

平炉钢的脱氧

A. H. 莫罗佐夫 A. И. 斯特罗卡诺夫 著

馮啓东 等譯

冶金工业出版社

平 爐 鋼 的 脫 氧

A. H. 莫罗佐夫 A. И. 斯特罗卡諾夫 著

馮啓东 等譯

10423

冶 金 工 業 出 版 社

本書在平爐鋼脫氧原理及操作方面对一些参考文献进行了評論，分析了現代的沸騰鋼及鎮靜鋼脫氧的操作法；还根据最近的研究工作得到的資料对脫氧前平爐熔池的状态加以研討；同时詳細叙述了脫氧原理以及各种脫氧剂和脫氧产物的性質。

本書供冶金工厂工程技術人員、科学研究机构和大專学校工作人員之用。对有关專業的大学生也是有益的讀物。

本書由于定孚、胡居仁、顧潛祥、馮啓东翻譯，由顧潛祥、馮啓东校对。

А. Н. Морозов и А. И. Строганов
РАСКИСЛЕНИЕ МАРТЕНОВСКОЙ СТАЛИ
Металлургиздат (москва—1955)

平爐鋼的脫氧

馮啓东 等譯

編輯：張煥光 設計：趙香苓 責任校对：李慧英

1958年4月第一版 1958年4月北京第一次印刷1,409册

850×1168·1/32·152,000字·印張7 $\frac{22}{32}$ ·定价(10) 1.50元

冶金工業出版社印刷厂印 新华書店發行 書号 0796

冶金工業出版社出版(地址北京市灯市口甲45号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第093号

目 录

序 言.....	4
第一章 平爐熔池在脫氧前的狀態	
1. 金屬在平爐中受氧化的情况.....	5
2. 脫氧前的鋼水及熔渣的成份.....	16
第二章 脫氧的物理化学基础	
1. 对脫氧剂的要求.....	30
2. 各种元素对氧、氮和硫的亲力.....	34
第三章 各种脫氧剂的性質	
1. 錳.....	52
2. 矽.....	61
2. 矽与錳.....	72
4. 鋁.....	79
5. 鈦.....	94
6. 钒.....	102
7. 鉻.....	108
8. 鈣.....	111
9. 硼.....	115
10. 其他脫氧元素.....	118
11. 各元素脫氧能力的比較.....	120
第四章 沸騰鋼的脫氧	
1. 沸騰鋼鋼錠.....	124
2. 沸騰鋼的含氧量.....	133
3. 脫氧操作.....	142
4. 半鎮靜鋼.....	165
第五章 鎮靜鋼的脫氧	
1. 鎮靜鋼鋼錠.....	169
2. 鋼內非金屬夾杂物的来源.....	175
3. 碱性平爐碳素鋼的脫氧.....	183
4. 扩散脫氧.....	211
5. 碱性平爐合金鋼的脫氧.....	219
6. 酸性平爐鋼的脫氧.....	231
参考文献.....	239

序 言

現行煉鋼法中最廣泛的要算平爐煉鋼法。

現代技術對鋼的質量提出了日益增長的要求；平爐鋼種也在不斷的增加着。因此煉鋼操作也隨着這種要求起着變化並得到改進。平爐煉鋼過程的最后一个階段是脫氧，它在頗大程度上可以決定鋼的質量好壞。很多人曾經從理論和實驗方面對脫氧過程作過大量的研究工作，其中有 B.E. 格魯姆——格爾日邁洛，M.M. 卡爾納烏霍夫，A.M. 薩馬林和 K. Γ. 特魯賓等關於鋼冶金的各种主要著作，但在目前還沒有論述鋼脫氧的專門著作。作者根據國內外的實際資料編寫本書的目的，就是希望對這個缺點能有一些補救。

本書第一章是根據最近的研究資料寫出來的，系研究平爐熔池脫氧前的狀態，並着重論述了鋼液的含氧量及熔渣中鐵的氧化物含量，因為他們對於脫氧過程的進行有着極大的影響。在第二、三兩章中敘述了脫氧的基本理論問題，詳盡地敘述了各个脫氧劑及脫氧產物的性質。作者從大量的、甚至是極矛盾的研究結果中，盡量利用其最可靠的材料進行了編寫。在最後兩章中闡述和分析了沸騰鋼及鎮靜鋼的實際脫氧方法，着重敘述了最先進的脫氧方法並對尚在爭論中的問題予以批判性的分析。

