

何平炉熔池 吹压缩空气 强化冶炼

中国工业出版社

[苏联]M·另·梅德日波日斯基著

М. Я. Меджибожский
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ МАРТЕНОВСКОЙ ПЛАВКИ
ВДУВАНИЕМ ВОЗДУХА В ВАННУ
МЕТАЛЛУРГИЗДАТ 1959

* * *
向平炉熔池吹压空气强化冶炼

李大經 等譯

王鋼 校對

*
冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊編輯室編輯

(北京灯市口71号)

中国工业出版社出版(北京修门内大街10号)

北京市书刊出版业营业登记证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*
开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $5^{3/16}$ ·字数125,000
1965年3月北京第一版·1965年3月北京第一次印刷
• 印数0001—2,220·定价(科六) 0.80元

*
統一书号: 15165·3530 (冶金-566)

編者的話

向平炉熔池吹壓縮空气是一种較為經濟的強化冶炼的方法。多年来，国外在这方面做了不少工作，取得了良好的效果。本书介紹的主要是苏联几个厂的試驗資料，間有歐美工厂的点滴情况。內容包括：向平炉熔池吹壓縮空气強化冶炼的理論基础，理論計算；向熔池輸氧和空气的各种方法；試驗熔炼的結果和平炉強化冶炼的技术經濟指标。

参加本书翻譯工作的有：李大經、李炳源、金山同、王国忱。全书經張緒鐸同志审閱，由王鋼同志校对。

本书可供科学研究人員、冶金企业工程技术人员和高等院校师生閱讀参考。

目 录

前 言	1
第一篇 向平炉熔池吹压缩空气的理论基础	5
第一章 鋼的脱碳理論	5
第二章 向平炉熔池吹空气时熔池的攪拌强度	36
第三章 强化鋼脱碳过程中渣內金属滴 (鋼珠) 的作用	48
第四章 向熔池吹空气时平炉氧化性气氛的作用	55
第五章 用空气和氧吹炼时熔池溫度的提高	65
第六章 强化熔炼对鋼质量的影响	75
第七章 向熔池吹空气过程的計算, 熔炼工艺的示范方案	84
第二篇 向平炉熔池吹空气的实验資料	90
第一章 向熔池引入氧气与空气的方法	90
第二章 用空气吹炼时鋼的质量	106
第三章 用空气吹炼时熔炼時間的縮短	112
第四章 向熔池吹压缩空气时, 平炉的熔炼工艺	117
第五章 用压缩空气吹炼时的溫度制度	131
第六章 向平炉熔池吹氧气或压缩空气时的降碳速度	139
第七章 用空气吹炼时的金属收得率, 热工和技术經濟指标	145
参考文献	159

緒 言

吹氧强化平炉中的燃料燃烧过程以及在所有炼鋼設備中强化金属杂质的氧化过程，是增加鋼产量的强有力的手段。但是，近几年內，在苏联还不是所有的平炉車間都能用氧气来强化炼鋼过程的。1960年苏联仍有約占全部鋼产量60%的鋼，是不用氧气冶炼的。显然，在最近时期预料不会建設氧气站的那些工厂，必須采用一系列其他的有效方法来强化平炉冶炼过程。其中之一，就是向平炉熔池吹压缩空气，以加速脫碳、金属加热、造渣、鋼的脫磷和脫硫。

只在具有功率足够强大的现代化氧气站因而能够得到廉价氧气的工厂里，以及由于平炉生产率提高而使冶炼費用的降低超过了氧气价值的工厂里，利用氧气在經濟上才会有效。目前，由于氧气价格高昂，在大多数工厂采用氧气炼鋼是不合算的。在設有氧气站的工厂里，在較好的情况下，也仅能使金属成本略为降低。将来，由于实现一系列的专门措施（建設生产能力大于10000标准米³/小时的設備和生产能力9~10万标准米³/小时的区域氧气站，充分利用时不仅可供炼鋼設備而且可供高炉使用氧气；回收氧气生产的副产品；提高平炉車間輔助工段的通过能力等）^①可以降低氧气的成本，而使氧气炼鋼获得利潤。

