机。经证实它们是十分可靠的，是一种极为珍贵的工具，是电气工程、机械工程和冶金学工作者积极合作的良好结果。在未来的炼钢厂中，工艺过程将划分成几个阶段，每个都根据自身的特殊任务进行特别的设计。到那时，感应搅拌器的应用将更为普及，为适应某种目的而要求的搅拌力必将要大得多。

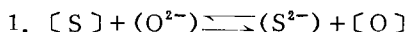
操作经验

一、脱 硫

如前所述，强有力的搅拌再和电弧加热相结合，为熔池—熔渣反应创造了有利条件。搅拌使得钢水和熔渣之间的接触面迅速互换。电弧加热使熔渣受热成为液体。这说明可以有效地进行脱硫。

脱硫机理

熔渣和钢水熔池之间的平衡，可用下列公式表示



式中 $[S]$ = 钢水中硫的活度

(O^{2-}) = 熔渣中氧离子的活度

(S^{2-}) = 熔渣中硫离子的活度

$[O]$ = 钢水中氧的活度

平衡常数以下式表示：

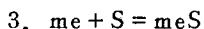
$$2. K = \frac{(a_{S^{2-}}) \cdot a_o}{a_s \cdot (a_{O^{2-}})}$$

从(2)中可清楚地看出，钢水中氧的活度低以及熔渣中氧离子活度高（即碱度高），都可促进脱硫作用。

平衡式(1)是通过从熔池向熔渣扩散硫而达到的。这是一个较缓慢的过程，其速度与熔渣和熔池中硫的活度差异成正比，与熔渣和熔池接触面大小成正比。

要缩小扩散距离，就必须应用强有力的搅拌。如要增大接触面积，可将精细的脱硫材料（如石灰粉）吹入熔池。

加入一种对硫（和氧）具有强亲和力的元素，比只用高碱性熔渣可进一步推进脱硫过程。这样的元素如铈（在稀土混合金属中），它可熔化在熔池中。还有钙（在SiCa中的钙），它可汽化，并按照下列公式与硫化合形成稳定的硫化物：



沉淀脱硫——波费斯法

试验中将含有一种与硫具有高度亲和力元素的合金喷入熔渣层下面。熔渣的主要目的是吸收从钢水中分离出来的硫化夹杂物，而熔渣本身并不具有有效的脱硫作用。

所采用的合金如下：

1. 硅—钙，大约含有30%的钙

2. 铝—钙，大约含有25%的钙

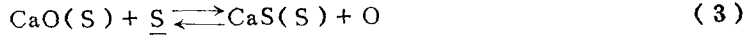
3. 混合稀土金属，大约含有50%的铈和25%的镧。

除了这些合金外，喷入碳化钙、煅石灰以及混有10%SiCa的煅石灰。

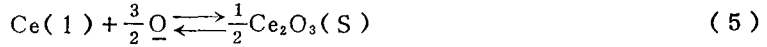
硫、氧以及被喷射脱硫剂之间的平衡，以下列反应式表示。



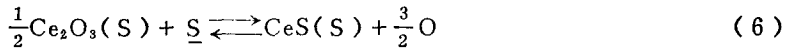
或是



当硅—钙、铝—钙、碳化钙以及煅石灰作为脱硫剂时这些反应式是有效的。当采用混合稀土金属时，则可用下列反应式：



或是



铈是混合稀土金属的主要成分。

两个平衡反应式(3)和(6)，以图表形式在“钙自由能图表”(图1)和“铈自由能图表”(图2)中表现出来。这些图表画出①和②反应式的 $RT \ln p_{\text{Ca}}$ 以及④和⑤反应式的 $RT \ln a_{\text{Ce}}$ ，作为不同数值硫和氧活度的温度函数。