作者對 M. И. 科羅索夫，M. A. 魯金，M. K. 斯庫利斯基，И. A. 特卡欽科，A. B. 莫羅佐夫等在編著本書（底稿）時，提供的寶貴意見和幫助，謹致以深切的謝意，並對齊略賓斯克冶金工廠的參與底稿討論的全体煉鋼工作者和技術校閱者技術科學博士 A. И. 克拉馬羅夫教授致以衷心地感謝。

第一章

平爐熔池在脫氧前的狀態

1. 金屬在平爐中受氧化的情況

在整个冶煉过程中，平爐內的金屬都直接或間接地遭到爐膛內氧化性爐氣的作用。在裝入金屬爐料、燒料和熔化（廢鋼法）时，爐氣中的氧直接与金屬表面接触，而使鉄素及溶于其中的杂质發生氧化。在下一冶煉期中，当金屬熔池及复盖在其上的一層熔渣形成后，金屬的氧化則通过熔渣来进行。在这种情况下，金屬熔池的氧化过程系在包括爐氣、液体熔渣及液体金屬的多相系（不均一的）內进行，而且这一系远未达到平衡狀態。但是为了确定代表这一过程的基本規律，首先必須研究一下液体鉄在平衡狀態下的氧化情况以及氧在液体鉄中的溶解过程。

氧在液体鉄中的熔解 鉄与氧能生成三种氧化物：以 FeO 表示的氧化亞鉄“浮氏体”，三氧化二鉄 Fe_2O_3 和磁性氧化鉄 Fe_3O_4 。實質上 Fe_3O_4 是上述两种鉄的氧化物的化合物 $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 。实际上， FeO 在自然界中是不存在的。浮氏体中鉄的原子数与氧原子数之比並不是一个常数，总是小于 1。所以浮氏体比較正确的分子式應該是 Fe_xO 。 x 值随溫度而变化，在 1600°C 时，該值等于 0.97^①。

在浮氏体中除兩价鉄原子外，还有三价鉄原子。

当 $x=0.97$ 时， $\frac{\% \text{Fe}^3}{\% \text{Fe}^2}$ 的比值 = 0.06

圖 1 是鉄——氧系状态圖。应特別注意的是属于圖中左边的液体鉄部分。液相綫 AB 表明，鉄的熔点随着熔体中含氧量的增加而降低，純鉄的熔点为 1530°C ，而熔体中含氧量为 0.16% 时

① 为方便起見，以后氧化亞鉄將以分子式 FeO 来表示。

铁的熔点为 1519 °C。

氧几乎是不溶于固体铁中的。

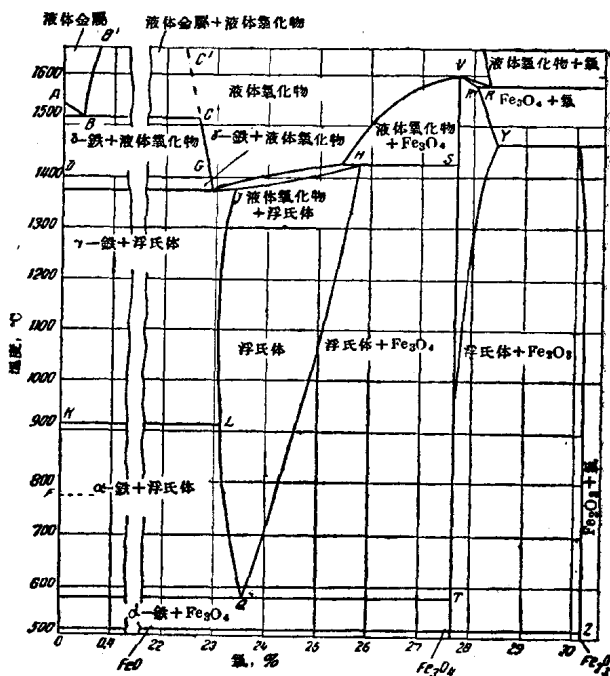


圖 1 Fe—O 系状态圖

液体铁与由铁的氧化物組成的熔渣相之間的平衡，由 BB' 綫来代表。可見，铁中含氧量是随着温度而升高的。当温度在 1519—1700 °C 范围内时这部分圖解的情况（圖 2）已經过詳細的研究。