采用压缩空气强化平炉冶炼过程，在任何情况下，甚至在炉子产量增加不多的情况下，在經濟上都是有利的，因为空气压缩机和压缩空气的价值比氧气站和氧气的价值要便宜几十倍。

为了强化冶炼向平炉熔池吹入压缩空气，从而将平炉和轉炉

① A.B.列斯滿夫，工业經濟报№60/204，1957年5月19日。B.Φ.安德列耶夫，《鋼》杂志1958年第6期561頁。

冶炼的优点結合在一个設備中^①，是作者于1939年提出的。在斯大林格勒的“紅十月”工厂以及其后在庫茲涅茨克鋼鐵公司所进行的試驗証明，采用这种方法能够使小型平炉（容量为10~30吨）的生产率提高15~25%，而大型平炉（容量为185吨和185吨以上）則提高8~12%。

这种方法的实质是，向平炉熔池的鋼液中吹压縮空气时，发生金属和炉渣的强烈攪拌，这种攪拌加速了包括氧从炉气轉入鋼液在内的全部过程。在此情况下，炉气变为一种独特的“氧站”，变为廉价的热氧（加热到1700°C）的供应者。炉气中的氧气量，取决于由鼓风机經蓄热室砖移送入炉中的空气量和燃料消耗量之比，并且可以在較寬的范围内进行調节。向平炉熔池吹入压縮空气时，炉气中的氧积极参与鋼液的脱碳过程，这将保証降碳速度和熔池升溫速度与吹工业氧时大致相同（在吹入熔池的气体压力和消耗量相同的情况下）。

这是由于向熔池吹入純氧时，氧由炉气进入鋼液的量不大；而当向熔池吹入压縮空气时，鋼液从炉气中吸收的氧量比由压縮空气供給鋼液的氧量大許多倍。

在1934~1940年所进行的实验中，我們就首先发现了向平炉熔池吹压縮空气时，炉气中的氧积极的参与鋼液的脱碳过程^[10]。这个現象具有原則性的重要意义，因为能够在压縮空气消耗量較小的情况下获得巨大的效果。

因此，在向平炉熔池吹压縮空气时，熔池中碳的氧化过程与大型和小型酸性轉炉炼鋼法是有根本区别的。在那里脱碳仅靠鼓入空气中的氧来进行，并且熔池溫度随之升高不多，因为空气中氮的冷却作用急剧地降低了被熔池所利用的碳的燃烧反应热量。

許多年来，由于一系列原因阻碍了在生产中广泛运用向平炉熔池吹入压縮空气以强化冶炼过程的方法。这些原因是：就心熔池冷却、鋼中的含氮量增加、成品鋼的质量变坏以及炉子砌砖的

① 1939年11月27日向鋼鐵工业人民委員部（НКВМ）发明事业局提出的第27740号申請書。

磨損增加；向熔池吹入空氣的合適的方法研究得還不夠；空氣壓縮機的生产能力不夠以及廠內空氣管道中的空氣壓力低。所有這些原因目前均已消除。

作者多年的研究和許多工廠的資料證明，上述顧慮是毫無根據的，並且証實，向平爐熔池吹入空氣，鋼中的含氮量沒有增加，強化了金屬的加熱，鋼液沒有過氧化，成品鋼的質量許多指標都有所改善，而且爐子的砌磚也沒有嚴重的損耗（在吹壓縮空氣時正確地控制燃料消耗和砌磚溫度的情況下）。

改善向熔池吹氧化性氣體的方法和減少爐體損耗程度的問題，對向熔池吹氧和吹入壓縮空氣同樣有關。在國內外的工廠里不斷的改進風嘴結構，研究合理的鼓風制度，用通過爐頂引入水冷風嘴的機械化送風方法代替陳旧的向熔池送風的方法（通過爐門插入不加冷卻的管子）使得向熔池送氧氣或空氣能夠不間斷地進行，而不妨礙爐子的工作和運輸，也不顯著降低爐體壽命。