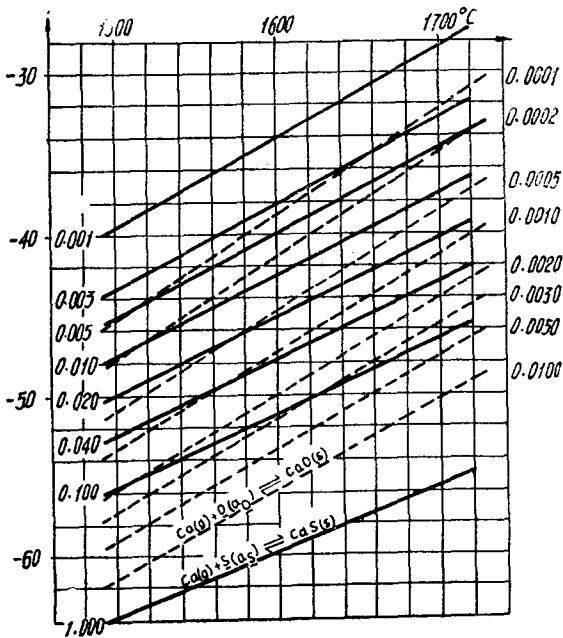


图1 钙自由能图

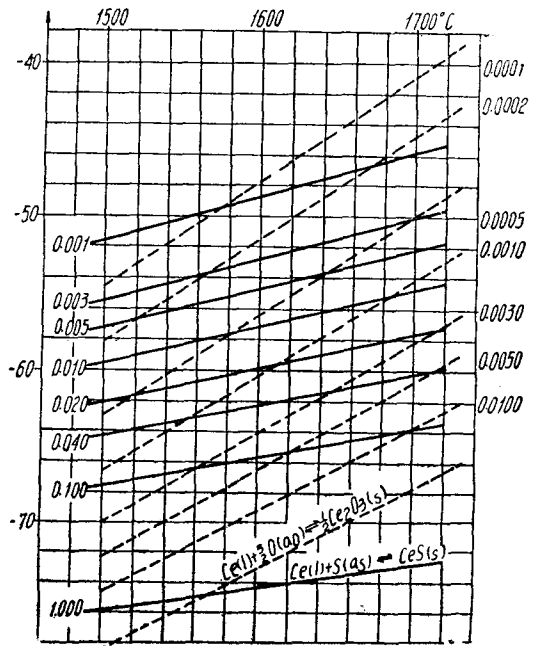


图2 铈自由能图

试验

五个试验系列，每个系列中包括7~10次试验，共计在小规模试验设备中作31次脱硫试验。

试验中钢水温度保持在1560°C。

为了估价所获得的结果，把试验分成两类。

第一类 在中性熔渣 $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ 下喷射脱硫剂

第二类 在高度碱性熔渣 $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ 下喷射脱硫剂

结果

第一类试验中，把硅—钙作为脱硫剂，脱硫程度很低，见图 3 和图 4。喷射完毕之后，硫从熔渣回到钢水中，因为熔渣的硫分布率过高。

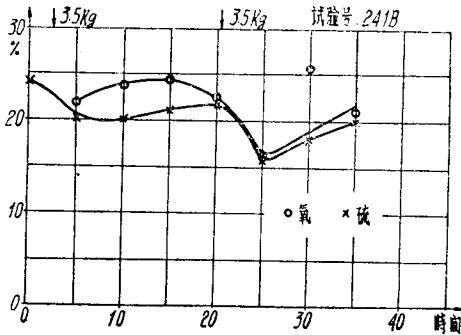


图 3

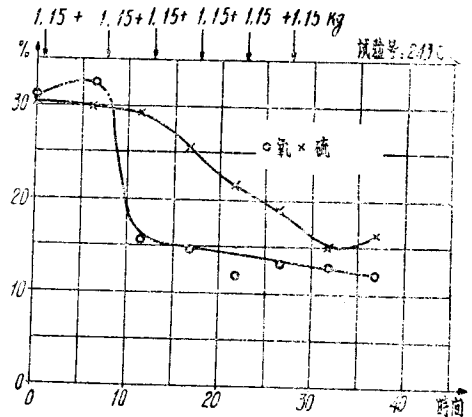


图 4

第二类中尤其对于金属脱硫剂，脱硫情况十分良好，也不发生硫化返原现象，见图 5，6，7 和 8。

在 31 次试验中的 21 次，最终含硫量为 0.004 % 或更低，而只有四次试验含硫量超过 0.010 %。

这说明钢水熔池中的氧活度（已溶解的氧），在多数试验中也必须降低到极低值。从图 1 和图 2 中能看出，当采用混合稀土金属作为脱硫剂时，在 1560°C 温度下硫活度大约 0.003 %，则平衡氧活度低于百万分之二，而当采用含钙合金时，氧活度甚至低于百万分之一。

在获得成功的试验终了时，一般地含氧量在百分之十的范围内。

平衡含氧量和分析含氧量不相符合。这可用从炉衬和（或）熔渣进入钢水的氧所形成的

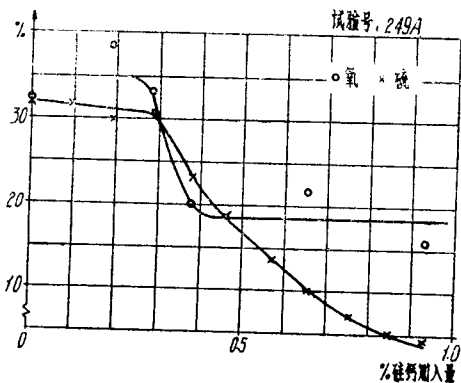


图 5

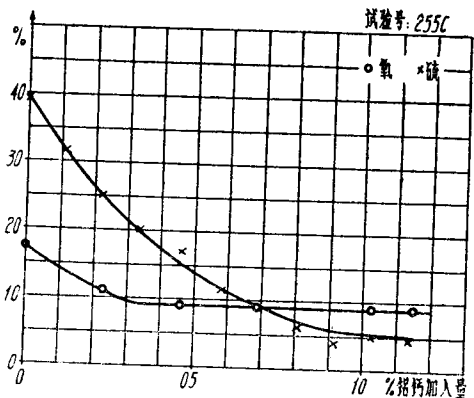


图 6