

斯堪的纳维亚
第三届国际喷射冶金讨论会文集
(下)

《特殊钢》编辑部

一九八四年

76.16689

487

2

目 录

21442/20

使用颗粒状镁进行铁水脱硫的考查.....	(1)
大型铁水包中喷吹镁脱硫时镁的行为的研究.....	(4)
用喷射石灰法进行铁水脱硫.....	(15)
用氧气作载气喷吹石灰粉进行铁水脱磷的动力学.....	(23)
中等磷含量铁水予处理的苏打熔剂和石灰熔剂的对比研究.....	(35)
在铁水脱硅和脱磷过程使用喷射冶金技术的效果.....	(49)
喷吹渣粉改善钢的质量.....	(57)
电阻焊 (ERW) 管线用连铸钢的钙处理	(70)
含钙芯线在连铸上的应用.....	(81)
用钢包住金属钙线的钢包处理.....	(98)
炼钢生产中金属钙包复线的最新进展	(110)
铁水和钢水的最优化脱硫	(119)
钢包炉或钢包喷粉, 为什么不是二者?	(129)
钢包冶金对钢材质量的影响	(135)
用喷吹处理的钢制造钢板和型钢	(147)
用做重熔电极的钙处理钢	(164)
VI法的水模拟及其在大锻件生产中的应用	(171)
300吨钢包中吹氮处理低合金钢时的传质.....	(180)
以CaO基混合渣料代替CaSi喷吹来改善DX—65HSLA钢质量	(181)
瑞典提出评定夹杂物的新图表	(191)
钢水钙精炼及其对夹杂物形貌的影响	(198)
Ca处理中等水平S含量钢对非金属夹杂物的影响.....	(206)
喷射法向钢包添加稀土硅铁粉的试验研究	(218)
用喷射冶金方法控制钢中夹杂物形态	(224)
含钙合金渣料对钢液的精炼作用	(234)



使用颗粒状镁进行铁水脱硫的考查

芬兰 Rautaruukki 公司 Raahe 钢厂

高炉车间 Seppo Haimi

摘 要

1981年夏, Rautaruukki 公司Raahe 钢厂在高炉区外面建成一个使用苏联粒状镁的铁水脱硫站。每个铁水缶使用一支浸入式喷枪喷吹颗粒镁进行脱硫。这个方法的使用许可权和诀窍买自苏联。脱硫在位于高炉和混铁炉之间的100吨敞口铁水缶中进行。从1981年10月开始每年生产150万吨生铁全都在这个脱硫站进行处理,亦即平均每25小时要处理60~65缶铁水。

要使铁水中硫含量从0.065%降至0.020%,每吨铁水大约要消耗0.7公斤镁。处理时间在10分钟内,铁水降温15℃。该脱硫站可以同时处理4只铁水缶。采用这种方法,混铁炉中铁水硫含量可以维持在0.020%以下。

前 言

Rautaruukki公司Raahe钢厂于1961年投产。从1976年起该厂使用两座有效容积为893米³的高压高炉,每年生产大约150万吨生铁。铁水送到三座80吨氧气转炉炼钢,并在5台连铸机上浇成扁坯,每年大约170万吨钢被轧成钢板和带卷。

70年代铁水脱硫采用苏打。出铁前苏打放入铁水缶底部。当铁水中硫增高时,我们曾向一些铁水缶内喷入镁焦,以求在混铁炉铁水中获得理想的硫含量指标。随着钢对硫含量要求的提高,镁焦的处理能力显得不足,而且在高炉出铁时苏打粉尘造成的损害明显增加了。在Rautaruukki由于高炉碱负荷高,在高炉外进行铁水脱硫肯定是有利的。因此该厂决定建立一个有能力充分处理全部高炉铁水的脱硫站。

Rautaruukki选择了苏联的一种脱硫方法^[1],该法是以喷射镁颗粒为基础。该法的诀窍(使用许可)和基本设计都自苏联买进,在这个基础上Rautaruukki设计了脱硫及有关设备。自1980年秋季开始建站,1981年春季完工并进行了第一批试验。从1981年10月起该脱硫站即能胜任年处理150万吨铁水的任务。

脱硫站及其设备

该脱硫站与相应的苏联脱硫站^[1]外观上相似,基本原理也相同,但设备是芬兰制造的。主要设备如下:镁粉颗粒从铁路货车卸至贮存料仓,再用风力经管道输送到中间料仓,然后再用风力送到四个分配器中。载气把镁粉颗粒通过浸入式喷枪吹入铁水缶中。输送与喷射所用的载气皆为经过干燥的压缩空气。

整套设备包括4个独立的喷射单元。每个单元皆有两只喷枪，喷枪装在可移动的承载架上，靠重力作用浸入铁水缶。在铁水处理期间铁水缶是加盖封闭的。

脱硫站还包括空气压缩机和压缩空气干燥器，带有除尘装置的排烟罩以及喷枪更换装置。

脱硫喷枪采用一种用耐火材料作外衬的整体式加重的枪体喷枪，下呈钟型。一支喷枪可以作80次处理、亦即使用寿命大约为350~450分钟。

脱 硫

脱硫站座落在从高炉至炼钢厂之间的铁路线上。用100吨铁水缶进行处理，每缶平均装70吨。在每一个铁水缶到达脱硫站之前，铁水经过秤量并取样进行分析。

为使高炉铁水能以每小时2—4缶的速度到达脱硫站，高炉出铁要有计划地进行。这样脱硫站每天平均可处理60~65缶铁水。前面已说过，这个脱硫站每次可以同时处理4缶铁水，每缶铁水的处理时间约为10分钟。因此该站的脱硫能力可以很容易地比已有水平提高10~20%，甚至最大提高40%。

苏联的镁颗粒含镁约94%，粒度为1.0~1.5mm，镁喷射到铁水缶后在喷枪钟罩的底部气化并进入到铁水中。溶解在铁水中的镁和铁水中硫进行反应^[2]。镁在蒸发时作用非常强烈，从而可以有效地搅拌缶中铁水。

脱硫后的铁水缶运至炼钢厂，经过除渣后倾倒入1300吨混铁炉，每隔2小时对混铁炉铁水取样分析进行监测，规定混铁炉内铁水硫含量低于0.020%。

结 果

采用镁颗粒进行铁水脱硫已有一年至一

年半左右的历史。Ruutaruukki公司的研究^[3]以及统计资料表明，这个工艺完全能够满足铁水中脱硫的要求，混铁炉中铁水硫含量可以控制在理想水平。图2中曲线，系按照生产实践，为保证达到混铁炉中各种不同要求的硫含量所需要的镁量。