保證工廠以足夠的壓縮空氣資源並沒有很大困難，因為興建大型壓縮空氣站比建設氧氣站要便宜和簡單得多。

近年來，採用壓縮空氣強化平爐冶煉的有效性在冶金界已被公認。因此，於1956年5月29日～6月1日在莫斯科鋼院舉行的關於氧在冶金中的應用的全蘇科學會議的決議中曾建議：“對於在最近幾年內不建氧氣站的工廠，可以採用向鋼液中吹壓縮空氣的方法，加速脫碳反應”^①。

採用壓縮空氣吹煉以及強化燃料燃燒，已在許多工廠包括某些用氧的工廠的平爐車間內得到了順利推行。因此，廣泛應用氧氣作為煉鋼過程的高效強化劑並不排斥壓縮空氣的利用，即使後者的效果較小。如果不把上述兩種強化劑對立起來，就可以有足夠的理由認為，在平爐中利用壓縮空氣能很好的補充或在很大程度上代替用氧，特別是在那些沒有氧氣站或者氧氣資源不足、氧氣成本很高的工廠里。

① Сб. «Применение кислорода в металлургии», Металлургиздат, 1957, стр.367.

壓縮空氣也可以成功地应用于电弧炉来吹煉金属或在鉄水罐中用于鉄水脫硅。

正如近几年的研究所发现，利用壓縮空氣吹煉金属的优点是灰尘生成較少，因而与吹氧或者甚至同水氧混合物相比，金属的燒損較少，耐火材料的耗損也較小。

作者希望，对平炉熔池中吹氧气和壓縮空氣的理論基础的闡述和对本人及国内外文献上所发表的有关实验資料的总结，能帮助生产工作者順利地运用上述强化冶煉的方法，并且自觉地操纵冶煉过程。这就是本书的目的。

第一 篇

向平炉熔池吹压压缩空气的理论基础

第一章 鋼的脱碳理論

金属中碳的氧化反应是平炉炼鋼过程中的主要反应。由于一氧化碳气泡生成并穿过厚层的金属和炉渣上浮而引起的熔池沸腾，保证了熔池的搅拌，加速了火焰向金属的传热和有害杂质由金属向炉渣的排除，促进了鋼液成分和温度的均匀化和气体与炉渣夹杂从鋼液中大量排除。没有沸腾，平炉炼鋼过程就不能实现。

平炉废鋼法炉料中的含碳量不高（1.2~1.5%），但对于进行正常的熔炼是足够的。此法主要是靠炉气中的氧使碳氧化到成品鋼的规定含量。

平炉矿石法和废鋼-矿石法炉料中含有很多的碳（2.5%以上），仅靠炉气中的氧来氧化碳的速度大大落后于固体炉料的熔化，和把鋼液加热到规定温度的速度。为了消除这种不相适应的情况，即采用鉄矿石，以加速金属中碳和其他杂质的氧化。但是，用补加矿石来加速金属脱碳的方法是不完善的，并受外来热源（燃料）向熔池供热强度的限制，这部分热量应该补偿碳氧化的吸热反应和矿石熔化所消耗的热量。当矿石加入量过多时，由于熔池温度下降和由此而造成的氧从炉渣向金属转移速度的降低，金属的脱碳过程甚至会减慢。

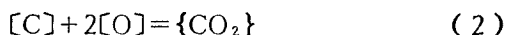
向熔池输送氧气或压缩空气是强化脱碳过程比较完善的方法，由于反应放热，故能保证金属升温和碳氧化的同时性。这种方法开辟了强化冶炼的广泛可能性。

以最新的实验资料和先进的生产实践为基础的現代脱碳过程

理論，能够闡明过程的限制环节并論証既加速全部过程又不使金属质量变坏的可能性。

1. 鋼中碳氧化反应的平衡条件

鋼中碳的氧化是按照下列反应进行的^①：



反应(2)只有在 $[\% C]$ 少时才有意义，当 $[\% C] \geq 0.2\%$ 时实际上不进行。

反应(1)的平衡常数：

$$K_c = \frac{a_{[C]} \times a_{[O]}}{P_{CO}} = \frac{[\%C][\%O]_{平衡} f_c f_o}{P_{CO}} \quad (3)$$

