维普资讯 http://www.cqvip.com

见图 2。

这样使我们以增加渣碱度作为控制氧和硫的手段。对此，使用硫的分配比是一种最常用的方法，以便确定从钢水至渣的脱硫。图 3 是 LF 生产的 0.8－0.6%C 钢硫的分配比与渣组分的关系：

$$\frac{wt\%\ CaO + wt\%\ CaF_2 + wt\%\ MgO}{wt\%\ Al_2O_3 + wt\%\ SiO_2}$$

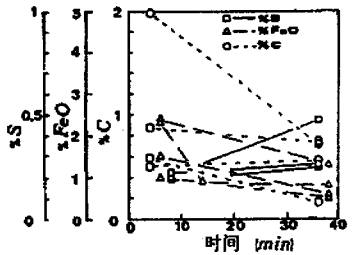



图 1 LF 渣中 FeO，S 和 C 含量与时间的关系

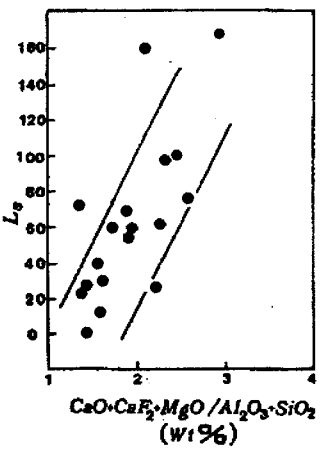



图 2 LF 钢中溶介氧与渣中 FeO 含量的关系

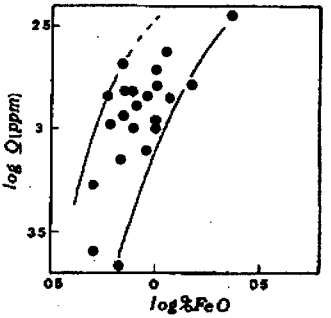



图 3 LF 硫分配系数与渣组分系数的关系

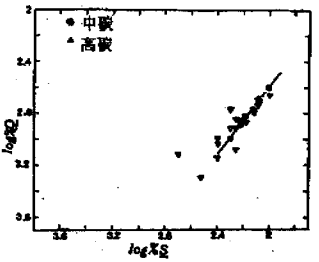



图 4 LF 处理中碳和高碳钢时钢水中溶解硫和氧含量

从图中可以看出，增加该比率自然会导致硫分配比的增加。在同时控制 a)渣碱度，b)钢中溶解氧和 c)搅拌和温度条件时，可以脱去硫。此外，在上述条件下，钢中的硫和氧可简化为图 4 所示的一种关系。图 3 和图 4 的结果的确表明，如果有足够的 $O^{2-}$离子来交换硫，同时钢中的氧含量较低，则硫将从钢水进入到渣中。因此，重要的是首先要知道渣组分对碱度的各自影响，以便预测脱硫，从而控制其它元素。

## 4 MgO 的影响

众所周知，MgO 的碱性小于 CaO。在 LF

维普资讯 http://www.cqvip.com

操作条件下，钢水与渣之间达到平衡局限于所谓的“表面更新模型”。这是由于渣—金属的接触受到与喷吹合成渣大不相同的顶渣或在真空条件下喷吹的限制。实际上这可以从图5中看出，图5中给出了LF(1500—1540℃)处理高碳钢时硫分配比与 CaO/MgO 比之间的关系。