工业试验表明，镁处理的操作范围是很宽的。高炉铁水的硫含量可以在0.035%到0.100%的范围内变化，在此范围内的铁水经处理后都可将混铁炉内的铁水硫含量调整到理想水平。

由年统计值分析，把含硫0.065%的高炉铁水处理成含硫0.02%的混铁炉铁水，每吨铁水平均需要0.7公斤的镁。

每吨铁水中加入镁0.15~0.16公斤可以脱除平均0.01%的硫。脱硫处理前的铁水温度平均为1360℃。依脱硫剂加入量不同，处理期间，铁水平均温度降为5~15℃。按文献[3]的试验结果，镁的利用率与温度有关，温度较低对镁的利用率有利。

混铁炉中铁水硫含量最低可降到0.005%以下，但镁的利用率大幅度下降。

结 论

Ruutaruukki公司Raahen钢厂用颗粒状镁脱硫的经验如下：

- 颗粒镁作为铁水脱硫剂是完全可行的。
- 经镁处理后混铁炉中铁水硫含量可以降至理想水平。
- 脱硫站可以承担处理全部高炉铁水的任务。

北京钢铁学院
姜钧普译
曲 英校

参考文献

1. Voronova N.A. et al. Desulphurization of pig Iron by Injecting Magnesium into Hot-Metal Ladles. Steel in USSR 4 (1974) 261 - 265.
2. Voronova N.A., External Desulphurization of Hot-Metal by Magnesium injection. Light Metal Age 35 (1977) 32 - 36.
3. Jaakkola P., Research report TRO1082, Rautaruukki Oy, 1982 (in finish)
4. Vihma K., Research report TRO1383, Rautaruukki Oy, 1983 (in finish)

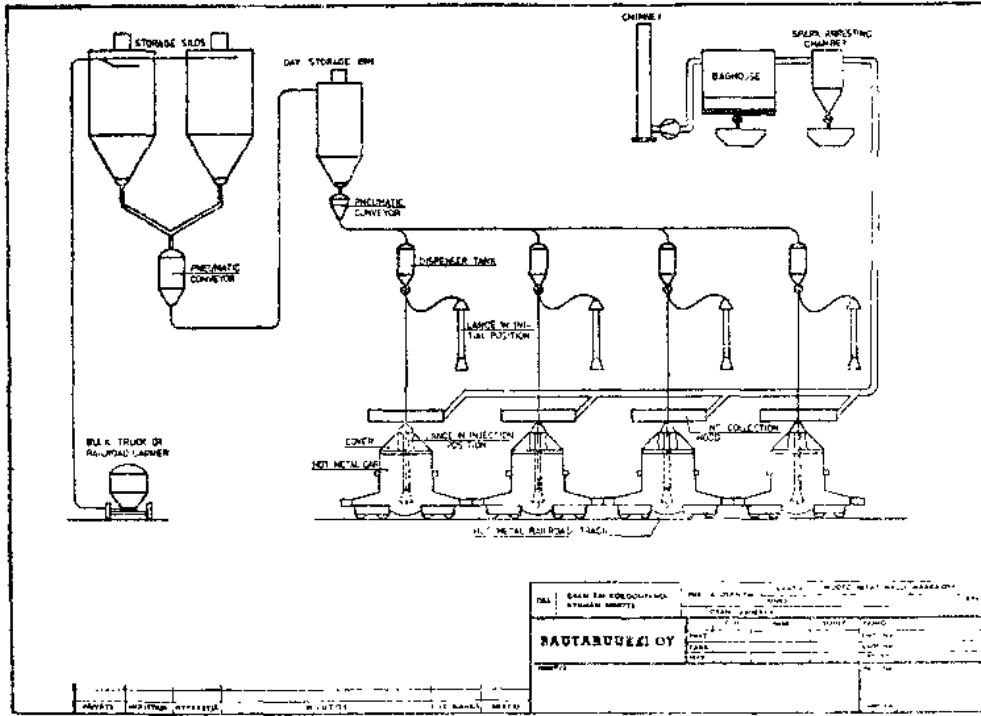
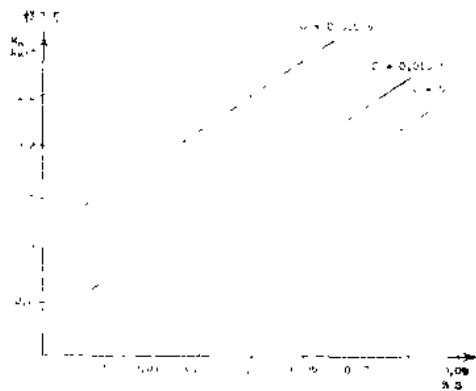


图1. 镁基脱硫系统流程图



铁水硫含量

图2. 脱硫剂的需要量 (混铁炉最高含硫量为0.020%, 0.015%, 0.005%时)

大型铁水包中喷吹镁脱硫时镁的行为的研究

[意大利] NUOVA ITALSIDER; L. Brazzoduro Centro Sperimentale

Metallurgico S.P.A.; C. Borgia, A. Ferretti

提 要

本文报导了用浸入式喷枪向铁水中输送含钝化镁粒的混合物进行铁水脱硫过程的研究结果。研究了镁粒的热学和流体力学行为与脱硫动力学的关系。

1. 前 言

机械性能更好的钢需要量日益增加,例如钢管的含硫量应该尽可能的低,至少应低于70PPm。

在各炼钢厂中采用各种方法来达到上述目标,因此Nuova Italsider和C.S.M (Centro Sperimentale Metallurgico)共同决定开发向铁水包中喷吹镁粒的脱硫技术。这个系统的优点是不需要预先除渣,不需要很大的贮藏空间,由于采用钝化镁粒,所以在贮藏期间不会产生任何问题。而且,热力学数据表明^[1],在铁水预处理温度(最大为1623 K)时,镁在铁水中的溶解度比钙的溶解度大得多(铁水压力相同),这意味着镁的气化趋势较小。因而,与钙相比,镁是更有效的脱硫剂。

这种处理方式的缺点是脱硫剂价格比较高,以及必须特别注意预防后部冶金工序,尤其是转炉精炼期间的回硫。

由于这种处理方式的兴趣显著增长,故在炼钢厂中^[2~5]和实验室中^[6]以及两者结合^[7]进行了大量的脱硫研究。然而, Taranto第一炼钢厂270吨铁水包中的脱硫(这