式中 $a_{[C]}$, $a_{[O]}$, f_c 和 f_o ——溶于金属中的碳和氧的活度和活度系数；

P_{CO} ——与金属平衡的气相中 CO 的分压力，大气压；

$[\%C]$ 和 $[\%O]_{平衡}$ ——平衡时金属中碳和氧的浓度，重量%。

根据馬歇尔和启普曼的数据^[6, 7]， $f_c \times f_o$ 随着 $[\%C]$ 的增加而降低。如果假定这种降低是由 f_o 引起的，則按照他們的意見，这是因为鋼液中溶解了一氧化碳 ($[\%CO] = 0.0028 P_{CO}$) 的緣故。氧的“結合”部分 ($[\%O]_{co} = 0.0016 P_{CO}$) 随 $[\%O]$ 的减少，即随 $[\%C]$ 的增加而增加，这就引起 f_o 下降。

但是，正如^[6, 7]研究中及以后突克多干和其他人的研究^[8]中由实验所确定的，随着 $[\%C]$ 的增加两个活度系数都发生变化，并且 f_c 急剧地增加，而 f_o 的降低要比仅仅考虑金属中存在一部分“結合”的氧（呈溶解的 CO 状态）所預期的要大得多。

Б.Б. 斯达尔克、О.А. 易新和 П.Б. 格尔德都否认 CO 分子

① $[]$ —— 金属中； $()$ —— 碳中元素； $\{ \}$ —— 气体中元素。

在鉄中的可溶性，因为它的溶解过程伴随着生成碳和氧原子的分解。斯达尔克同时对馬歇尔和启普曼的部分数据的准确性提出了疑义，并在分析加工了試驗的可靠部分后得出結論，在 $[\%C] < 1\%$ 的范围内 f_c 和 f_o 实际上等于1。瓦列〔9〕支持了斯达尔克的結論，他对〔6〕的数据进行統計加工的基础上，推测在 $[\%C]$ 小于2.3%的范围内 $f_c = f_o = 1$ 。

C.И. 菲利波夫〔5〕根据自己的試驗数据同样得出了 f_c 和 f_o 为一常数，而且仅在 $[\%C] = 0.1 \sim 0.4\%$ 的范围内发现 $m = \frac{[\%C][\%O]}{P_{CO}}$ 数值的变化（ $[\%C] = 0.2\%$ 时为最小）。菲利波夫认为，这种变化与C和O在CO气泡表面上的吸附有关。

在許多苏联作者的著作里承认活度系数随 $[\%C]$ 的提高而变化（ f_c 提高和 f_o 降低），这是由于不存在理想溶液与Fe、C和O原子不等价之故〔1, 2, 3〕。

实际計算中常利用下列数值：

$$m = \frac{[\%C][\%O]_{\text{平衡}}}{P_{CO}} = \frac{K_c}{f_c \times f_o} \quad (4)$$

应该注意， m 值不是真正的平衡常数，因为碳和氧的浓度不等于它們的活度。只有当 $[\%C] \rightarrow 0$ 时， $f_c \times f_o \rightarrow 1$ ， $m \rightarrow K_c$ 。

H. 瓦克尔和E. 哈密尔顿首先确定了 m 值〔11〕。按照他們的数据，当碳的浓度不高， $t = 1600^\circ$ 时， $m = [\%C][\%O]_{\text{平衡}} = 0.0025$ （在 $P_{CO} = 1$ 大气压下）。

