



国外冶金 新技术选萃

许广湘 编著

冶金工业出版社

目 录

湿湿干干 以干代湿	1
——谈谈高炉鼓风的湿度	1
用等离子体加热高炉鼓风	2
钛水的电渣浇注和电渣处理	3
用铝锭给钢水脱氧	5
钢水用液态铝脱氧	7
吹氢脱硫	11
炉内脱硅和硅磷共脱	11
钢水脱氧多用钙巧用钙	13
转炉炼钢节锰	16
废钢预热和电炉连续炼钢	20
喷粉钢包精炼炉	23
钢包炉外精炼用空心圆柱体形钙块	24
在真空处理时喷吹粉料	26
用钒渣直接合金化	28
瓶形钢锭模	31
在钢锭模中精炼	33
双自耗电极真空重熔	38
移动式多流结晶器电渣重熔	44
金属化球团电渣重熔	48
交流电弧炉直流化	51
等离子冶炼炉	58

双孔滑动水口.....	61
电渣浇铸.....	62
钢水用喷淋密实法成型.....	66
长短短短, 长短出之.....	71
——说说复合结晶器.....	71
结晶器喷水冷却好处多.....	73
和带钢热轧机配套的带坯连铸机.....	75
变内径管的浇铸.....	76
水平连铸拉坯机的改造和更新换代.....	79
在连铸时进行真空处理.....	82
水平连铸隔离环.....	84
半连铸.....	85
垂直半连铸.....	88
水平半连铸.....	94
用旋转结晶器进行半连铸.....	100
干连铸.....	102
双金属复合铸坯的连铸.....	108
双金属管的生产.....	109
冷轧带钢的连续快速脱脂.....	118
γ 相加工.....	120
用等离子体修复钢坯表面缺陷.....	123
话说锻造时的宽展.....	126
热轧带钢紧凑式可逆轧机.....	128
无氧化加热.....	130
辊道保温罩.....	136
紧凑式旋流除鳞器.....	139
金属的工艺保护层.....	142

II

转炉炉尘自热造块.....	146
废热的自用和他用.....	150
——兼谈各种载热介质.....	150
用铁合金电炉的余热发电.....	164
向废罐头铁皮要锡.....	166
加劲伪实心钢.....	171
用铁合金厂废料制造混凝土.....	173

湿湿干干 以干代湿

谈谈高炉鼓风的湿度

在 50 年代，给高炉鼓风增湿非常流行，例如 1958 年，在苏联的 118 座的高炉中就有 108 座采用增湿鼓风。某些高炉的生铁产量由于增湿而提高 5~15%，焦炭可以节省 2~5%。

水在高炉中的表现也好也坏。加到高炉中的水将首先进行分解。有人进行过计算，在鼓风中每增加 1% 的水，炉缸温度要降低 30~35 K。为了补偿这一温度降，需要把鼓风温度提高 80 K。在水分解时产生的氧气将参加碳在炉缸中的燃烧，而生成的氢气将用于还原铁的氧化物。高而稳定的湿度有助于高炉的顺行。

但是后来由于喷吹天然气更有利可图，这种增湿的办法就逐渐被淘汰了。

曾几何时，对鼓风进行干燥的方法又时髦起来了。目前在日本大约就有 20 个鼓风干燥装置正在运转。可以采用固体干燥剂，也可以采用液体干燥剂对鼓风进行干燥。但是现有的大多数鼓风干燥装置是两种干燥剂都用。

对鼓风进行干燥不但可以降低鼓风的湿度，生且还可以保持湿度固定不变。日本厂家的经验表明，1 米³ 的鼓风每降低 10 克水分，焦比就可以降低 7~10 公斤。

由此不难看出，两种截然不同的方法——增湿和干燥都能取得良好的结果：降低焦比和提高而铁产量。这也很容易解释：有意识地增湿和干燥都可以稳定湿度，虽然增湿时湿

度较高，干燥时湿度较低，但是湿度基本上都是固定不变的，不象空气的湿度那样，反复无常，因而对炉况有利。

用等离子体加热高炉鼓风

在热风炉中一般都是把鼓风预热到 950°C 左右，很少能预热到 1200°C 的，而且空气在离开热风炉后温度还会有所下降。

于是有人就想，是不是再把鼓风加热一次，最后叫它达到 1200°C 左右。高炉所用的风量很大，不可能全都经过二次加热，而只是对其中的一部分进行再次加热，但是要加热到很高温度，例如 2000°C 或更高，以便用来加热未被二次加热的鼓风。就这样，经过二次加热后的风随即掺到一般鼓风中去，从而得到温度合乎要求的高炉鼓风。