种尺寸铁水包的喷镁深度可以超过三米),似乎还没有发表什么资料。

本研究工作的目的是调查在这种条件下发生的现象,以便在工厂中建立最好的和最经济的管理这个过程的方法。

2. 铁水包中的脱硫试验

分析了文献中报导的生产结果和工厂中一些预试验情况表明,能用最小量的输送气体(N_2)喷吹每公斤镁的喷枪系统是有益的。为此,选用了图1所示的装置。氢气的工作压力约为18°Pa和喷吹镁粉的 N_2 用量为20~50NL/Kg。

镁粉的粒度为0.3~2mm,喷入铁水所用的有纯镁和它与各种类型粉粒(粒度为0.01~0.1mm)的混合物,例如: Al_2O_3 、CaO、熟石灰、 $CaO + CaF_2$ 、橄榄石或炼镁渣。除了在40%镁和60%镁橄榄石的情况下出现分层之外,使用这些混合物没有什么困难。处理温度通常是1623 K。

在试验期间没有出现烟雾和铁水的飞溅。当喷枪深度达到约1米时,从铁水包中逸出的镁蒸气燃烧产生的闪光就消失了。

每次试验用LECO法分析硫,用原子吸

收法定镁。根据分析数据确认, 喷入的镁几乎全部与硫反应或残留在铁液中。

3. 镁粉粒的热学行为

镁粒熔化和气化的途径取决于喷射区中发生的热学和流体力学的条件。考虑到这点, 确切的理论分析包括定义边界条件, 它们是和颗粒在打入熔池之前熔化抑或之后熔化有关。

因此, 对热学和流体力学方面都发生变化的区域作一估计看来是有用的。下面根据 Taranto 工厂中所用的喷粉系统的操作条件所作的分析, 以颗粒穿入铁水后发生熔化和气化为前提。

在喷枪出口处颗粒仍然是固态^[8], 假定存在下列关系:

$$v_{co} = - \frac{Q_g}{\varepsilon S} \quad (1)$$

$$v_{po} = - \frac{q_p}{(1-\varepsilon)\rho_p S} \quad (2)$$

$$\varepsilon = - \frac{v_{co}}{v_{co} + v_{po}} \quad (3)$$

检验处理的有关特征值是:

喷枪出口直径 $d = 8 \text{ mm}$

供粉速度 $q_p = 15 \text{ Kg/min}$

输送气体流量 $Q_g = 600 \text{ NI/min}$

气/粉比 $Q_g/q_p = 40 \text{ NI/Kg}$

根据这些数据, 则 $\varepsilon = 0.96$, 与此相当的气和粉粒速度为 $V_{go} = 83 \text{ m/S}$ 和 $V_{po} = 71 \text{ m/S}$ 。

可以看到, 在熔池中颗粒相对于射流穿透深度这段距离所需的时间是极短的。

气体射流造成凹坑深度可以用早期文献中^[9]导出的关系式来确定, 它表示气体射流垂直向下喷吹时在液体中的穿透深度 l :

$$l = \left[\frac{3}{4} \frac{\rho_g V_{go} d^2}{g(\rho_m - \rho_g)} - \frac{1}{tg^2(\theta/2)} \right]^{1/3} \quad (4)$$

式(4)表示的穿透深度大约是 80 mm 。

忽略不可避免的速度变化, 那么走过这段距离所需的时间大约是 10^{-3} 秒, 这完全可以忽略。

直径为 1 mm 的镁粒, 其运动速度为 71 m/S 时具有的动能是 24×10^{-4} 焦耳。

为了能侵入铁水中, 镁粒的动能必须足够冲破气体—金属界面, 该界面能 E 为:

$$E = \sigma_s A_p$$

根据文献, 铁液—空气的表面能大约是 1.5 焦耳/米^2 。在我们的系统中利用该值, 则直径 1 mm 颗粒得到的 $E = 12 \times 10^{-7}$ 焦耳, 它比动能小得多。

因此可认为, 颗粒呈固态通过喷枪进入铁水中后, 才完成加热和开始熔化。

3.1 熔化时间的计算

为了计算一个镁球体熔化所需要的时间, 假定镁球完全侵入铁水中且与其密切接触。利用一个合适的计算机程序, 将一维热方程转换成球坐标系后求解:

$$\frac{3T}{3\tau} = \frac{\lambda}{\rho_p C_p} \left(\frac{3^2 T}{3r^2} + \frac{2}{r} \frac{3T}{3r} \right) \quad (5)$$

考虑到固—液状态变化, 镁的物理性质 C_p 和 λ 是温度的函数, 比热包含着熔化潜热。这通过 Kirchhoff—Eyrès 变换是可能做到的。

可以利用有限差分法计算之, 并取镁球体直径为 2 mm 和铁水温度为 1623 K 。

图 2 表示了镁球体中心和表面温度随时间而变化的情况。由此可见, 在 5×10^{-3} 秒后球心开始熔化, 大约在 10^{-2} 秒熔化完了。显然, 当球心熔化时, 其表面温度大约是 1273 K , 这比镁的气化温度 1380 K 还低得多。

这个结果亦证明了两相图示的正确性, 即熔化之后发生气化。

从图 2 亦可推知, 直径为 2 mm 的镁球体, 达到气化温度所需的时间大约是 $2.5 \times$

10^{-3} 秒。

3.2 气化时间的计算

气化模型是建立在下列假设基础上的：

(1) 计算开始时假定镁粒完全是液体，而且处在沸点温度。

(2) 逸出的蒸气形成一个均匀气层围绕在残余液体周围。

(3) 部分蒸气溶解在铁水中，因此引入一个F因子：

$$F = \frac{\text{粘附在液滴上的气体}}{\text{散开的气体}}$$

(4) 金属向液滴的传热通过透气层以传导和辐射方式进行。

(5) 质点在熔池中运动，使其所受压力不断变化。

在这些假设基础上，可以根据液滴由吸收的热量与气化潜热相平衡来制定模型。由于液滴已处在气化温度，所以：

$$\frac{dm_g}{d\tau} = -\frac{Q_c + Q_i}{L} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中 Q_c 是由熔池通过透气层向液滴传导的热量。可用下式确定：

$$Q_c = \lambda_v \frac{dT}{dr} A(r) \quad \dots\dots\dots (7)$$

在液滴表面与气—液界面之间积分，则：

$$Q_c = 4\pi\lambda_v \left(-\frac{R_T R_L}{R_T - R_L} \right) (T_T - T_L) \quad \dots\dots\dots (8)$$

在两个同心球的情况下，辐射传热的热量，可由下式确定：^[10]

$$Q_i = \frac{\sigma (T_T^4 - T_L^4) A_L}{\left(\frac{1}{\epsilon_L} \right) + \left(\frac{R_T}{R_L} \right)^2 \left(\frac{1}{\epsilon_T} - 1 \right)} \quad \dots\dots\dots (9)$$

