

大型铸锻件文集

第 三 期

上海重型机器厂情报室编

· 九 八 九 年

目 录

1	日本的新型炼钢技术	1
2	制造透平用3.5%-NiCrMoV高纯度钢和1%CrMoV 调质钢.....	15
3	RH喷射法与脱气和粉末喷射相结合.....	18
4	控制大型铸钢件中的夹杂物	21
5	RH精炼法卅年发展史.....	25
6	RH真空处理法的应用.....	32
7	RH脱气装置中脱碳行为的研究及其操作的改进.....	36
8	铁基高合金A286钢的倒V偏析和脆化相的生成条件	48
9	采用ESHT-J法制造大型钢锭	58
10	以电渣重熔法生产的A286合金园盘的 性能	70
11	大功率汽轮机整锻低压转子生产技术的开发.....	77
12	大型优质钢锭的生产.....	80
13	锰和硅对大型锻钢的贝氏体淬硬性及其特性的影响.....	82
14	交变应变条件下汽轮机转子钢的高温疲劳特性和 寿命评价法.....	99
15	钢锭轴心部疏松缺陷形成条件的推理.....	106
16	大型双模拼浇少料头锻造钢锭.....	116
17	关于高铬锻造冷轧辊的特性.....	120
18	Pitt-Tex有限公司的工作辊高效感应硬化.....	128
19	大型制件和半成品件预热处理的最佳化.....	132
20	大型锻件预热处理热循环的应用.....	135

21	制造双金属轧辊的新型高铬合金的热处理研究.....	138
22	轧辊感应加热中温度分布的分析.....	154
23	采用塑料泥物理模拟大型锻件的中心线压实.....	162
24	用炼钢生铁制造大型锻造锭模.....	186
25	180吨钢包炉的操作经验	188
26	关于电弧炉、钢包炉及其它用途的铸钢水冷炉衬技术 最新成就.....	196
27	钢厂电弧炉水冷电极棒的改进.....	203

日本的新型炼钢技术

Kiminari Kawakami

目 的

本文概述了日本冶金领域的发展趋势。详细地探讨了高纯钢的冶炼，老工艺的改进，以及新工艺的开发与试验。

概 述

本文介绍了日本通过陶瓷过滤器析出杂质、并通过在氧化和还原的条件下降低合金钢中的硫(S)和磷(P)的含量来生产高纯钢的工艺革新。对于高铬钢的冶炼来说，铬矿石在复合吹氧转炉中熔炼还原是非常重要的。为了控制连续的冶炼过程，有必要继续发展生铁和钢水的直接联机分析。在浇铸技术范围内，将着手探讨电磁场的使用和钢的带式浇铸标的准。

日本钢铁研究所于1983年2月至1985年组织了一个由该所研究规划委员会负责的特别研究组，其任务是探讨引进日本的经革新了的炼钢工艺。该研究组通过探讨写出了报告，从下面四个方面论述了炼钢工艺未来发展的可能性：

- 熔炼还原新方法，
- 高纯钢的生产，
- 电磁场在冶金方面的运用和
- 钢浇铸和凝固的新方法。

在此期间，日本的冶炼厂、大学和其它研究部门已定出这些方面的研究和发展措施。本报道着重探讨这些发展的标准。

高纯钢的生产

根据热力学的观点，在钢精炼时，看不出有降低含量的极限。相反，在调整反应速度和多相析出时可能会碰到问题。

定义“高纯钢”的含义是：将讨厌的伴生元素降到最低含量。高纯钢液合金化后，必须调整到必要的凝固组织，然后，通过热力学处理调整到相变组织。同时，可以利用显微合金效应发展新钢种，以及扩大这些钢材的使用可能性。

直70年代末，由于降低了钢水中的杂质含量，使目前能够生产大量高纯钢。但这一发展势头还未结束。据M·Sasabe估计，到2000年，批量生产钢的杂质含量分别为：C6ppm，

$S < 1\text{ppm}$, $P 2\text{ppm}$, $O_{\text{ges}} 5\text{ppm}$, $N 14\text{ppm}$ 和 $H 0.2\text{ppm}$ 。结果与60年代初通过采用生铁脱硫降低硫含量的结果相似。1976年在冶炼过程中采用生铁预处理和钢包处理来脱磷,也同样实现了降低磷含量的结果。

为了调整超纯钢,除了将硫降到最低含量外,考虑到杂质直径有 $10\mu\text{m}$,所以必须进一步研究在脱氧后降低矾土含量。

S. Asai指出,钢水搅拌时,通过烧结析出小粒矾土杂质比较困难。钢水涡动时的旋涡直径可以按照公式 $\eta = (\mu^3 / P^2 \cdot \eta)^{1/4}$ (Kolmogoroff的理论) 进行计算。然而,剧烈搅拌时,涡流的最小直径约为 $50\mu\text{m}$ 。在这些条件下,直径小于 $10\mu\text{m}$ 的小颗粒矾土静止在涡流的中心。这些小颗粒几乎不会互相碰撞,形成簇状而析出。也就是说,钢水通过搅拌所析出的矾土微粒是有极限的。此外,对于直径小于 $10\mu\text{m}$ 的颗粒在钢水涡流时,物质的迁移系数亦为一个不变值。该值大大地小于最小值2.0,这是按照Ranz-Marshall公式($Sh = 2.0 + 0.60Re^{1/2} \cdot Sc^{1/3}$)得出的,这也就是说,物质以其极低的速度迁移。