有人考虑用等离子体来进行二次加热，经过计算得出，每生产 1 吨生铁需要进行二次加热的风量只有 246米^3 。如果是一座 1000米^3 的高炉，加热这么多的鼓风大约耗电 1.1 万度。与 950°C 的鼓风相比， 1200°C 的鼓风的耗电量为每立方米鼓风 0.795 度。

在比利时的一家工厂中采用了一种功率为 3.5 兆瓦的等离子发电机对鼓风进行加热。在一座高炉的 8 个喷嘴中有 4 个采用了等离子发生器。加热效果良好，鼓风温度达到预期的要求。专家们估计，这种用等离子发生器加热高炉鼓风的方法，在电价便宜的地方，很值得推广。

铁水的电渣浇注和电渣处理

电渣浇注

先将铁水铸成自耗电极，然后通过电渣加热的办法进行重熔和重注即谓之电渣浇注。铁水电渣浇注基本上采用钢水电渣浇注所用的那套传统工艺、设备和熔剂，因而在这里不再赘述。

可惜的是，到目前为止，铁水的这种浇注方法用得并不广泛，因为铁水的电渣浇注有三大缺点：浇注费用由于要事先制造自耗电极而大增；浇注能力不太大；所用设备比较复杂。

但是在生产昂贵而复杂的高合金铸件时，采用电渣浇注法就常常有利可图。电渣浇注的铸铁件的使用寿命可以提高50~100%，而且基本上可以消除废品，成品合格率一下子能从50~55%提高到85~90%。不仅如此，有害杂质、气体和非金属夹杂在电渣的作用下亦会明显减少。所以，在某些情况下，采用电渣浇注多增加点费用还是值得的。

电渣处理

铁水的电渣处理也不难解释，简单地说就是让电流通过导电的电极来加热铁水熔池上面的熔渣，然后再由熔渣对铁水熔池起作用，从而达到脱硫、硫磷、去除非金属夹杂和气体以及微合金化和孕育处理的目的。

对铁水进行电渣处理不外是为了提高铸件的机械性能和

特殊的使用性能。这种方法既可以处理高炉铁水，也可以用来处理化铁炉铁水。

如图 1 所示，导电电极 1 插入渣池 2 内，而渣池本身就是产生热量的电阻。当电流通过渣池时，可使其温度升高到 $1800 \sim 2000^{\circ}\text{C}$ ，足够用来把渣池下面的铁水加热到所需的温度。

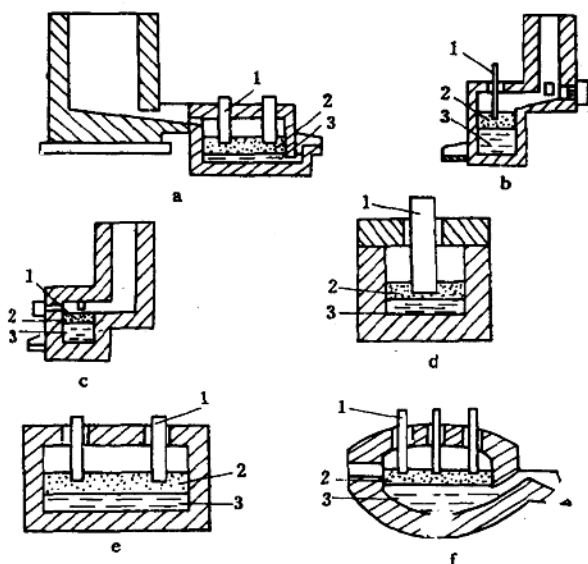


图 1 铁水电渣处理装置示意图

1—电极；2—渣池；3—铁水熔池

a—装在化铁炉流槽上的电渣处理装置；b和c—与煤气化铁炉配套的电渣处理装置；d和e—双电极电渣处理装置；f—三相电渣处理装置

熔渣的配方根据要求进行选择，另外也还可以适当地选用电流参数和通电时间，所以说控制手段又多又机动，可以满足各种不同的精炼提纯、合金化和孕育处理方面的要求。

用铝锭给钢水脱氧

在回收率上做文章

用铝给钢水脱氧有一个大问题，就是铝的回收率不高，而且不很稳定。于是有人就想到用直径为 9~12 毫米的铝棒进行脱氧。在进行脱氧时，借助于一种专门的装置，将铝棒强行插入钢水中。结果是铝的回收率提高了一倍以上。