将(8)和式(9)代入式(6)可得：

$$\frac{dm_g}{d\tau} = 4\pi\lambda_v \left(\frac{R_T(\tau) \cdot R_L(\tau)}{R_T(\tau) - R_L(\tau)} \right) \left(\frac{T_T - T_L}{L} \right)$$

$$+ \frac{\sigma (T_T^4 - T_L^4)}{\left(\frac{1}{\epsilon_L} \right) + \left(\frac{R_T(\tau)}{R_L(\tau)} \right)^2 \left(\frac{1}{\epsilon_T} - 1 \right)} \cdot \frac{A_L(\tau)}{L} \quad (10)$$

3.3 粉粒的上升速度

作用在液滴上的力的平衡为：

质量×加速度 = 浮力 - 质量力 - 液体介质阻力 - 附加质量效应。

上式最后一项是考虑了颗粒周围液体的加速度。

可以写成：

$$\begin{aligned} (V_L \rho_L + V_g \rho_g) \frac{dV}{d\tau} &= (V_L + V_g) \rho_m g - \\ &= (V_L \rho_L + V_g \rho_g) g - \frac{C_D (V) \pi R_T^2 V^2 \rho_m}{2} \\ &- C_A (V_L + V_g) \rho_m \frac{dV}{d\tau} \quad \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

式中 V_L 是液滴的体积，随着气化进程而减小^[10]。 V_g 是粘附在液滴上的蒸气的体积，它是蒸发速度的函数^[10]。 ρ_g 是气体的密度，气体向自由表面上升时随着压力的减小 ρ_g 是变化的。 R_T 是总的半径，它随着上述三个参数而变化。

附加质量系数 C_A ，根据文献[11]的推导，估计是0.5。

曳力系数 C_D 不是常数，它取决于颗粒的速度，通常通过雷诺数 Re 来表示：

$$Re = \frac{2VR_T\rho_m}{\eta_m}$$

曳力系数和雷诺数有某种关系。对于某已知液体，和颗粒运动速度有关。可以用下式估计 C_D ：

$$\begin{aligned} C_D &= \frac{24}{Re} & 10^{-3} < Re < 1 \\ C_D &= \frac{18.5}{Re^{0.6}} & 1 < Re < 10^3 \\ C_D &= 0.44 & 10^3 < Re < 10^5 \dots\dots (12) \end{aligned}$$

应用数值法可求解方程组(10)、(11)、(12)。因此,描述喷入金属熔池后颗粒的热学和动力学方面行为是可能的。在模拟试验中, F因子取 5×10^{-5} 。鉴于 F 的定义,实际上这意味着假定几乎全部的镁都气化而溶解在铁水中。这样选择的理由是:因为喷入铁水包中的镁的最大用量只是其在铁水中溶解度 1/10,所以在理想条件下,镁很快地进入溶液中。而且,有一次模拟试验,采用粒度为 1mm, 喷吹深度为 1.5m 和 $F = 5 \times 10^{-5}$ 时,估计有一半的镁粒质量上升到表面。但实际观察与此相反,故取 $F = 5 \times 10^{-5}$ 是合适的。

图 3 所示是两个不同喷吹深度时,镁粒完全气化所需的时间和对应的行走距离与粒度的关系。

显然,镁粒的平均直径对于镁的气化速度是非常重要的。在图中没有报导的另一次模拟试验,采用镁粒直径为 5mm, 喷吹深度为 3.5 米,试验表明镁粒上升到表面时只气化了一半。因此,在上述条件下,不能采用这样粒度的镁粒。

喷吹深度对不同粒度粉料行为的影响是很明显的,如图 3 所示。而图 4 所示更为明显。由此可见,喷吹深度越小,则镁粒完全气化的时间越长,在熔池中行走的距离亦越长。这种趋势可以用下列事实来解释,因为铁水的静压头较小,使气体的密度较小,则气体隔离层较厚,所以气化时间就较长。

气泡直径较大亦会使上浮速度增大,致使完全气化之前的液滴行走较长的距离。

4. 工业生产的结果

脱硫试验结果示于图 5,它报导了脱硫率($\% \Delta S$)是单位喷镁量(Kg/t)的函数,脱硫率的定义如下:

$$(\% \Delta S) = 100 \left(1 - \frac{[\% S]_f}{[\% S]_i} \right) \dots (13)$$

实验数据按照下面的乘积值分组:

$$K_{PSO} = [\% Mg] \cdot [\% S]_i \dots (14)$$

式中 K_{PSO} 一般叫做表观溶度积。

$[\% Mg]_f$ 和 $[\% S]_f$ 的化学分析值既包含着铁水中溶解的镁和硫,也包含着 MgS 夹杂物中的镁和硫。

将作为化学分析镁和硫的试样,在光学显微镜下和用扫描电镜分析仪检验。

金相检验显示的 MgS 夹杂物的直径在 1 ~ 5 μm 之间。这些细小夹杂物的上升速度非常小。

图 6 所示是用扫描电镜检验的夹杂物的典型谱线。

为了正确地估计夹杂物的重要性,对实验数据作动力学分析是有用的。假定 MgS 夹杂物不受脱硫过程速度的影响,而且考虑到镁粒的溶解速度很大(见图 3 和图 4)。这样一来,似乎脱硫速度取决于镁的浓度和实际含硫量与平衡值的差。在这种条件下,既然在试验期间的喷镁速度近似恒定,故可写成:

$$\lg \frac{100 - [\% \Delta S]}{100} = \frac{K}{2} m(\tau) \tau \dots (15)$$

知道处理时间,该方程式可作成图 7。如果假设是正确的,则直线斜率为 $K/2$,且该直线与溶度积无关。从图 7 可见,有些点落在系数 $K/2 = 0.467$ 的直线上,其中最大的一个 $\Delta \% S$ 值约为 70%。从这一点开始,试验点发生偏离,而且表观溶度积值越大则偏离越大。在 $\Delta \% S$ 为 83% 左右,实测表观溶度积值最小的这些点,亦偏离该直线。

根据上述分析可以推断,当脱硫达到了很低的水平(在我们的情况下, $\% \Delta S = 70\%$ 时,相应的平均含硫量为 70ppm),可以认为用镁脱硫过程与钢用铝脱氧相类似,最慢的步骤是夹杂物的形成和上浮。