因此,为了析出矾土小颗粒,曾用氧化钙粉和CaO混合物进行试验,并加入 CaF_2 , CaCl_2 或者 BaCl_2 作为助溶剂。CaO和 Al_2O_3 的共晶化合物与CaO和 SiO_2 相比,具有特殊的特征。CaO- Al_2O_3 的二元渣系中 Al_2O_3 的活性范围小,低于0.005,容易吸收钢水中的 Al_2O_3 。此外,在该二元渣系中的CaS活性范围低于0.01,亦可吸收钢水中的硫;最后, $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ 的共晶化合物的熔点低,为 $1360 \pm 5^\circ\text{C}$ 。

图1所示是钢水中组元的活性,其与CaO- Al_2O_3 -CaS渣系(1823K, $a_0 = 3 \cdot 10^{-5}$)保持平衡。硫的活性值 a_s 的范围较小,为0.002至0.004。当CaO的克分子分数较高,即为0.65时,铝的活性值 a_{Al} 值为0.07。这说明该CaO- Al_2O_3 渣系具有较高的脱氧和脱硫潜能。

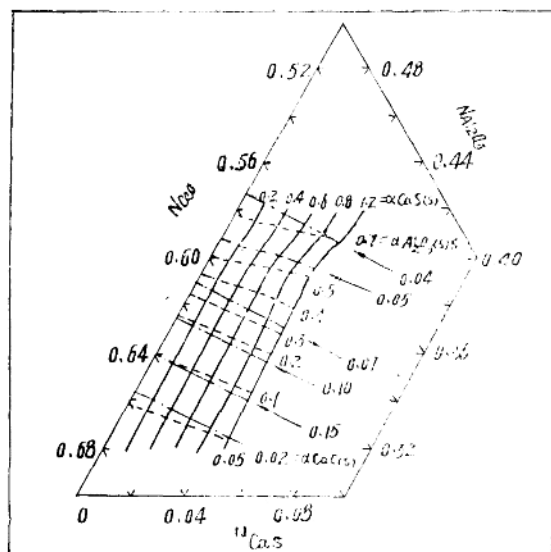
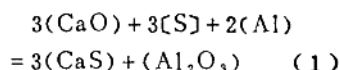


图1 CaO- Al_2O_3 -CaS渣系在1823K时的等活性线

钢水脱硫 脱硫反应过程的先决条件是高碱性渣和还原条件。在真空罐内,通过脱氧、相应的渣、以及在低压下进行有效的搅拌,较容易地达到脱硫目的。脱硫反应式如下:



在50tVAD容器内进行的试验结果得出了渣的最佳成份在CaO和 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 的双饱和范围内,以及硫比 $\%(\text{S})/\%[\text{S}]$ 达到600,最终含硫量为3至10ppm,(图2)。此时,渣的成份是60%CaO, 10% SiO_2 和30% Al_2O_3 。在硅酸三钙析出阶段中脱硫时,渣的粘度起着影响的作用。譬如,当 MgO 含量高于10%时,脱硫降低。在一个250t钢包内,采用上述方法脱硫,

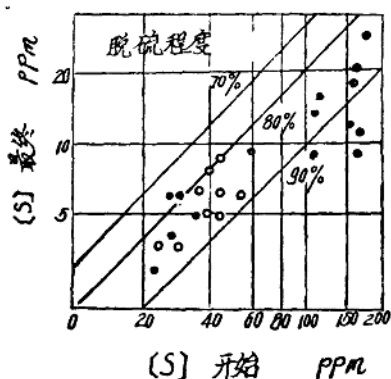


图2 用吹气 (G) 和VAD处理进行脱硫

$$\log = -\frac{2}{3} \log a_{\text{Al}} + \log a_{\text{CaS}} - \log a_{\text{CaO}} - \frac{15640}{T} + 5.329 \quad (3)$$

说明。

T·Fujisawa和其合作者们认为：根据一台5吨真空感应炉上获得的结果，采用Fe-Al-Ca-O渣系的热力学的平衡数据外推法可以得出，在渣的含硫量为2%时，硫化物容量为 $200 \cdot 10^4$ ，硫比 $\%(\text{S})/\%[\text{S}]$ 大于1000。当然，CaO砖衬的吸水性相当强，所以，如果不采取有关的相应措施来解决这一问题，那么，CaO砖衬就不能使用。

钢水的过滤 图3所示是用一只陶瓷泡沫过滤器从200kg高频炉中冶炼的钢水中析出矾土杂质的试验。该陶瓷泡沫过滤器由含99.5% Al_2O_3 的矾土粉制成，密度为3.92，其过滤小孔的直径范围为2-20mm。矾土杂质通过粘附在陶瓷泡沫过滤器上而被析出，且主要是在该过滤器的接触面上，并在钢水流动速度产生变化的情况下被析出。事实证实：钢水流动速度越快，矾土通过粘附在泡沫过滤器表面上而被析出的效果就越好。

把用来改善纯度的多孔陶瓷过滤器用在连铸的中间罐上进行试验。为了弄清对通过粘附析出矾土的机理的影响大小，H. Mizukami作了实验。在这种情况下，使用了8毫米直径的

同时，进行气体搅拌，可以使含硫量达到3至22ppm的范围。

碱性炉衬 在一只碱性炉衬的真空感应炉中进行脱氧和脱硫试验。试验后对碱砖的微观检查，得出如下结果：沿着CaO晶界形成了一只CaO- Al_2O_3 熔池，脱氧是在形成铝酸钙的过程中进行的，而脱硫则必须通过与含活性差的CaS渣液的反应实现。这一反应可用下列反应式