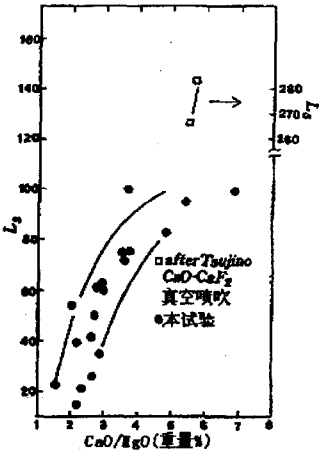



图5 LF 中硫分配比与 CaO/MgO 之间的关系

从图中可以看出，随着 CaO / MgO 比的增加，Ls 明显增大。此外，Tsujino 等人在真空条件下喷吹 CaO－10%$CaF_2$ 粉，得到的数据也反映了相同的趋势。对处理后的非金属夹杂的成分分析表明，硫的含量高于顶渣中硫的含量，与顶渣是脱硫的限制性环节的理论相吻合。这一事实已得到Tsujino等人研究结果的支持。然而，他们强调在喷吹过程中渣接触的作用（主要的脱硫机理）。他们的数据表明这一见解是正确的。数据仍很分散，因而目前正在 IPN 进行研究工作，以便弄清不同含量的 $SiO_2$ 和 $Al_2O_3$ 对 Ls 的影响。

5 $CaF_2$ 的影响

氟化钙是二次精炼中最重要的渣组分之一。众所周知，$CaF_2$ 能够降低渣熔体的粘度，从而可使金属—渣的接触更加充分。然而，还应当考虑以下两种作用：

a)它可降低含钙渣中钙的活度。

b)它能从极性硅酸盐阴离子中释放出氧离子。

Fischbach 等人最近的研究证明，添加 $CaF_2$ 可能提高钙的利用率。这是由于钙在 $CaF_2$ 中的溶解度高。Bevan 等人指出，Ca 也能溶解在液态 CaO 中。图6是钢水(中间包取样)中钙的总量与 $(XCaO+XCaF_2)/XCaF_2$ 之间的关系。CaO 和 $CaF_2$ 的含量相当于钙处理(0.36Kg / t30%CaSi)后最终 LF 渣的成分。

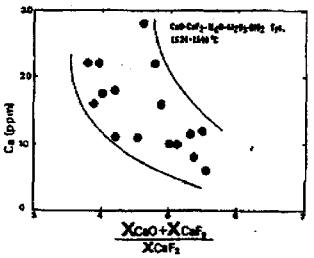



图6 中间包钢水中钙的总量与 CaO 和 $CaF_2$ 渣组分比率之间的关系

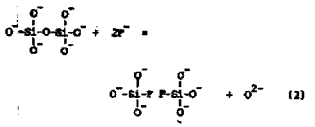
可以看出，该比率的增加(或简化为渣中 $CaF_2$ 比例的减少)导致总钙量下降。其原因可解释如下。

随着图6中渣中 $CaF_2$ 的增加或者渣组分比率的下降，渣中 Ca 的溶解度是增加的。在喂 CaSi 包芯线过程中。减少了钙在渣中和在大气中的损失。因此，增加钙在钢水中的溶解。这并不意味着非金属夹杂与钙反应自动改善了，尽管如此，仍有更多的钙参与

维普资讯 http://www.cqvip.com

反应。下一节将详细讨论这一问题。

至于 $CaF_2$ 在硅酸盐网状物中的作用，Kumar 等人提出了如下一种反应：



(2)

该反应表明，通过 $F^-$ 离子的代替，来自 $SiO_2$ 的一些 $O^{2-}$ 离子可以进入渣中。这一点后来被 Martinez 和 Sano 指出的氮在 $CaO-CaF_2-SiO_2$ 渣中的溶解所证实。图 7 是高碳钢硫分配比与 LF 终渣氟化钙摩尔分数之间的关系。可以看出，当 $SiO_2$ 含量限定在 0.16－0.20 摩尔分数值时，通过增加 $CaF_2$ 含量可提高硫的分配比。

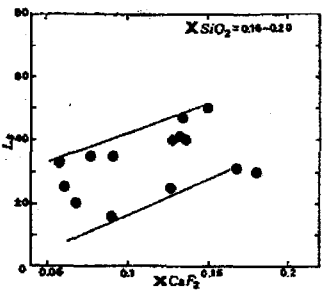



图 7 LF 硫分配比与 CaF2 含量之间的关系

应当注意，这些结果也是在限定 CaO 和 MgO 含量下取得的。从图中可以看出，$CaF_2$ 的作用可归结为反应释放出了 $O^{2-}$ 离子，例如方程(2)的反应。图 8 是脱硫率(%)与(XCaO＋$XCaF_2$) / $XCaF_2$ 比率之间的关系。可以看出，当渣组分比率增加时，总的趋势是脱硫率上升，与 $SiO_2$ 或 $Al_2O_3$ 含量无关。此外，Hatakeyama 等人的数据与这些结果非常吻合，见图 9。