在这些试验中得到的溶度积值变化于较大范围,这是因为所用的混合料具有不同的镁—粉比。

从图 8 可以明显地看出, 平均表观溶度积与热力学溶解度的比, 随着镁粒比的减少而降低, 所以夹杂物对脱硫过程动力学的影响可以忽略。

粉剂的效率与它的脱硫状况无关(例如 $\text{Mg}-\text{Al}_2\text{O}_3$ 混合物), 这可以解释如下: 它们的大小能作为夹杂物的核心把 MgS 聚合起来, 因而比细小的 MgS 夹杂上升的速度更快。

5. 结 论

在实验观察的基础上结合喷射镁粒的热学行为计算表明, 镁粒溶解于铁水中只需几秒钟。尽管如此, $[\%S]_t$ 值没有达到热力学计算所预期的水平。这主要是用镁脱硫时希望达到非常深度的脱硫, 但是夹杂物上浮等各种现象是过程中最慢的控制环节。

采用镁与合适密度的各种粉剂的混合物能改善这种情况。它们能够充当夹杂物的集合中心。用增加镁的单位消耗量来获得低的含硫量是没有必要的, 图 5 数据明显地说明了这一点。

北京钢铁学院

张信昭 译

曲 英 校

符 号 表

A_L	镁液滴的面积	$[\text{m}^2]$
A_p	相当于镁粒最大直径的面积	$[\text{m}^2]$
$A(r)$	镁粒与铁水之间的换热面积	$[\text{m}^2]$
C_A	附加质量系数	$[-]$
C_b	曳力系数	$[-]$
C_p	定压比热容	$[\text{J}, \text{K}^{-1}, \text{Kg}^{-1}]$
D	镁粒直径	$[\text{m}]$
d	喷枪出口直径	$[\text{m}]$
E	表面能	$[\text{J}]$

F	粘附在液滴上的气体与散开的气体之比	$[-]$
g	重力加速度	$[\text{m} \cdot \text{S}^{-2}]$
K	速度常数	$[\text{S}^{-1}]$
K_{psO}	表观溶度积	$[-]$
$\overline{K}_{\text{psO}}$	平均表观溶度积	$[-]$
K_{psot}	在 1623K 时的热力学溶度积	$[-]$
L	单位质量镁的气化潜热	$[\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1}]$
l	穿透深度	$[\text{m}]$
$m(\tau)$	每吨铁水的镁耗量	$[\text{Kg} \cdot \text{t}^{-1}]$
m_g	在时间为 τ 时气化的镁量	$[\text{Kg}]$
$[\%S]_t$	脱硫试验終了时铁的百分浓度	$[-]$
$(\%S)_p$	脱硫混合物中镁的百分数	$[-]$
Q_0	单位时间内以传导方式向镁粒供给的热量	$[\text{J} \cdot \text{S}^{-1}]$
Q_g	输送气体的流量	$[\text{Nm}^3 \cdot \text{S}^{-1}]$
Q_r	单位时间内以辐射方式供给镁粒的热量	$[\text{J} \cdot \text{S}^{-1}]$
q_p	颗粒的质量速率	$[\text{Kg} \cdot \text{S}^{-1}]$
r	离镁粒中心的径向距离	$[\text{m}]$
Re	雷诺数	$[-]$
R_L	镁液滴的半径	$[\text{m}]$
R_T	从镁粒中心到铁水—镁蒸气界面的径向距离	$[\text{m}]$
S	喷枪出口面积	$[\text{m}^2]$
$[\%S]_t$	脱硫试验終了时铁水中硫的百分浓度	$[-]$
$[\%S]_0$	脱硫试验开始时铁水中硫的百分浓度	$[-]$
T	温度	$[\text{K}]$
T_L	镁液滴的表面温度	$[\text{K}]$
T_T	铁水温度	$[\text{K}]$
V	镁粒的上浮速度	$[\text{m} \cdot \text{S}^{-1}]$
V_{so}	喷枪出口处的气体速度	$[\text{m} \cdot \text{S}^{-1}]$
V_{po}	喷枪出口处的颗粒速度	$[\text{m} \cdot \text{S}^{-1}]$

V_g 镁蒸气的体积	$[m^3]$	λ_v 镁蒸汽层的热传导率	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
V_{go} 输送气体的体积	$[m^3]$	μ_m 铁水的粘度	$[Kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}]$
V_L 镁粒液体部分的体积	$[m^3]$	ρ_a 输送气体的密度	$[Kg \cdot m^{-3}]$
V_{po} 颗粒的体积	$[m^3]$	ρ_g 镁蒸汽的密度	$[Kg \cdot m^{-3}]$
$[\% \Delta S]$ 脱硫率	$[-]$	ρ_L 液体镁的密度	$[Kg \cdot m^{-3}]$
ε 体积分率	$[-]$	ρ_m 铁水的密度	$[Kg \cdot m^{-3}]$
ε_L 镁液滴表面的辐射系数	$[-]$	ρ_p 固体镁的密度	$[Kg \cdot m^{-3}]$
ε_T 铁水—镁蒸气界面的辐射系数	$[-]$	σ 斯梯芬—波茨曼常数	$[W \cdot K^{-4} \cdot m^{-2}]$
θ 射流的锥角	$[^\circ]$	σ_s 单位面积的自由表面能	$[J \cdot m^{-2}]$
λ 热传导率	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	τ 时间	$[s]$

参 考 文 献

1. M. OLETTE, P. RIBOUD - C.I.T. (1979), 4, P.559.
2. N.A. VORONOVA, S.T. PHILSKANOWINI, A.F. SCHEVCHENKO - steel in the URSS (1974), p.261.
3. V.I. MACHIKIN, E.N. SKLADANOVSKII - steel in the URSS (1979), p.159
4. P.V. GULYGA, Z.I. PASHKOVA - steel in the URSS (1977), p.189.
5. J. CORDIER, J.P. CHAUSSY, G. LHUSSIER, Y. BIENVENU, G. DENIER - Revue de Metallurgie, CIT (1981), p.201.
6. G.A. IRONS, R.I.L. GUTHRIE - Met. Trans. B (1981) 12B, p.755.
7. U. NAKANISHI, A. EJIMA, T. SUZUKI, F. SUDO - Tetsu to Hagané, (1978), 64, (9), p.1323.
8. C. BORGIANNI, A. FERRETTI, C. PIETROSANTI - Rapp. CSM n°3585R, (1980).
9. A. FERRETTI, V. GIORDANO, M. PODRINI - B.T.F. (1977), 961, p.209.
10. N. ÖZISIK - "Radiative transfer" wiley Interscience, (1973).
11. J. SZEKELY - "Fluid Flow phenomena in metals processing" Academic Press, (1979).