在其后一些研究中确定过 $K_c = m_{[C] \rightarrow 0}$ 与溫度的关系。按一般形式它可以用下列方程式表示：

$$\lg K_c = \frac{A}{T} + B \quad (5)$$

式中 A 和 B ——系数： $A = -\frac{Q}{4.576}$ ；

Q ——反应（1）的热效应，卡/克分子；

T ——溫度，°K。

反应热效应的数值和符号可从下式求出:

$$Q = -4.576A \quad (6)$$

表 1 的数据指出(除 Л.Я. 格鲁斯金^[13] 所得的不够可靠的结果外), 反应(1)的热效应不大, 而且虽然它的符号直到目前尚未确定, 可以认为 K_c 值随温度的变化不大。根据一系列的研究数据, 其平均值等于 0.0025。

按不同研究者的数据, 方程式(5)中系数 A 和 B

及反应(1)的热效应数值

表 1

作 者	A	B	Q , 卡/克分子	不同温度 (°C) 下 $K_c \times 10^4$	
				1500	1600
启普曼和薩馬林 [12]	-2400	-1.327	+10980	21	25
馬歇爾和启普曼 [6]	-1860	-1.643	+8510	20	22
格鲁斯金 [13]	+5900	-5.77	-27000	35	24
克拉馬罗夫 [14]	+500	-2.744	-2290	34	33
罗斯托夫策夫 [1]	+1470	-3.47	-6720	23	21
菲利波夫 [5]	+1070	-3.075	-4900	33	31
突克多干 [8]	-1056	-2.131	+4830	19	20

平衡乘积 $[\%C] \cdot [\%O]_{\text{平衡}}$ (外压力为一大气压时) 在 $[\%C]$ 低时, 稍小于 0.0025 (由于在气相中存在 CO_2 , 结果使 $P_{CO} < 1$ 大气压) 并随 $[\%C]$ 的提高而增加, 这同 $f_c \times f_o$ 减小有关。例如, 按照突克多干 [8] 的数据, 在 $[\%C] = 1\%$ 时, $m = 0.0036$; 而当 $[\%C] = 2.0\%$ 时, $m = 0.0064$ 。

同 CO 气泡平衡的鋼中氧的浓度可按下式計算:

$$[\%O]_{\text{平衡}} = \frac{mP_{CO}}{[\%C]} \quad (7)$$

气泡内 CO 的分压力 (公斤/厘米²) 近似地等于对气泡的外压力^①:

$$P_{CO} \approx 1 + H_{\text{金}} \gamma_{\text{金}} + h_{\text{渣}} \gamma_{\text{渣}} + 1.02 \times 10^{-6} \times \frac{2\sigma}{r_{\text{泡}}} \quad (8)$$

① 气泡内氮和氢的含量一般不大。

式中 $H_{\text{金}}$ 和 $h_{\text{渣}}$ ——在气泡以上金属和炉渣层的高度，厘米；

$\gamma_{\text{金}}$ 和 $\gamma_{\text{渣}}$ ——金属和炉渣的比重，公斤/厘米³；

σ ——鋼液的表面张力（1000 ~ 1300，达因/厘米）；

$r_{\text{泡}}$ ——气泡半径，厘米。

H.H.多布罗霍托夫〔15〕首次考虑到毛细管压力值 $\left(\frac{2\sigma}{r_{\text{泡}}}\right)$ ，

该值只有当气泡的半径小于1毫米时才具有重要意义。

在实际计算中 $h_{\text{渣}}\gamma_{\text{渣}}$ 的数值不超过 0.05 公斤/厘米²，可以忽略不计，而采用

$$[\%O]_{\text{平衡}} \approx \frac{m(1 + H_{\text{金}}\gamma_{\text{金}})}{[\%C]} \quad (9)$$

在熔池的下层（炉底上）：

$$[\%O]_{\text{平衡下}} \approx \frac{m(1 + H_{\text{平均}}\gamma_{\text{金}})}{[\%C]} \quad (10)$$

熔池的平均深度可用下式计算：

$$H_{\text{平均}} = K_{\text{容积}} \times H_{\text{最大}} = \frac{V_{\text{熔池}}}{S_{\text{熔池}}} \quad (11)$$