但是最近又有人认为，强行插入铝棒进行脱氧的方法，主要适用于调节钢水的化学成分。大部分供脱氧用的铝，最好以铝锭的型状加到盛钢桶的钢水中去。

在转炉出钢结束以后，经过 1~2 分钟即可以借助于布置在 350 吨转炉车间工作平台上的加铝锭装置将重量为 350~450 公斤的铝锭加到盛钢桶中去，要沉到深约 2 米的地方。为了混匀钢水的成分，在铝锭熔化以后，还要吹 5 分钟惰性气体。

采用重为 350~450 公斤的铝锭进行脱氧，与常规加铝脱氧工艺相比，不吹惰性气体时，回收率可提高 15%，吹惰性气体时，回收率可提高 10%。

其他影响因素

工艺过程一般都是很复杂的，牵涉的因素很多。往往是

一个因素改变了，其他因素也要跟着变。所以说，不能只就回收率来谈回收率，还得研究其他因素的协同效果。

用铝锭脱氧的试验结果还表明，转炉渣中的 FeO 含量增加10%，铝的回收率要减少20%。当出钢温度超过1670℃时，铝的回收率要大为减少，一般要减少10%，显然是由于出钢温度增高，钢水和渣的氧化度同时增高所致。

用铝锭脱氧，硅的回收率稍有降低，大约只降低3%，因而成品钢材中的含铝量也就只降低0.02%，没有必要增加含硅铁合金的用量。

用铝锭脱氧时，锰的回收率为93~94%，没有变化。

采用铝锭时，钢中的非金属夹杂有某种程度的减少，机械性能没有多大变化。

总的来讲，采用铝锭对钢水进行脱氧，利大于弊，最大的优点是，可使耗铝量减少0.1公斤/吨钢。

前景良好

铝锭比钢轻，在钢水沉不下去，还非得有一个杆硬把它压下去。实际上还不能只是一个杆，包括驱动和支撑在内是一套装置。这套加铝锭装置使用起来很可靠，装置上的金属压锭杆所用的耐火材料衬体，寿命还真很长，可以用到20~30炉。

还有一点引人注目之处，即加铝锭装置是一个道地的机械设备，因而，从长远来看，非常容易实现钢水加铝操作的机械化和自动化。

钢水用液态铝脱氧

三氧化二铝膜的利与弊

铝制品早已闯入千家万户，谁家没有铝锅，谁家不用铝盆，……。家用铝制品谁也无法一一列出。但是，不一定每个人都知道，为什么用活泼的金属铝制成的制品能够经久耐用，空气中的氧为何奈何不了它？

实际的情况是：裸露在空气中铝是会马上同空气中的氧起作用，生成三氧化二铝；不难想象，这一反应将首先发生在铝的表面；当制品的表面布满三氧化二铝后，氧化反应马上停止，因为空气中的氧没有办法透过致密的三氧化二铝膜与金属铝相遇。在铝的表面上生成的三氧化二铝膜将氧拒之于铝外，实际上起到了保护作用。这就是三氧化二铝膜有利的一面。

但是把这种包有一层致密的三氧化二铝膜的铝块或铝粒等拿来给钢水脱氧，情况就会大不一样：三氧化二铝膜将首先阻碍钢水同铝直接接触，进而阻碍铝的扩散。三氧化二铝膜的弊病也就在于此。

如果采用液态铝进行脱氧，这一弊病就可以迎刃而解。不仅如此，当采用液态铝进行脱氧时，还可以明显地加快和改善铝在钢水中的扩散，因而脱氧效果良好。

但是，怎样才能有效地把液态铝加到钢水中去，还真得动一点脑筋。前不久有人推出了下面的液态铝给料系

统。

独特的液态铝给料系统

如图 2 所示, 这种液态铝给料系统的核心设备就是一个电磁动力泵 1。为了把铝加到钢水中去, 可以采用两种方法。第一种方法是用金属管 2 将电磁动力泵同出钢槽 3 相连, 以使铝水能够达到钢水液流的中心部。第二种方法是电磁动力泵通过金属管 5 和 6 将液态铝加到钢包 7 中去, 但是要先加钢水, 当钢水的高度达到钢包高度的 0.35 倍时, 再加液态铝。这时, 包中的钢水不多, 加到钢水中的液态铝难以