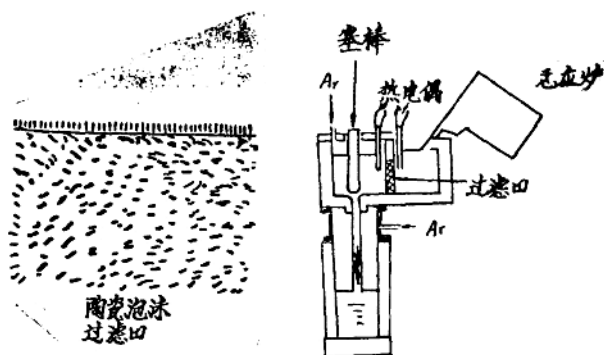
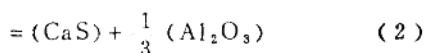
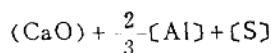


图3 使用陶瓷泡沫过滤器的试验流程

水平滤孔的过滤器。其结果证实：由于钢水流动速度较低，矾土颗粒在与过滤器的接触面上被析出（至过滤器表面500μm厚的钢水层）。事实证实：其影响大小与这根据 S.N.Singh 理论将浸没式出铁口堵塞时的影响一样。

新日铁的Hikari研究中心在连铸不锈钢时，将陶瓷过滤器用作中间罐的堰堤。根据在5吨真空感应炉上进行的基本试验（炉上装有每厘米11-12滤孔的氧化锆（ZrO₂）陶瓷泡沫过滤器），不锈钢具有良好的可铸性，而且不锈钢铸体内的总含氧量降低了约10ppm。

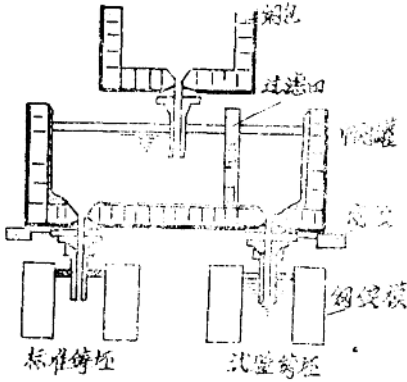


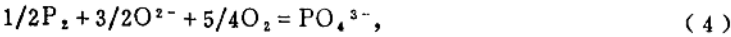
图4 连铸时使用陶瓷过滤器的简图

图4所示是太平洋金属公司在浇铸不锈钢时把多孔陶瓷过滤器用作中间罐堰堤的试验。通过使用这类陶瓷过滤器，金属坯中的非金属杂质可以降低20%。金相检验证实：在由Al₂O₃·MgO尖晶石组成的过滤器的表面上有直径为10μm以下的杂质。日本钢管公司的Keihin工厂为了同一目的，做了几次浇铸含钛和硼合金的铝镇静钢的试验，其结果表明：钢水通过矾土陶瓷过滤器堰堤后，其最终含氧量由中间包前的8至16ppm降到8ppm。在过滤器内表面上析出的杂质成份有Al₂O₃-CaO，FeO-Al₂O₃和CaO-Al₂O₃-SiO₂。

日新钢厂把一只由CaO制成的过滤器作为堰堤装在中间罐内进行试验。堰堤上的Al₂O₃含量由试验前的0.5%上升到过滤试验后的1.6%，特别是在过滤器内的钢水静止点上沉积了Al₂O₃杂质。通过对矾土吸收层进行的X射线衍射检验，证实过滤器内存在低熔点共晶化合物12CaO·TAI₂O₃。新日铁也将一只由CaO做成的堰堤装在中间罐中进行了试验。

合金钢脱磷 最近的研究工作是从两个方面进行的：其一使用高碱助熔剂进行氧化脱磷，另外在很强的还原气氛下，使用金属钙，借助于助熔剂进行脱硫。第一种方法的助熔剂有BaO，Li₂CO₃，Soda，CaO-CaF₂，K₂CO₃，Na₂CO₃氧化物，CaCl₂氧化物，CaO-CaCl₂氧化物，以及CaF₂-CaCl₂氧化物和CaO-NaF，而在还原脱磷时，使用Ca-CaF₂和CaC₂-CaF₂助熔剂。

考虑到BaO-BaF₂渣液中磷酸盐和磷化物的热化学数据参数，并根据CaO-CaF₂渣系的试验结果，在氧化状态下的脱磷反应可用下列离子方程式表示：



$$K_1 = \frac{a_{PO_4^{3-}}}{P_{P_2}^{1/2} \cdot a_{O^{2-}}^{3/2} \cdot P_{O_2}^{5/4}} \tag{5}$$

式中，K₁是反应式（4）中的平衡常数，P_i和a_i是分压或者说是组元i的活度。

如果渣中的磷在很强的还原气氛下形成磷化物，则脱磷反应可用下列离子方程式表示：



$$K_2 = \frac{a_{\text{P}}^{3-} \cdot P_{\text{O}_2}^{3/4}}{P_{\text{P}_2}^{1/2} \cdot a_{\text{O}_2}^{3/2}} \quad (7)$$

若是磷酸盐脱硫反应与氧分压的关系，用下式表示：

$$\log \frac{\% \text{PO}_4^{3-}}{P_{\text{P}_2}^{1/2}} = 5/4 \log P_{\text{O}_2} + \log \frac{a_{\text{O}_2}^{3/2} \cdot K_1}{f_{\text{PO}_4^{3-}}} \quad (8)$$

若是磷化物，则用下式表示

$$\log \frac{(\% \text{P}^{3-})}{P_{\text{P}_2}^{1/2}} = -3/4 \log P_{\text{O}_2} + \log \frac{a_{\text{O}_2}^{3/2} \cdot K_2}{f_{\text{P}^{3-}}} \quad (9)$$