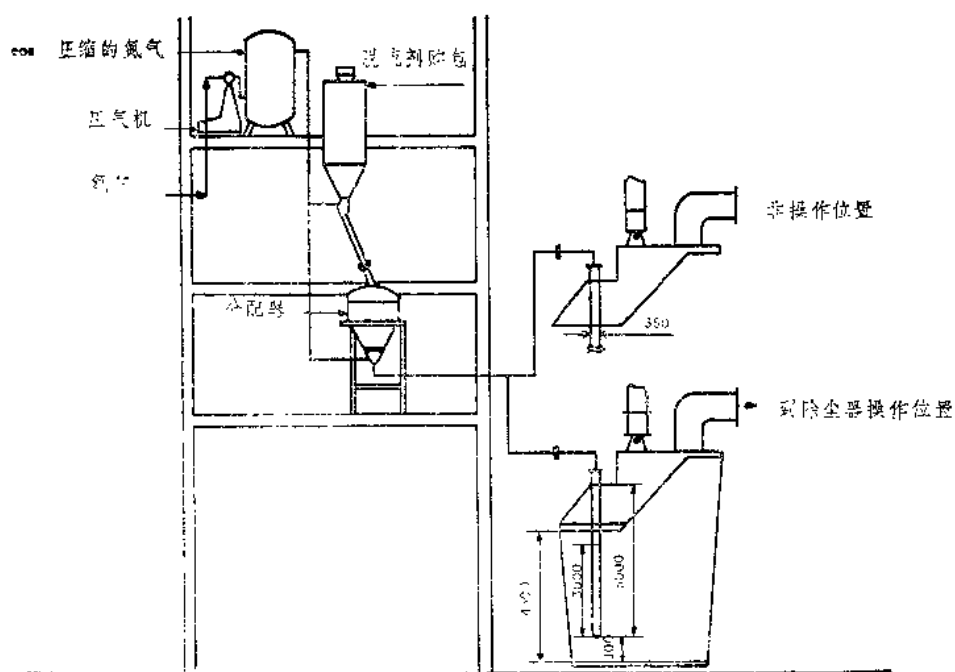


图 1、脱硫装置布置图

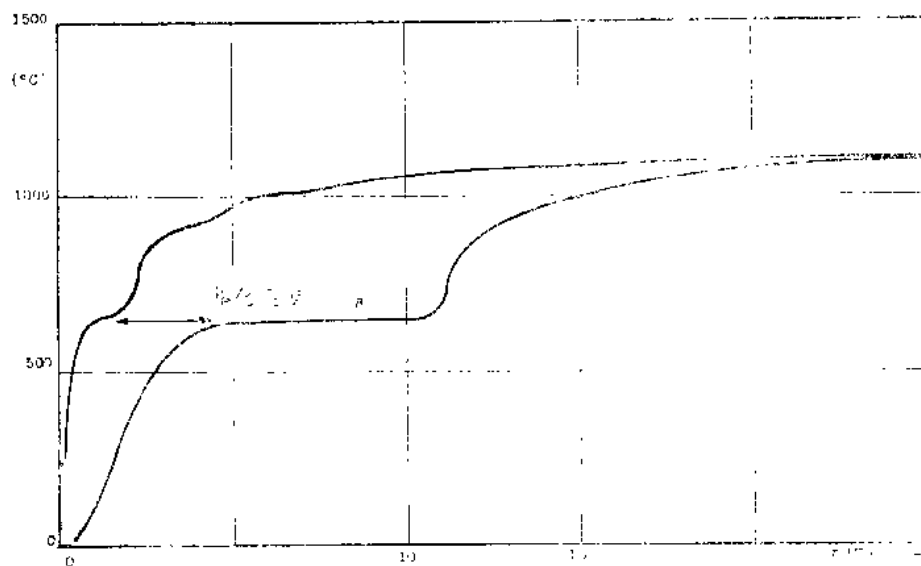


图 2、在1350℃时，直径为2mm的镁球，侵入铁水后，其表面温度(Λ)和中心温度与时间的关系

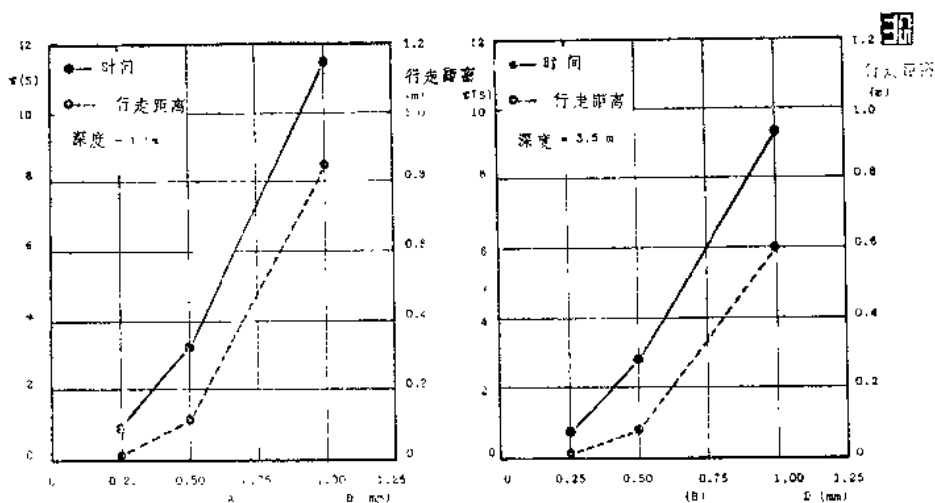