式中 $K_{\text{容积}}$ ， $H_{\text{最大}}$ ， $V_{\text{熔池}}$ 和 $S_{\text{熔池}}$ ——容积系数，熔池的最大深度、容积和镜面面积。

在金属的上层（炉渣下） $H_{\text{金}} = 0$ 并 $P_{\text{CO}} \approx 1$ 大气压：

$$[\%O]_{\text{平衡上}} \approx \frac{m}{[\%C]} \quad (12)$$

2. 沸腾熔池中的氧含量

按照现代的观点，在纯沸腾期 CO 气泡主要是在炉底上生成的。因此，熔池中的实际含氧量不可能低于同炉底附近气泡内的压力相平衡的氧量〔参看方程式(10)〕。

在沸腾的熔池中上层，金属的含氧量应当稍高于炉底附近的平衡含量，并高出 $\Delta[O]$ 值，以保证氧以相应的速度从熔池的上

层向下层并从炉底附近的金属向气泡表面扩散:

$$\Delta[\text{O}] = \Delta[\text{O}]_{\text{上下}} + \Delta[\text{O}]_{\text{金属}} \quad (13)$$

式中 $\Delta[\text{O}]_{\text{上下}}$ ——上层和下层金属中氧的浓度差;

$\Delta[\text{O}]_{\text{金属}}$ ——下层金属与气泡表面的氧的浓度差。

在上部金属层中:

$$[\% \text{O}] = [\% \text{O}]_{\text{平衡下}} + \Delta[\text{O}] \approx \frac{m(1 + H_{\text{平均}} \gamma_{\text{金}})}{[\% \text{C}]} + \Delta[\text{O}] \quad (14)$$

在大量分析^[16]的基础上查明, 大型平炉熔池中的 $[\% \text{O}]$ 在

純沸騰期相当准确地符合方程式:

$$[\% \text{O}] = \frac{0.0035}{[\% \text{C}]} + 0.004 \quad (15)$$

在上述炉中 $H_{\text{平均}} \approx$

60厘米, 而方程式(14)

中的分子数值是:

$$0.0025(1 + 60 \times 0.007)$$

≈ 0.0035 , 这个数值与

方程式(15)中的系数相

吻合, 因此証明在推导

方程式(14)时的理論

前題是正确的^[16]。

如图1(曲綫3)

所示的(15)关系与

A.H. 莫罗佐夫的数据

^[17]能很好地吻合。

測定 $[\% \text{O}]$ 的試

样通常是从上部金属层

中选取, 此处的压力近

于1大气压。似乎这些試样中的 $[\% \text{O}]$ 应该低于炉底附近金属中

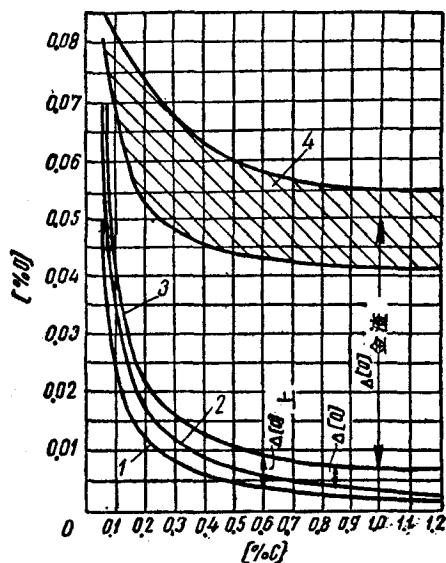


图1 金属中平衡的和实际的氧浓度与含碳量的关系:

1—当 $P_{\text{CO}} = 1$ 大气压时的平衡; 2—当 $P_{\text{CO}} = 1.4$ 大气压时的平衡; 3—大型平炉純沸騰期熔池中的平均实际含氧量; 4—在金属与炉渣平衡时的最大可能含氧量: $[\% \text{O}]_{\text{实际平衡}} = [\% \text{FeO}] f_{\text{FeO}} \times L_{\text{FeO}}$