1350℃时的BaO饱和渣的试验结果示于图5。根据这些可以提供的试验结果，在1350℃下，当磷酸盐容量为 $C_{\text{PO}_4^{3-}}$ 时，从CaO-CaF₂助熔剂和BaO助熔剂的比较中得出，BaO基

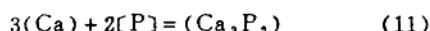
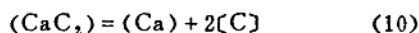
渣的磷分布提高约8倍。

日新钢厂曾用CaO-CaF₂-FeO助熔剂对18%Cr和9%Ni的碳合金钢水进行脱磷试验，并在一台30吨-AOD转炉上再加入Li₂CO₃。此时，磷含量可由250ppm降到60ppm。

后来的试验亦证实，渣里的氧分压越高，脱磷效果就越好。同时，也表明了用于计算磷分布的现有热力学数据还不够充足。

住友金属曾在一台10吨-AOD转炉上用BaO-BaCl₂-Cr₂O₃助熔剂对不锈钢SuS316进行了脱硫试验。此时，磷含量由230ppm降到60ppm。当渣达到足够的粘度时，由于Cr₂O₃的熔解性较好，所以BaO基的助熔剂的效果比CaO基的助熔剂的好。川崎钢厂曾经在一台100t的电弧炉上冶炼不锈钢时，对含有13%Cr和3%C的母合金进行脱磷试验。使用CaO-CaF₂-Cr₂O₃作为助熔剂，取得了脱磷27%的效果。

钢水中象铬那样的贵重元素，如P，As，Sb，Bi，Sn，Pb，N，S，O，Se等，可以通过含金属钙的助熔剂析出。譬如：磷经这种处理后，会形成磷化物Ca₃P₂。通过CaC₂-CaF₂助熔剂的处理，脱磷反应可以生成下列的物质迁移式：



在用CaC₂-CaF₂助熔剂处理时，脱磷过程就是分解CaC₂和在渣中形成Ca₃P₂的过程。碳的活性 a_c 越低，CaC₂分解程度就越大，以致在渣中形成更多的金属钙。因为渣中的钙含量是通过蒸发减少的，所以重要的是找到碳活性的最佳条件和处理温度。为此，H. Kataya-

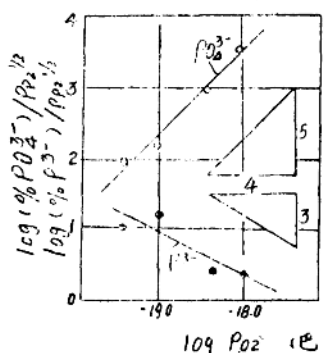


图5 在温度1350℃时氧分压对用含有26至28% BaO的BaO-BaF₂渣系脱磷的影响 [见反应式(8)和(9)]

ma和K. Kitamura确定了一些数值。新日铁的室兰厂对于是否能通过钙或者碳化钙的处理生产出含磷量低于0.010%的不锈钢SuS304进行了试验。

日立公司曾在—台10t电弧炉上进行还原脱磷试验。在将C和O含量调到最佳状态后，连续不断地加入1.1%金属钙丝。经过一个小时的处理后，脱磷率达到了31%，脱硫率达到了55%。新日铁曾在加压的情况下对不锈钢进行脱磷试验，当氢压力为5 bar时，脱磷率达到了72%，同时，也降低了硫、砷、锑和锌的含量。

H. Katayama及其合作者们不仅采用 CaC_2 - CaF_2 助熔剂的还原条件，而且还采用 BaCO_3 、 Li_2CO_3 和 Na_2CO_3 基的助熔剂的氧化条件，对含18至55%Cr和15至60%Mn的预熔钢水进行脱磷。然而，按照自由选择助熔剂成份和最佳脱磷值的观点，对于含铬钢水来说， CaC_2 - CaF_2 助熔剂最佳，而对于含锰钢水来说，含 BaCO_3 的助熔剂最佳。

在进行还原处理时必须采取措施，以防止渣中的 Ca_3P_2 与潮湿空气接触而产生 PH_3 干扰。用氧助熔剂进行钢水处理就是一个相应措施。关于高锰钢水的脱磷，曾作过用高碱助熔剂进行氧化脱磷试验，以及在还原气象下进行脱磷试验。

还原熔炼

铬铁是在电热矮高炉中按照常规方法生产的。为了开发不用电的冶炼工艺，在转炉上采用了复合吹气和剧烈搅拌渣和金属的方法。主要对两点进行了试验：

- 在钢水温度较低时提高还原率，以减少耐火材料的损耗
- 在铬还原和碳燃烧过程中产生钢水还原必需的能量。

试验是在—台100kg电炉上进行的(见图6a)。在用氩搅拌高碳素钢钢水的同时，加入配有助熔剂和炭的含铬小粒矿石。试验查明了渣中氧化铬的含量和金属铬的冶炼。渣相由 Al_2O_3 、 MgO - SiO_2 - CaO - Ca_2O_3 渣系组成。

最后阶段的试验是在—台550kg的电炉上进行的(见图6b)。如同复合吹气那样，氧气是从底部和通过喷枪从上部吹入带有高铬渣的钢水的。小颗粒铬矿石的还原可以按下列步骤说明：