图 3、喷吹深度为1.5m (A) 和3.5m (B) 时镁粒完全气化时间和行走距离与它们的直径的关系

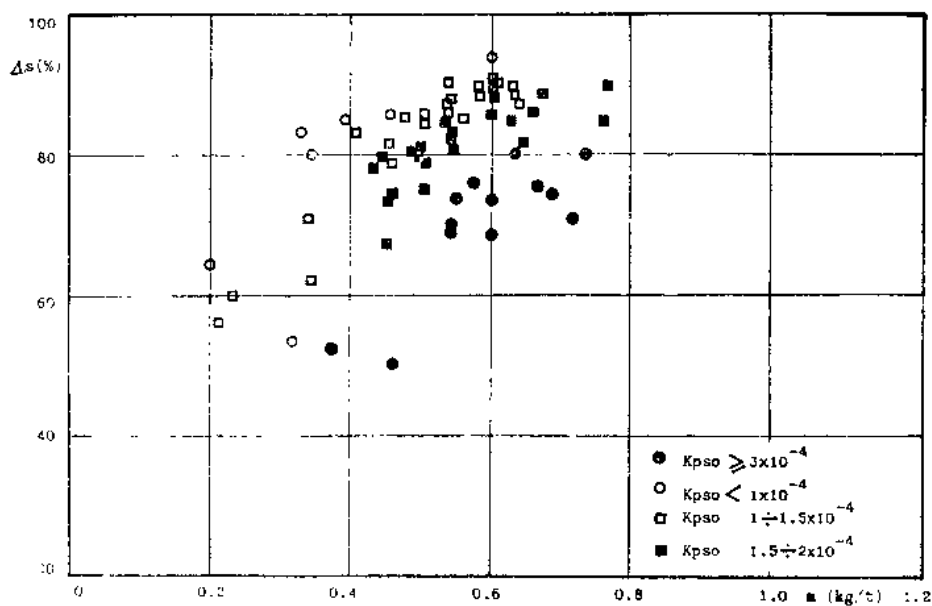


图 5、脱硫率与单位喷镁量的关系

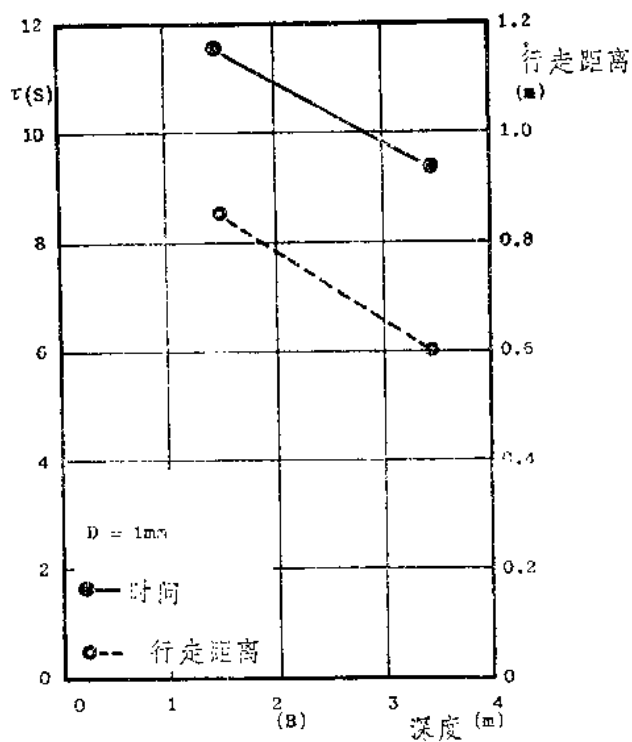
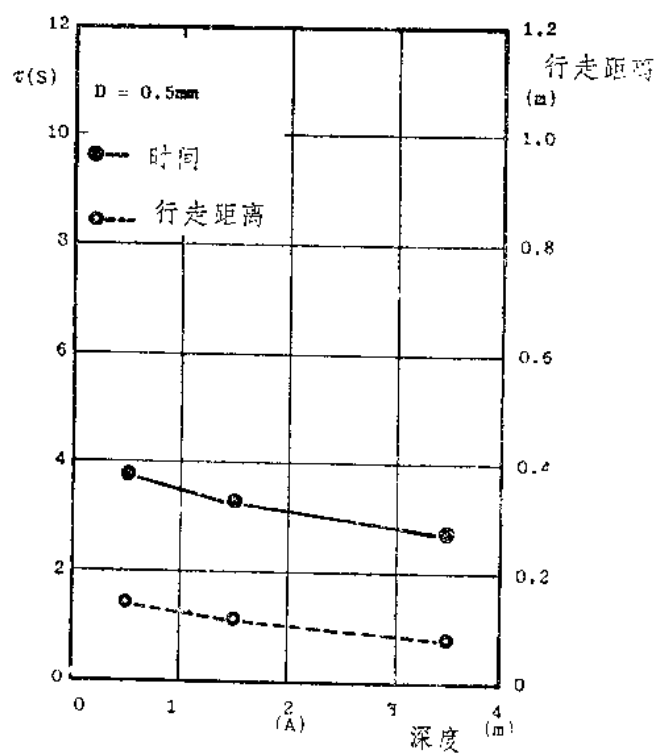