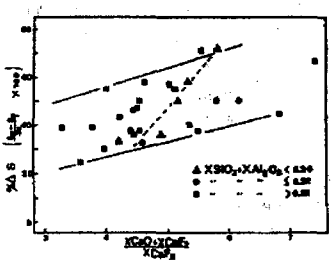


图 8 脱硫率与渣组分 CaO 和 $CaF_2$ 比率之间的关系。

作者用不同的方式，简单地对他们的数据作图，图中是钢中最终含硫量与渣组分比率之间的关系。他们的结果相当于在真空条件下喷吹 $CaO-CaF_2-Al_2O_3$ 粉。从图中可以看出，当仅喷吹 5wt%$Al_2O_3$ 时，可降低硫含量，与喷吹 0wt%$Al_2O_3$ 时相反。这一结果也可归结于方程(2)所述的反应。

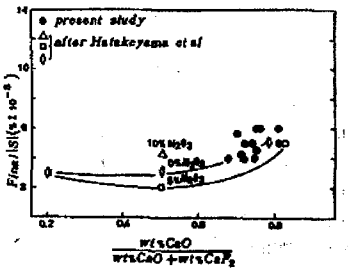



图 9 Hatakeyama 等人的钢中最终硫与渣组分 CaO 和 $CaF_2$ 比率(wt%)之间的关系

还应当指出，对于本研究或 Hatakeyama 等人的研究中的最大渣组分比，硫的含量非常相似，与 $SiO_2$ 和 / 或 $Al_2O_3$ 含量无关。

从这些结果可以看出使渣组分很好平衡

维普资讯 http://www.cqvip.com

的重要性，尤其是 $CaF_2$ 和网状物。

## 6 水口堵塞现象

众所周知，通过喂 CaSi 丝形成适宜的夹杂，是连铸机平稳操作的先决条件。然而，已证明这是一个难题，它涉及几个变量，如元素在钢水中的溶解，渣成分以及搅拌等等。因此，重要的是我们必须考虑非金属夹杂的理想成分和从热力学角度考虑元素存在于钢水中的可行性。喂 CaSi 丝后，钢水中溶解的钙继续与钢水反应，析出物将主要取决于上述的变量。可以预测渣的作用是决定性的。图 10 是喂 CaSi 丝后，高碳钢中溶解氧与中间包钢中总钙量之间的关系。

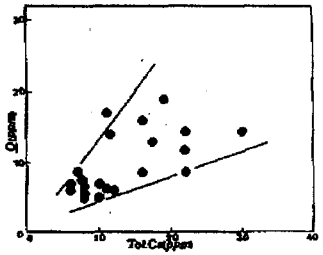



图 10 1500－1540℃时高碳钢总钙量与[O]之间的关系

从图中可以看出，当总钙量下降时，钢水中的溶解氧也下降。这表明两种情况，Ca 与钢水在反应，与此同时，大多数钙从钢水中被除去，所以图中的钙可认为大多数是夹杂物内 CaO 中的钙。为了解释这一现象，我们可以利用图 11。

图 11 是在不同总铝量，钙量和 LF(CaO＋$CaF_2$)／$SiO_2$ 渣比率条件下，LF 处理终点时，钢水中溶解氧量与最终硫量之间的关系。从图中可以看出，氧与硫相互有关，所以氧低时硫也较低。然而，尽管 Al 和 Ca 值可能相同，但也可以发生中间包水口堵塞。当渣比高达 3～4.9 时，可避免堵塞(在报道的渣组分比中包含了一种标准偏差)。