- 把铬尖晶石熔化在硅酸盐渣液中，

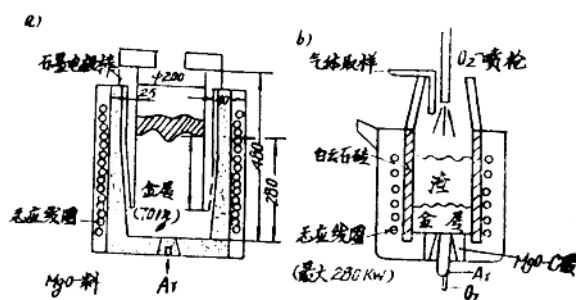


图6 含铬矿石还原熔炼时的试验布置；

a) 100kg电炉

b) 550kg电炉

——渣中还原是在碳粉和氧化铬的接触面上进行的,

——形成铬金属滴

为了改善在低温下的还原反应,对渣和钢水进行剧烈搅拌,并选用一种成份适合的渣,以碳粉作为渣中的悬浮体。对于 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$ 来说,作为成份合适的渣,其还原反应在 1500°C 温度时达到29%,在 1550°C 温度时达到35%,在 1600°C 温度时达到45%。

K. Morita和其合作者们通过测取 SiO_2 对 Cr_2O_3 和 $\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ 尖晶石的饱和溶解性的影响,得出了 $\text{CaO}-\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ 平衡图(见图7)。M. Kawakami和其合作者们研究了在钢水反应过程中渣层的金属滴中铬铁比的变化和渣成份的影响。先是铁、然后是铬还原。 Cr/Fe 的终比相当于矿石的1.5。

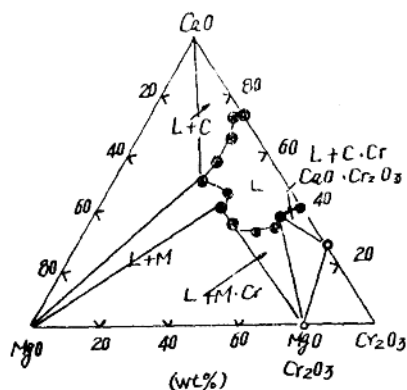
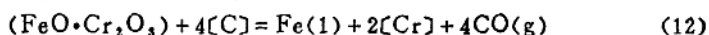
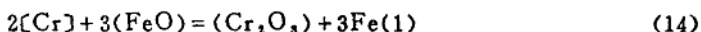


图7 1600°C 温度下与空气接触时 $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ 渣系平衡图

下列四个反应式说明还原反应:



$$\log K = -46\,760/T + 29.9 \quad (13)$$



$$\log K = -15\,000/T - 10.0. \quad (15)$$

为了进一步研究铬矿石的还原熔炼,确定下列研究课题(见表1)。其中包括:渣相平衡,为加快反应研制合适的助熔剂,工艺参数,反应方法和反应公式的确定。

表1 关于含铬矿石还原熔炼的研究课题

渣:

平衡图研究

—— $\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ 尖晶石在 $\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 渣系中的溶解性

——铬在熔渣中的溶解极限

——编制活性图

助熔剂:

研制加快还原熔炼过程的助熔剂

——加快尖晶石的溶解

——测定氧化铬的活性

——测定助熔剂的精炼能力

工艺:

造渣:

——熔渣或多相渣

——高铬钢水 ($\text{Cr}/\text{Fe}=1.5$; 碳饱和) 或不锈钢母合金 ($\text{Cr}/\text{Fe}=0.25$; 1 至 2 %

V)

炉子操作

——搅拌钢水

——渣中弥散

——加速金属渣还原

反应过程:

气体、熔池和矿石和反应剂之间的反应控制:

—— Cr_2O_3 在渣中的熔解和熔炼

——含碳反应剂的接触面上的还原反应

——耐火材料和助熔剂之间的反应

——搅拌作用的定量试验

——反应式的确定

日本大多数的冶金企业已经研制出在 LD 转炉中加入锰矿石和铬矿石的冶炼工艺。锰和铬矿石是在生铁脱硅和脱磷过程中加入的。佳友冶金厂曾在一台 15 吨复合吹氧转炉上为冶炼含铬量在 10% 以上的母合金作试验性的钢水还原研究。

生铁铁水和钢水的连机分析

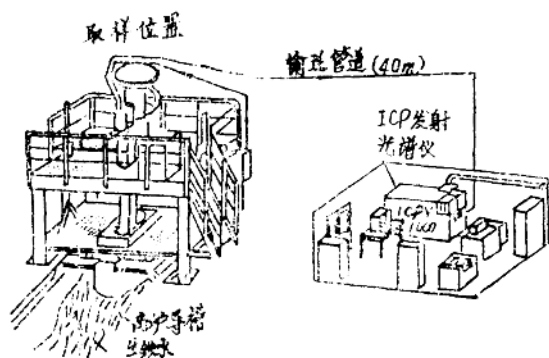


图 8 在高炉导槽上直接分析生铁铁水中的硅含量的方法在工业上应用的示意图

而产生的。这些迁移颗粒也由 ICP 光谱仪进行分析。此外, 又对利用由电火花产生的发射光谱分析钢水进行了试验, 同时还试验了玻璃纤维管道。

日本钢管发明了一种把卤素和惰性气体混合气吹入钢水的方法。卤素气体与熔解在钢水中的元素, 如锰, 硅, 铝和磷反应, 当达到熔炼温度时, 随着蒸汽压力升高, 形成卤化气。金属元素的卤化气被导送到 ICP 光谱仪进行分析。

在借助于氩载体中的 10 个体积百分数的氯化氢, 通过石英管把混合物吹入 150 公斤的电

A. Ono 及其合作者们 曾 借助在高炉导槽上的特殊取样工艺对铁水和钢水的连机分析进行试验, 如图 8 所示。生铁铁水中锰和硅元素是用一台离取样位置大约 40 米的 ICP 发射光谱仪进行遥控分析的。

在这期间, 开始了直接和连续分析钢水的研制工作。A. Ono 在产生和输送微粒的基础上研制了多种取样方法。这些微粒既不是由于电极与金属表面之间的电火花、也不是由于钢水中吹入氩