的含氧量，因为那里的压力要高得多。但是，由于氧的扩散流是由上而下的，所以上部金属层中的 $[\%O]$ 应比下部稍高一些。

在沒有表面沸騰的条件时，渣层下面鋼液中的含氧量 $[\%O]$ 較低，这必将使氧向生成气泡处的扩散終止，并且使沸騰停止。这就必然会导致氧从渣中进入上部金属层，而使其增加到建立起必要的浓度差为止。

3. 金属和炉渣中氧的平衡条件

与炉渣呈平衡时，鋼中的含氧量 $([\%O]_{\text{渣}})$ 取决于炉渣中氧化亚铁的活度 (a_{FeO}) 和分配常数 (L_{FeO}) ：

$$[\%O]_{\text{渣}} = a_{FeO} \times L_{FeO} = (\%FeO) f_{FeO} \times L_{FeO} \quad (16)$$

式中 $(\%FeO)$ 和 f_{FeO} ——渣中氧化亚铁的重量百分数和活度系数。

L_{FeO} 与温度的关系示于图 2 和下列公式 [1, 7]：

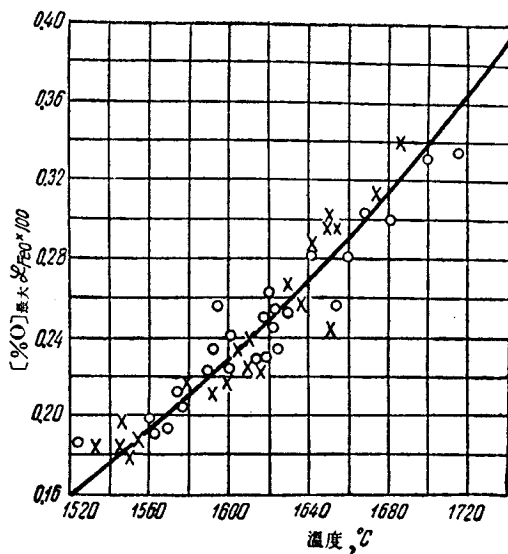


图 2 氧在液态鋼中的溶解度 (在純氧化鉄渣下)：
○—启普曼和菲特尔斯的数据；×—铁洛尔和启普曼的数据

$$\lg L_{\text{FeO}} = \lg \frac{[\%O]_{\text{最大}}}{100} = -\frac{6320}{T} + 0.734, \quad (17)$$

式中 $[\%O]_{\text{最大}}$ ——与純氧化鉄渣 ($a_{\text{FeO}} = 100\%$) 相平衡时, 鋼中最大的含氧量。

在 1600°C 时, $L_{\text{FeO}} = 0.0023$; $[\%O]_{\text{最大}} = 0.23\%$ 。

試驗数据〔7〕表明, 仅在酸性 (为 SiO_2 所饱和的) 或极碱性炉渣內, $f_{\text{FeO}} \approx 1$ 和 $a_{\text{FeO}} \approx (\% \text{FeO})$ 。当炉渣碱度 ≈ 2 时呈现 f_{FeO} 的最大值:

$$\frac{n_{\text{CaO}} + n_{\text{MgO}} + n_{\text{MnO}}}{n_{\text{SiO}_2} + 2 n_{\text{P}_2\text{O}_5} + 0.5(n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + n_{\text{Al}_2\text{O}_3})} \approx 2,$$

式中 n ——在 100 克炉渣中氧化物的克分子数。

随炉渣碱度趋近于 2, 氧化亚鉄的活度系数增加。按照炉渣的分子理論〔7〕, 这是由于形成了硅酸盐和其他化合物 ($N_{\text{FeO}} = \frac{n_{\text{FeO}}}{\sum n}$ 增加) 而使分子总数减少之故。根据炉渣的离子理論, 这种现象是由于 Ca^{++} 和 Fe^{++} 阳离子与 SiO_4^{--} 和 O^{2-} 阴离子相互作用的能量不同而产生。