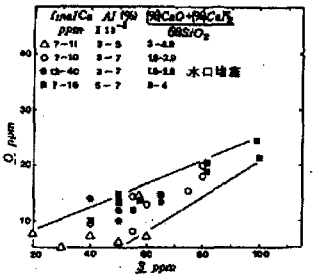



图 11 根据氧、硫、铝、钙、和 LF 渣成分描述中间包水口堵塞现象

这可以用钙同时与溶解氧、溶解硫、非金属夹杂、空气和渣反应的事实来解释。因而可以得出结论，当渣成分选择合适时，能够保持更多的钙溶解，也能够提高连铸过程中吸收夹杂的能力，避免富钙铝酸盐夹杂或含 CaS 夹杂造成的堵塞。换句话说，铝酸钙夹杂和含 CaS 夹杂在顶渣中的溶解度将决定这些夹杂是否与钢水分离并残留在渣中。

## 7 线材中的夹杂物

正如本文所介绍的，LF 渣对控制夹杂的作用是极其重要的。本节介绍和讨论了线材中非金属夹杂计数的研究结果。图 12 是铝酸盐(B 类)和球状(D 类)夹杂物计数之和(按 ASTM－E45 法表示)与 LF 渣 CaO／$SiO_2$ 之间的关系。

可以清楚地看出，随着渣组分比的增加，B+D 之和有降低的趋势。图 13 是 A(硫化物)与 C(硅酸盐)夹杂物计数之和与 LF 渣组分比(按 CaO＋$CaF_2$／$SiO_2$)之间关系的相同曲线。随着渣组分比的增加，夹杂物的量也趋于减少。

在 LF 渣处理过程中，金属与夹杂物接近平衡。因此，重要的是在顶渣中保持氧化铝和二氧化硅的活度尽可能低。这将使渣具

维普资讯 http://www.cqvip.com

有较高的容纳硫化物、硅酸盐和铝酸盐的能力。

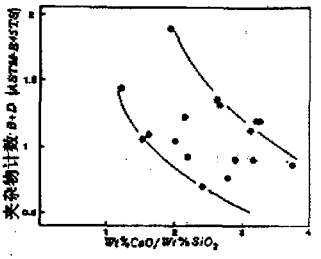



图 12 线材中夹杂物计数(按 ASTM—E45)与 LF 渣成分之间的关系

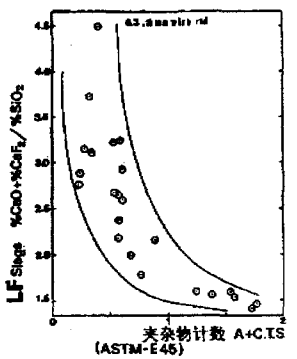



图 13 高碳钢线材夹杂物计数(ASIM—E45 法)与 LF 渣成分之间的关系

## 8 方坯的表面质量

为了实现方坯热装，必须提高表面质量，以便保证轧机无缺陷操作。许多公司，尤其是那些日本公司进行了振痕形成的跟踪研究。Takeuchi 等人的研究工作已证明，通过减少板坯浇注时负滑脱时间的确能够降低振痕深度。负滑脱时间定义为结晶器和铸坯向下运动，并且随着时间的推移，已经形成的振痕将向铸坯内推进，使其坯痕向内变得更深的时间。因此，如果缩短该时间，则向内移动将会减少，产生一个浅的振痕。

在本研究工作中，用康卡斯特“S”型连铸机做了 4×4 英寸高碳和低碳钢方坯 120cpm / 16mm 振幅和不同浇注速度的试验。结果见图 14，图中给出了振痕深度与负滑脱时间之间的关系。从图中可以清楚地看出，当负滑脱时间减少时，振痕深度也减小，与上述的振痕形成机理是一致的。目前正在进行通过增加频率和减少振幅来进一步降低振痕深度的研究工作。