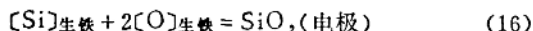
炉中作试验时,光谱分析证明其精确性和复现性与熔解元素的常规分析结果有密切的关系。对于连机分析,川崎钢厂试图用红外线激光射线活化钢水熔池,并用光谱仪进行分析。所得出的元素,如碳,硅,锰,磷和硫亦与常规分析方法所得的结果十分一致。神户钢厂通过钨电极和生铁表面之间直接产生的电火花、以及借助于玻璃纤维管和光谱仪进行了硅的连机试验。

1985年,日本在炼钢的各个阶段中损耗的氧探头——主要是锆氧化物固体电解质——共计448000左右。其中,约25%是在转炉上炼钢损耗的,20%是在钢包处理时损耗的,51%是在真空处理时损耗的,以及4%是在中间罐内控制钢水时损耗的。使用固体电解质的主要目的是改善对还原合金加入的控制。

K.S.Goto和其合作者们研制了新的氧探头,并在连续测量高炉导槽里的生铁铁水和渣液中的氧分压时对其进行了试验。传感器由一根用作固体电解质的、一端封闭的、含9Mol-% MgO的锆氧化物管,一根用作载体的石墨管,一只用作基准电位的气体——铂电极和一根与生铁通电的石墨管。这一探头在川崎钢厂的千页车间内的高炉导槽上进行了长期的负荷试验。若采用三班工作制,在测量生铁中的氧分压时,探头寿命超过157分钟,而在测量渣中的氧分压时,到目前为止已超过78分钟。

Y.Shirota和其合作者们曾用浸入式锆氧化物测量探头连续测量中间罐中的熔解氧进行了试验,延续时间超过了60分钟。一只Mo-Zr₂O₃金属陶瓷用作钢水的电极与中间罐的导电外壳相连。

M.Iwase和其合作者们,以及Nishin Seiko曾研究设计一种测定生铁铁水中的硅含量的探头。一只ZrO₂电解质用于测量生铁铁水中的氧的活性。其原理为:为了使SiO₂保持稳定的活性,在用作电极的固体电解质的表面上涂上一层混合氧化物。电极与生铁铁水中的硅之间的平衡符合下列反应式:

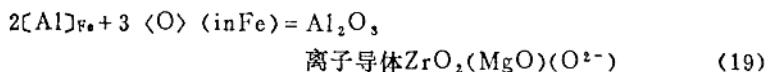
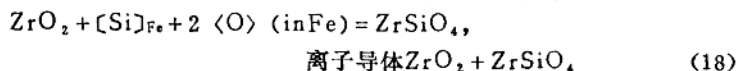
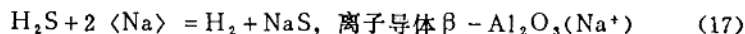


硅活性可以直接通过测量固体电解质/生铁/电极间的接触面上的氧活性获得。对于有限的氧含量和氧通过接触面的迁移已经作过详细的试验。

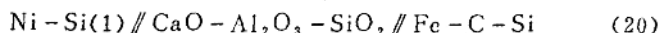
M.Iwase对电镀电解槽的探头的未来发展指出了三个方向:

- 带反应耦合的锆氧化物基固体电解质
- 炼钢时根据平衡关系的原理使用探头
- 新的固体电解质。

对于带有反应耦合的探头用反应式(17)和(19)表示:



K.Ichihara, D.Janke和H.-J.Engell等人发明了一种用于直接测量生铁铁水中硅含量的新探头。这种探头按照下列电解的反应原理工作:



与硅含量有关的EMK的试验结果表示为:

$$\text{EMK} = -0.096 \cdot \log \%[\text{Si}] - 0.123 [\text{Volt}] \quad (21)$$

电磁场在冶金方面的运用

表 2 列出了电磁磁场在冶金方面的各种应用情况。

——钢水在无机机械接触的情况下进行搅拌和输送

——获得一种固定的形式和稳定钢水的暴露面

表 2 电磁力冶金法的分类

使用电磁场	使用交流电或直流电	使用电磁场和电流
交流电行波场: ——连铸时电磁搅拌 ——ASEA—SKF 法 ——输送槽 ——喷射熔炼	交流电: ——电弧炉 ——钢包炉 ——等离子体 ——电渣重熔 (ESU)	交流电或直流电: ——焊接 ——使用 ESU 和 VAR 法时的 电磁搅拌
交流电磁场: ——无炉芯的感应炉 ——电磁金属模 ——悬浮熔炼	直流电: ——电弧炉 ——钢包炉 ——真空电弧炉 (VAR) ——等离子体	直流电: ——电磁传导搅拌
直流电磁场 ——连铸时电磁制动 ——结晶的影响		