图 4、镁粒直径为 0.5mm(A) 和 1mm(B) 时，其完全气化时间和行走距离与喷吹深度的关系

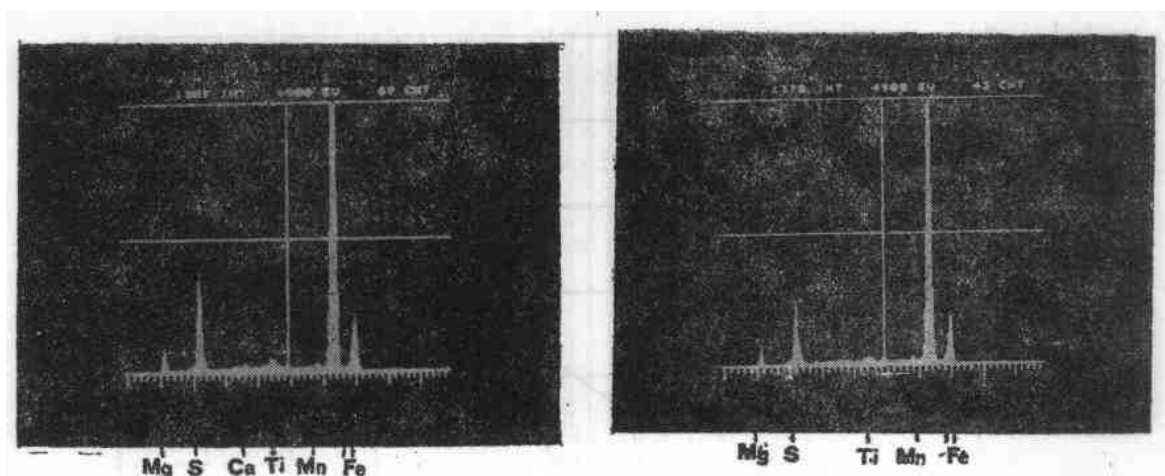


图 6、扫描电镜分析揭示的夹杂物成分

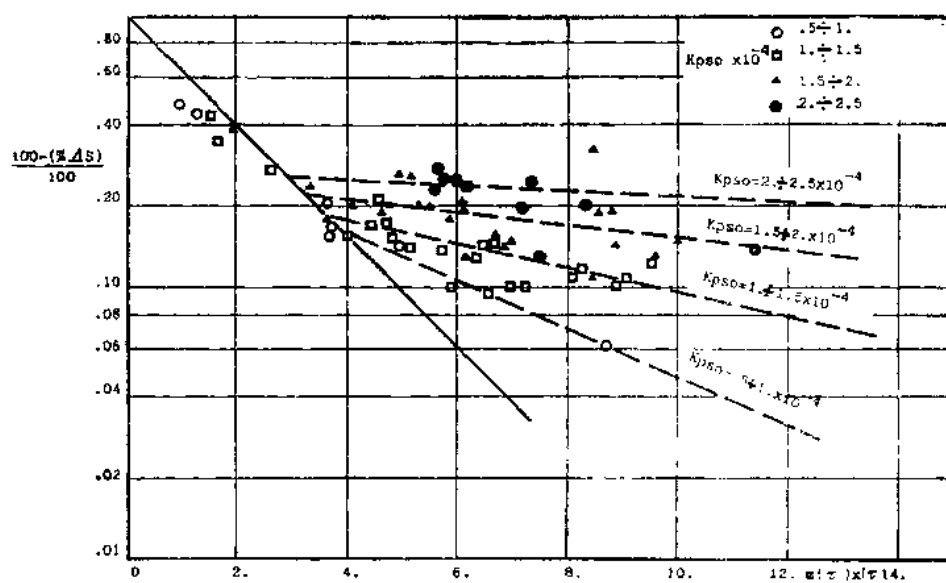


图 7、工业生产数据的动力学分析，

$\lg \frac{100 - [\% \Delta S]}{100}$ 与 $m(\tau) \times \tau$ 的关系

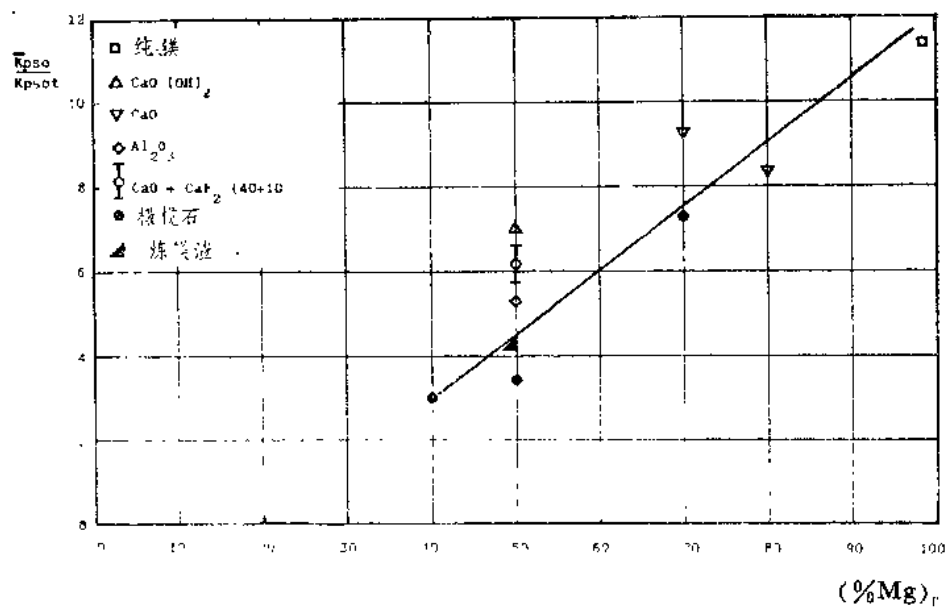


图 8、 $\overline{K_{ps0}}/K_{psot}$ 比与脱硫混合物中 $(\%Mg)_r$ 之间的关系

用喷射石灰法进行铁水脱硫

F. LECLERCQ等

提 要

用纯石灰进行铁水脱硫的效果,主要受处理时在石灰块表面形成的硅酸钙所限制,它会降低硫的渗入速度。在法国钢铁研究所(IRSID)6吨铁水包中作了加 $\text{CaF}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\cdots$ 等溶剂以溶解硅酸钙,以及加比硅更强的脱氧剂(CaC_2 , Mg , $\text{Al}\cdots$)以防止其形成的试验。以铁水中加铝后再喷射石灰的效果最好。法国钢铁研究所和法国钢铁厂对此过程做了更为详细的研究。研究了石灰质量、带入的高炉炉渣、铁水温度和成分的影响。石灰喷射量为 6Kg/T 时,处理后硫含量可降至 $<0.005\%$,脱硫率约为 80% 。从经济观点来看,这过程比大多数目前所用的要好。在法国索尔麦尔厂,用这过程在450吨鱼雷车内处理生产的大部分铁水。

引 言

许多钢厂为了生产低硫钢,或只是在转炉前控制铁水硫含量,应用了炉外铁水脱硫这个予精炼技术。近年来已发展了许多用含钠、镁或钙的材料作脱硫剂的过程。例如最近法国钢铁研究所和法国钢厂研究了喷射碳酸钠或镁粉基混合剂(由尤西诺尔敦刻尔克厂发展的尤西马克过程)的过程。

关于用石灰进行铁水脱硫的可能性也作了许多研究,最早法国钢铁研究所在1950年就考虑了(TWA喷嘴喷射过程)。但是至今,无论用什么办法,用纯石灰作脱硫剂的结果是令人失望的(把石灰喷入铁水或用机械方法、气体动力学方法搅拌金属和渣)。例如HOESH设计的过程(在甲烷还原气氛下用机械搅拌)至今还算是一种最有效的方法,加入 8Kg/T 石灰时脱硫率 $\Delta\text{S}/\text{So}$ 为 70% 。

由于脱硫反应放出氧并为铁水中硅所固定,这就是脱硫剂效率较低的部分原因。



这氧化硅就能生成一层硅酸钙,它严重

阻碍硫向石灰颗粒内部渗透。

向铁水加入比硅更强的脱氧剂,或加入少量熔剂,至少能局部地破坏脱硫时形成的硅酸钙,这样做应该能改善石灰处理的过程。

本文叙述了法国钢铁研究所的试验结果,以确定能提高石灰使用效率的各种粉料作用,还介绍随后在索尔麦尔所应用的并发现这是最有效的石灰脱硫过程。

I 各种石灰基反应剂的 脱硫能力比较

法国钢铁研究所在6吨敞口铁水包内作了加各种脱氧剂和能作硅酸钙熔剂的氧化物后,对铁水用石灰脱硫有什么影响的研究。处理前铁水经仔细扒渣,温度约 1400°C ,铁水平均成分为: $\text{C}=4\%$, $\text{Mn}=0.55\%$, $\text{Si}=0.4\%$, $\text{P}=0.1\%$, $\text{S}=0.03\text{--}0.080\%$ 。大多数试验用氮作载气,通过垂直的喷枪,把纯石灰或石灰基混合剂喷入距包底约40cm的熔池处。粉剂的喷射速度与类型、成分有关。