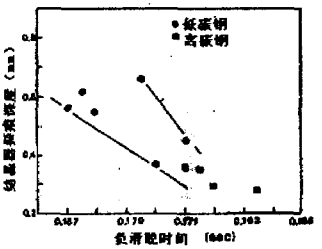



图 14 方坯振痕深度与负滑脱时间之间的关系

## 9 结论

①为了在 LF 处理过程中控制脱硫，应当降低渣中 MgO 和 FeO 的含量。

②应当控制 LF 渣中 $CaF_2$ 的量，以便脱硫并达到适当的渣的钙溶解度，从而控制非金属夹杂与钙的反应。

③可以看出，在 LF 处理过程中，网状形成物与 $CaF_2$ 的相互作用是一个需要考虑的重要参数。

④为了控制发生在 LF 内的反应，应当适当地平衡 CaO 与 CaF2 的含量。

维普资讯 http://www.cqvip.com

⑤在 LF 处理过程中控制渣的成分对钢的洁净度有很大的影响。

⑥在连铸操作过程中，通过控制负滑脱时间可以获得较好的方坯表面质量。如果保持这一参数在最小值，则振痕深度也最小。

胡克俊 译自《Steelmaking Conf. Proc.》，1990，V73，443～449
郭新春 校

# 在线板坯质量控制和再利用系统的开发

William P Barker
（国家钢公司）

八十年代，钢厂用于控制板坯满足客户订单要求的工艺参数确定系统已由主要依赖人工检验的基础系统演变到高度自动化的质量分类系统。在国家钢公司大湖分部，在 80 年代早期的 1 号连铸机检查系统的基础上，开发了工艺基础系统，已在 1988 年的多伦多炼钢会议上作过介绍。虽然这个质量评价系统适用于当时的需求，但由于 1987 年 2 号连铸机的投产，新的条件要求提高评价和决策的速度。所开发的系统在过去几年里提高了满足客户要求的能力，缩短了交货期。

大湖分部的炼钢设备包括两座 240tBoP 转炉，两台板坯连铸机。1 号连铸机是固定宽度的，采用孤型结晶器单流浇注，主要规格是 99 英寸和 104 英寸。从 1 号连铸机 1977 年 11 月投产以来，已生产了 2200 多万吨板坯。这些板坯尺寸适应 80 英寸热轧机的轧制宽度要求，中间经过四台板坯清理机之一的剥皮清理。2 号连铸机双流浇注，宽度可调，采用直式结晶器多点弯曲矫直，气雾冷却。另外，冶金设备还有一台 NK－AP 钢包炉，两座吹氩站，刚投产的一台 RH 真空处理装置。

冶炼的化学成分包括从超低碳到 0.80%C 的钢，以及高强度低合金钢的 NAPAC 钢族。用板坯生产的品种包括汽车裸板和镀锌板，镀锡板，建筑用面板，汽车叠板以及管产品。还有为这些主要市场服务的配套产品。

在 2 号连铸机投资之前，板坯质量评估系统由以下三部分组成。

(1)钢水化学成分按钢种分级

(2)冶炼有关缺陷评估

(3)板坯相关缺陷评估

指定 3 个人倒班搜集，评估和把数据传送到生产计划部门，以便连铸能及时满足用户订单的要求。通过订单管理部门处理的每一份订单指定钢种及化学成分，板坯表面质量要求的级别，内部质量要求级别和钢的洁净度指标。这些指标是由质量保证和炼钢技术部门决定的。用这些标准的帮助，合适的洁净度的钢用于生产表面缺陷少的板坯。

2 号连铸机包括三级计算机，与公司主机和炼钢二级监测计算机系统相联。详细的客户订单信息，包括生产安排需要的炼钢数据，每天从公司主机下载到三级计算机。而炼钢生产的每一炉指令必须从三级计算机下载到二级计算机。每一组包括冶炼化学成分，板坯质量级别。最后，每炉实际生产结果自动从监视计算机上载到三级计算机上。

早在 1988 年，在 2 号连铸机的二级计算机能够给三级计算机报告生产结果后，人