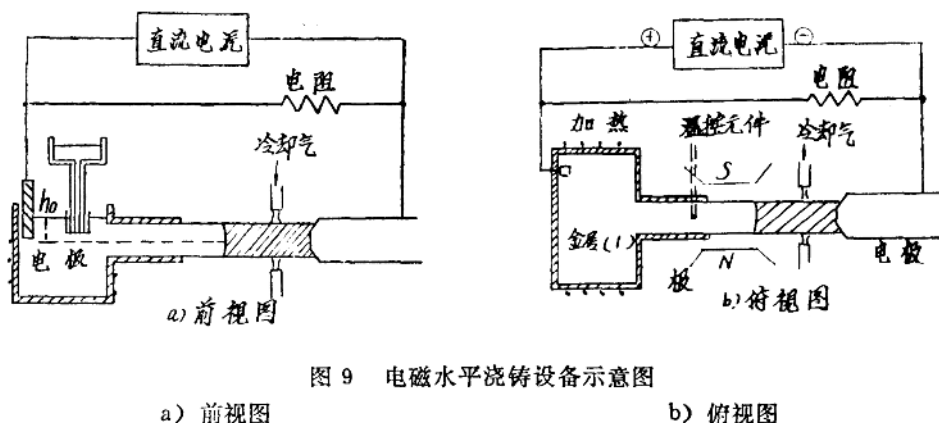
电磁浇铸的原理 (电磁浇铸已用于铝的浇铸) 是以电磁力为基础的。金属液中的电磁力是由于高频磁场产生的。采用这一方法可以避免一般由于接触金属和金属模而可能产生的表面缺陷。电磁浇铸可用于浇铸轻金属, 但不能用于浇铸导电和导热性能差的、而密度高的金属。为浇铸这类金属, 必须大量投资。

按照 S. Asai 和其合作者们发明的方法, 可以通过直接导入电流产生的电磁磁场来实现金属液的悬浮熔炼。因为使用这种方法, 可以在电力较低的情况下产生较大的电磁力, 所以有利于高密度的金属的浇铸。图 9 所示是电磁水平浇铸试验的示意图。直接导入电流 1 与金属液 2 和凝固了的金属 4 有关。电流由金属液传到凝固了的金属, 采用这一布置, 电磁力可以抑制重力。这一方法是模拟 Bi—Sn—Zn 合金的浇铸得来的 (熔点为 403K, 密度 8.7g/cm³), 试验采用 0.7 特斯拉磁感应和 4.5 至 6 安培电流。各种金属铸坯的最大直径可用下列公式计算:

$$2a(\text{最大}) = 2 \cdot \sqrt{r / (P \cdot g)} \quad (22)$$

钢的最大直径为 9.9mm, 铝为 9.4mm, 钛为 12.3mm, 银为 6.4mm。

S. Asai 和其合作者也进行了电磁场试验, 以使用规格为 15mm × 3mm 的缝隙式喷嘴浇铸薄板。从喷嘴流出的、处于悬浮状态的钢水由于表面应力的影响, 其横截面呈多椭圆形。喷



嘴后，处于悬浮状态的钢水的稳定范围经计算为5.9mm，而实际测得的值为3mm。必须强调指出，由于使用的磁通量极小和电流强度极低，因此，用“电磁浇铸法”可以以较低的投资费用浇铸重金属。迄今为止，其产品的表面质量均很好。

因此，日本钢铁研究所于1985年成立了一个研究小组，专门研究电磁场在冶金方面的应用。

带 钢 浇 铸

带钢浇铸与常规的钢坯浇铸或者连铸有着明显的区别。所推荐的浇铸工艺还有许多技术问题。本章就进一步发展带钢浇铸问题，讲两点：

- 在冷却速度为 10 至 10^3 K/S时，快速凝固对于钢的微观组织和性能的影响；
- 带钢浇铸厚度和优化随后的变形步骤的可能性。

在各种带钢浇铸工艺中，在二只冷却辊之间浇铸机会最大。在这一方面，先从下列二个方面进行研究：

- 研制两辊之间的模型发展和数字模拟凝固现象，
- 进行小规模浇铸试验（重量至250kg的钢）。

J. Inagaki和其合作者们曾在壁厚为20、10、5、2和1mm的铜模中对非合金钢、双相不锈钢和低碳铝镇静钢进行快速凝固试验。关于这种快速凝固可促使钢的微观组织发生变化方面，应作如下说明：

对于具有良好的可淬性的钢，如非合金碳素钢来说，可直接通过淬火获得全贝氏体组织。如果试样较厚，经快速凝固后继续用水冷却，也有可能得到与此相似的组织。

对于双相不锈钢来说，快速凝固会抑制相转变，并在冷却速度超过 $2 \cdot 10^2$ K/S时会获得单相组织。

如果冷却速度不低于 10^3 K/S，最终产品则无法达到在所有试验钢种上都能观察到的晶粒细化的效果。然而，如果钢是经过相变的，如铝镇静低碳钢，经快速骤冷后，利用相变可以达到晶粒组织的细化。

带钢浇铸厚度主要取决于当时所用的金属模的种类,因此,除了在两辊之间浇铸外,也必须考虑用循环带进行浇铸。带钢的厚度范围为1至40mm左右。日本钢厂的热轧带钢钢卷的成品厚度示于图10。

在日本,热轧最多的带钢厚度在8mm以下。采用五机架热轧带钢精轧机轧制,变形率可达到0.893,因此,热轧带钢可轧制到25mm。采用三机架热轧带钢轧机实行三班工作制时,其变形率可达到0.666。所以,当铸成的带钢厚度为8mm时,几乎轧制出所有规格的带钢。将来有可能采用带钢浇铸的方法,直接生产冷轧带钢。

下面将探讨日本研制成的带钢浇铸试验设备。表3分类列出了用于各种研究和开发项目的试验设备,其中,在有些栏目中,列出了工厂试验用的“第二代”试验设备。图11表示2辊带钢浇铸机在两种情况下的铸造结果,第一种情况,辊径为