渣中氧化亚鉄的活度和活度系数可由实验图表〔7〕确定。对于碱性炉渣可以采用下列方程式①:

$$a_{\text{FeO}} = \frac{100(\% \text{FeO})}{1.3(\% \text{CaO}) + (\% \text{FeO} + \% \text{MnO}) - 1.8(\% \text{SiO}_2 + \% \text{P}_2\text{O}_5 - \% \text{MgO}) - 0.3(\% \text{Fe}_2\text{O}_3 + \% \text{Al}_2\text{O}_3)} \quad (18)$$

計算表明, 在沸騰期 $[\%O]_{\text{渣前}} > [\%O]$, 即炉渣中氧的浓度大于它在金属中的浓度。按照下式可以求出氧的浓度差:

$$\Delta[\text{O}]_{\text{渣前}} = [\%O]_{\text{渣前}} - [\%O] = a_{\text{FeO}} \cdot L_{\text{FeO}} - [\%O] \quad (19)$$

由图 1 可見, $\Delta[\text{O}]_{\text{渣前}} > \Delta[\text{O}]$ 。这就証明, 从炉渣向金属轉移的氧流将遇到比其后在金属中所进行的过程环节中要大得多的

① 方程式 (18) 与以前发表过的方程式〔29〕的区别是, 以重量百分数代替了克分子数, 并且补充計入了 (P_2O_5) 和 (Al_2O_3) 的影响。考虑到克分子数换算成了重量百分数, 分母中的系数被折成了整数。

阻力。

4. 碳的浓度和金属的过氧化程度

在許多著作中根据 $[\%C][\%O]$ 值来判断在沸腾的熔池中金属的过氧化程度。根据試驗数据〔7, 18〕, 这个乘积的增长与 $[\%C]$ 呈直綫关系。据此常常断定, 当 $[\%C]$ 低时, 比 $[\%C]$ 高时金属过氧化的程度較小, 并且更接近于平衡。这种見解的根据是不够充分的。

由图 3 可見, 对上部金属层($P_{CO} \approx 1$ 大气压) $\Delta[O]$ 值随 $[\%C]$ 的降低而增加, 由方程式 (12) 和 (14) 得:

$$\Delta[O]_{\pm} = [\%O] - \frac{m}{[\%C]} = \frac{m(1 + H_{\text{平均}}\gamma_{\text{金}})}{[\%C]} + \Delta[O] - \frac{m}{[\%C]} = \Delta[O] + \frac{mH_{\text{平均}}\gamma_{\text{金}}}{[\%C]} \quad (20)$$

对于大型平炉, 按試驗数据 (15):

$$\Delta[O]_{\pm} = \frac{0.0035}{[\%C]} + 0.004 - \frac{0.0025}{[\%C]} = \frac{0.001}{[\%C]} + 0.004 \quad (21)$$

因此, 金属中过剩的氧(当 $P_{CO} = 1$ 大气压时, 与平衡的 $[\%O]$ 相比較)随 $[\%C]$ 的减少而增加, 并且当 $[\%C] < 0.2$ 时, 尤为显著(图 3, 曲綫 2)。这是因为, 为了保証在炉底上能生成 CO 气泡, 在 $P_{CO} = 1$ 大气压下, $[\%O]$ 应当比平衡含量至少高出同金属压力相当的数值 $\left(\frac{mH_{\text{平均}}\gamma_{\text{金}}}{[\%C]}\right)$ 。这个差值随 $[\%C]$ 的减少而增大。

$[\%C][\%O]$ 的乘积随 $[\%C]$ 的增加而增大(图 4)①, 并不証明金属的“过氧化程度”增加。对于大型炉在純沸腾期, 由方程式 (15) 可得:

$$[\%C][\%O] = 0.0035 + 0.004[\%C] \quad (22)$$

并在 $\Delta[O]$ 值相同时, $[\%O][\%C]$ 的乘积应随 $[\%C]$ 的增加而呈

① 在图 3 和图 4 中假定 m 为常数 (0.0025)。假如考虑到 m 随 $[\%O]$ 而有某些变化, 那么在这种情况下也将得到同样的結論。