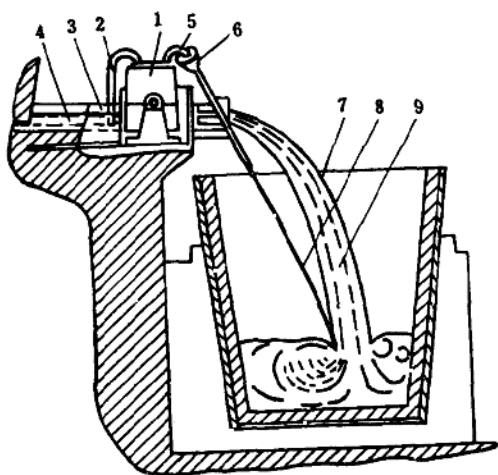


图 2 液态铝给料系统

1—电磁动力泵; 2—在出钢槽中加液态铝用的金属管; 3—出钢槽; 4—出钢槽中的钢流; 5和6—在钢包中加液态铝用的金属管; 7—钢包; 8—铝流; 9—钢水流

被循环的钢水流带到液面上，因而烧掉的铝不多。一般来讲，当钢水已经达到钢包高度的0.70倍时，加铝过程就要结束，因为这时钢水的动能已经明显变小，搅拌作用变弱，且在钢水液面上已经形成了很多渣，从而要限制铝水顺利地进到钢水中去。

一般来讲，随着钢包中钢液面的不断升高，钢水流的动能越来越小，所以，液态铝的整个添加时间不应超过2~3分钟，单位时间内的加铝量也要越来越小，且要按指数规律减少。

采用电磁动力泵就可以满足这些要求，而且还可以起到保温和加热的作用。

考虑到铝在高温下，特别是在1400℃时，氧化明显，所以加铝温度选择为680℃。

采用液态铝进行脱氧时，当钢包中的钢水加到一半时再加合金料，效果最好。

电磁动力泵

上节中提到，往钢水中加液态铝采用的是电磁动力泵。这种泵很少见，所以有必要在这里说上几句。如图3所示，装有液态铝的环管1同感应子2和线圈3同心布置。环管管段4是真正起作用的有效作用区，位于带有线圈6的电磁铁5的气隙内。当把电流馈给泵的线圈3时，就会象变压器的二次线圈一样，在液态铝中产生一个电流，这个电流同电磁铁的磁场协同作用的结果，是在有效作用区中产生一个电磁力，从而推动液态铝，使之通过电磁动力泵。

这种电磁动力泵与其他型式的电磁泵相比，具有明显的优点：感应子的电磁导体闭合，因而能量的传递效率极高，当功率因数为0.6~0.8时，效率可以达到80~90%。结果

是：流过液态金属中的电流密度非常大，高达 2×10^6 安/米²，因而对液态金属的加热效果明显：当感应子处于接通状态

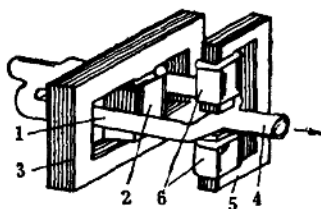


图 3 电磁动力泵

1—环管；2—感应子；3—线圈；4—环管的有效作用区段；
5—电磁铁；6—线圈

时，这种电磁动力泵很象似一个感应电炉，可以补偿系统中的热损失，在必要的时候甚至还可以重新加热金属。当这种电磁动力泵长时间停歇时，可以大胆地让液态铝凝结在输送管内。当重新使用时，用电磁加热的办法将冻在管内的金属重新熔化就行了。没有必要拆开来进行处理，很是简单。

所以说，用这种电磁动力泵往钢中定量添加液态铝进行脱氧，极为方便，液态铝的预热温度容易掌握，而且温度也易于保持恒定，在这一点上是其他种给料装置所无法相比的。

顺便提一下，这种电磁动力泵在铸造业中亦很受欢迎。

可喜的结果

用铝脱氧时，铝的回收率比较稳定，因而铝的单位消耗量可以减少15~20%，一般不超过0.7~0.9公斤/吨钢水。这时钢中溶解铝的平均含量为0.024%（在钢包中加液态铝