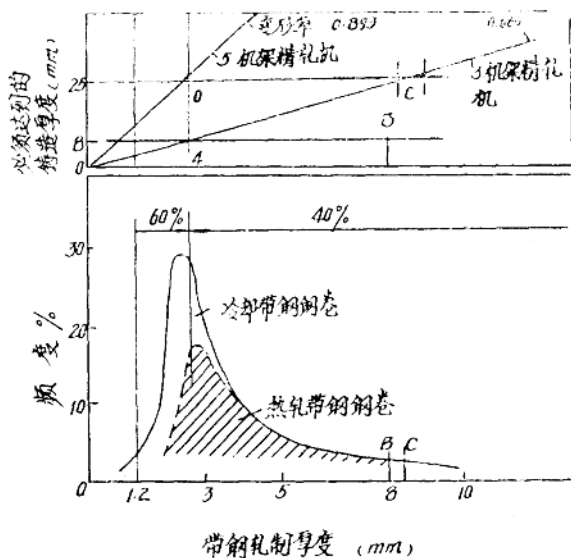


图10 在一台热轧宽带轧机上热轧带钢厚度曲线图

400mm,带宽为100mm;第二种情况,辊径为600mm,带宽为400mm。辊子为水冷铜辊。该图示出了浇铸速度、带钢厚度和凝固常数的估计值之间的关连。其假定凝固常数按下述公式计算:

$$K = (d/2) \cdot [r \cdot \operatorname{arcsinh}(r) / Vc]^{-1/2} \quad (23)$$

其中d是带钢厚度,h是熔池深度,r是辊子半径,Vc是浇铸速度。

从铸入金属液开始,经过铸坯形成的外壳至金属液完全凝固的整个过程的凝固现象是目前研究的对象。在这方面碰到的技术难题是如何确定水冷浇铸辊与接触金属的耐火侧界之间的接触位置。要获得良好的表面质量,以

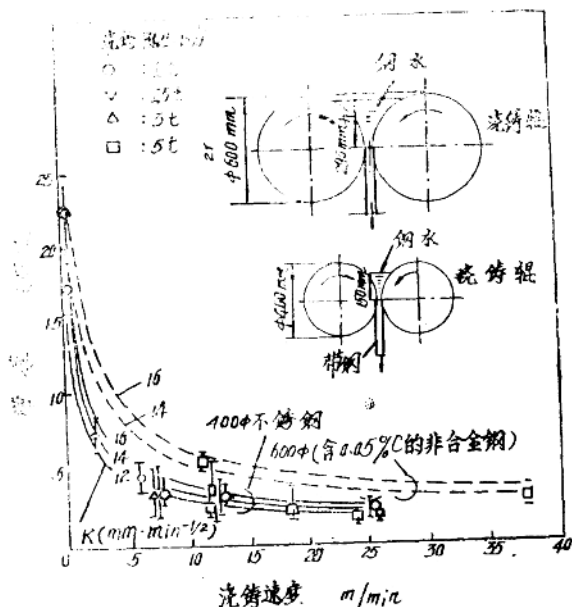


图11 2辊铸造的浇铸速度和带厚之间的关系

表3 日本对带钢浇铸的先行研究 (1987)

研究单位	方法	带宽	研究项目	钢种
NKK (日本钢管)	2 辊法	100和400	在石蜡模型上研究热量转变和铸坯冷疑外壳的形成。用速度40米/分进行小规范的试验, 研究带钢表面质量	非合金钢, 铝镇静钢, 不锈钢
Nippon Metal (日本金属)	2 辊法	300	使用不同直径辊子, 20至30米/分; 300kg钢水	不锈钢
Kobe Steel (神户钢厂)	2 辊法	300	辊子呈45°, 12—36米/分, 100kg, 研究辊子材料对于凝固的影响因素, 冷却速度为1至5·10 ³ k/s	不锈钢
Waseda—Uniy	2 辊法	100	1959年至1968年为第一阶段, 辊子呈45°, 从1980年开始为第二阶段, 12—15米/分	非合金钢 硅钢 不锈钢
Hitachi Zosen (日立造船)	2 辊法	300	研究凝固组织, 350kg, 0.7米/分	含0.2%C 的钢
IHI (石川岛重工)	2 辊法	200	冷却速度为10 ² 至10 ³ k/s, K = 19.2mm/min ^{1/2} , 100kg	含0.45%C 的钢
Kawasaki steel (川崎钢厂)	同步带钢	100	带有高速度水膜冷却的循环钢带。1.9至4.4m/min, K = 18mm/min ^{1/2}	不锈钢
Sumitomo Metal (住友金属)	同步带钢 (Hazelett)	600	机长69m, 速度15m/min, 浇铸角度6至15°, 金属模长2.9m, 水冷循环钢带; 二次喷射冷却, 带厚为30至50mm, 速度为4至6m/min	铝镇静钢, 高锰钢 不锈钢
NRIM	同步带钢	250	带有水冷却系统的钢带 (1mm), 浇铸角度为20°, 速度为2至3m/min	弹簧钢

及调整到稳定的运行条件,问题也是隔离空气的问题。为了发展技术,避免带钢浇铸中的困难,对这些问题值得研究。因此,凝固铸坯外壳的热量转变的数字模拟和钢水与冷却辊和耐火材料连在一起的铸坯外壳的机械过程的模拟是很有用的。

通过采用钢带浇铸,可以实现带钢的连续浇铸和变形。此外,还应继续研究革新浇铸新工艺,如液流浇铸和部分钢水凝固的喷射浇铸。

结 论

生产高纯钢及其新工艺,特别是钢水浇铸和凝固的新工艺是今后主要的研究课题。为了掌握这门技术,必须对界面现象、钢水流动过程、热量传递过程、组织转变、以及对于特殊的测量和控制技术等主要方面作进一步的研究和试验。炼钢工艺将会有所变化,因为它要满足各种新的特殊要求,如冶炼新钢种,能源状况和原料供应等情况的要求。

译自《Stahl u. Eisen》108(1988)Nr13

P625—633

赵光耀译

盛纪彬校