时)和 0.030% (在钢水流槽中加液态铝时)。在可比的条件下,用固态铝进行脱氧时,钢中溶解铝的含量为 0.017%,晶粒等级为 7~9。成品轧材的收得率由于采用液态铝进行脱氧而可以提高 1~3%。优良品率亦明显增加。

吹 氢 脱 硫

吹到钢水中的氢,除了能够还原其中的某些氧化物,例 FeO 以外,对钢水中的大多数成分都不起作用。因而氢也可以用来对钢水进行脱硫。

吹到钢水中的氢气,将变成无数个上浮的气泡,气态的硫的化合物将得以扩散到气泡中,以达到部分脱硫的目的。

但是,为了达到深度脱硫的目的,只吹氢气显然还不够,最好要辅以其他方法。例如在吹氢脱硫以后,再进行一次真空处理,这样一来,脱硫效果会明显提高。

炉内脱硅和硅磷共脱

炉内脱硅

随着科学技术的进步,用户对钢材的纯净度要求越来越高,特别是含磷量,规定得越来越严。

炼钢炉的除磷本领并不大，所以，如果铁水含磷较高，则应在入炉之前对铁水进行预脱磷。但是在铁水中，磷同硅要维持一定的平衡，硅高了，磷就脱不掉多少。在通常的情况下，为了更好地脱磷，要求铁水中的含硅量最好别超过 0.10% 。讨厌的是，铁水中的含硅量又与高炉的炉温密切相关。为了把铁水的含硅量降到要求的水平，首先就要求把炉温降得很低，而这是现代高炉技术所无法解决的。炉温太低，铁水冻在炉内，后果是严重的。

专家们只好决定采取当铁水离开高炉之后，进入炼钢炉之前，在铁水流槽或钢水包内先行脱硅的办法。但是在铁水流槽和钢水包中进行脱硅要损失好多温度，使本来就已经偏紧的炼钢炉（例如转炉）的热平衡更趋紧张。除此之外，铁水的渣化损失亦比较大。

于是有人就提出了在铁水即将离开高炉之时设法把硅降下来的大胆设想。他们在风口处将脱硅剂直接吹了进去。这里所用的脱硅剂并不直接同硅起作用，而是靠间接作用来达到脱硅的目的。

这种脱硅剂试验过两种： CaCO_3 和 Fe_2O_3 。当在风口处将 CaCO_3 颗粒吹进去的时候，风口处的温度降低，铁水中的含硅量也因而下降。 CaCO_3 的吹入肯定会增加渣中的 CaO 含量，碱和酸相亲，便死拉住 SiO_2 ，使 SiO_2 活度降低，而难以再还原到铁水中去。从 CaCO_3 分解出来的 CO_2 将会形成自己的分压，于是 SiO 的分压就不得不降下来，以求达到新的平衡。

Fe_2O_3 的作用机制与 CaCO_3 的相类似。当把 Fe_2O_3 颗粒从风口处吹进去的时候，铁水的温度也会有所降低。 SiO 的分压亦会由于 FeO 的增加而降下来。另外， Fe_2O_3 还有可

能将铁中的Si氧化成 SiO_2 而进入渣内，从而达到脱硅的目的。

有人通过试验证明， CaCO_3 的颗粒宜选用0.012毫米。当每吨铁水的吹入量为8公斤时，含磷量可以降低0.20%，铁水温度大约下降15 K。 Fe_2O_3 的颗粒度宜较粗，为0.044毫米。当每吨铁水的吹入量为32公斤时，含磷量也可以降低大约0.20%，而且对铁水温度无多大影响。

硅磷共脱

常规的操作方法是先脱硅，后脱磷。这不但麻烦，而且把铁水折腾两次，铁水温度肯定会大降。有人干脆就在铁水流槽的头部，从上方同时把脱硅剂和脱磷剂：铁磷、石灰、萤石一起加到铁水中去，“毕其功于一役”，既脱硅，又脱磷。

但是这种硅磷共脱法只能将磷脱到0.030~0.060%。是不是能够达到深脱磷，例如使成品钢材中的含磷量在50ppm以下，尚需进一步研究。

钢水脱氧多用钙巧用钙

多用钙

最近一些年来，用钙（主为含钙合金）给钢水脱氧已经非常时髦，钙比铝、硅铁、锰铁还“看红”。这是因为：钙对氧的亲合力较强，因而脱氧率较高；此外，钙对硫的亲合力也很强，因而在钢水中加钙还可以提高脱硫率，钢水经用