在上述温度范围内，液体铁中的含氧量，可用下式来表示[5]：

$$\lg [O, \%]_{\text{最大}} = -\frac{6320}{T} + 2.734, \quad (1)$$

式中 T ——绝对温度。

上述关系也可用另一方式来表示：

$$[O, \%]_{\text{最大}} = 0.92 \times 10^{-3} t - 1.237$$

或換算成被溶解的氧化亞鐵量，則為：

$$[\text{FeO}, \%]_{\text{最大}} = 4.13 \times 10^{-3} t - 5.555,$$

式中 t —— 溫度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$[O, \%]_{\text{最大}}$ 和 $[\text{FeO}, \%]_{\text{最大}}$ —— 氧或氧化亞鐵在鐵中的最高含量。

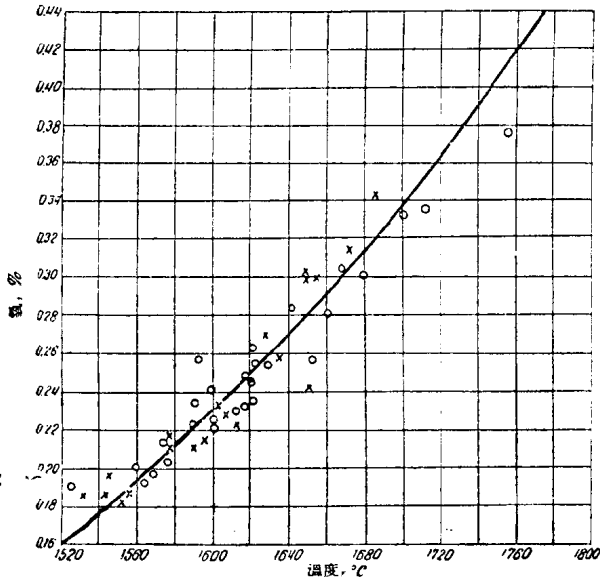


圖 2 氧在液体鐵中的溶解度

O—第一次試驗的；X—第二次試驗的

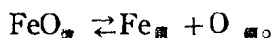
氧在液体鐵中的溶解过程，一般都認為是氧化亞鐵 (FeO) 由熔渣轉移到鋼液中，因為鐵的其他種氧化物如不進行分解不可能溶解于液体鐵中。這是由對液体鐵與水蒸汽和氫氣的混合氣體間的平衡狀態研究的結果而推演出來的〔5〕。由混合氣體中的 $\frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{H}_2}$ 比例與液体鐵的含氧量間發現的直線關係表明，氧系以原子狀態或僅含有一個氧原子的化合物 (FeO) 溶解于鐵中的。

像其他氧化物一樣，也很難設想在液体金屬中會存在有單個的氧化亞鐵分子，因為即使在這些氧化物的固態結晶體內也從未

發現过有它們的化合物分子。

由于氧原子較小，它就分佈于鉄原子之間，但在熔体中的鉄原子与氧原子之間，則存在有一种化学作用力。这种化学結合力的存在，就使我們有权在形式上把氧在鉄中的溶解过程看作是 FeO 按照 $\text{FeO}_{\text{熔渣}} \rightleftharpoons \text{FeO}_{\text{鋼液}}$ 的方式自溶渣轉移到鋼液中的結果。

但是，就物理意义上講，这种过程还是用下列方式表示比較正确：



当与液体鉄处于平衡状态的熔渣中除鉄的氧化物外还含有其他的氧化物时，則鉄中氧的含量不仅取决于溫度，而且还要取决于熔渣的成分。如果把熔渣看成理想溶液的話，那么鋼液中的含氧量应当与熔渣中鉄的氧化物含量成正比。实际上，远非經常能保持这种比例关系的，因此熔渣中鉄的氧化物含量多少就不能代表它对鋼液的氧化作用的大小。通常可用 $\frac{\Sigma(\text{FeO})}{L}$ 的比值来表明

熔渣的氧化能力，式中

$$L = \frac{\Sigma(\text{FeO})}{[\text{O}, \%]}, \quad (2)$$

而 $\Sigma(\text{FeO})$ ——熔渣中鉄的氧化物（換算成 FeO^* ）总含量（以克分子或重量%来表示）； $[\text{O}, \%]$ ——鋼液中的含氧量%。在等溫时，系数 L 随熔渣成分而变化。

碱性熔渣和酸性熔渣的氧化能力，可借实验研究确定出来。

为了确定在成分上接近于平爐渣的碱性熔渣的氧化能力曾經整理过現有文献中的資料〔6〕。这些資料是在实验室內对純鉄——合成熔渣——中性气氛三者之体系进行研究时得来的。合成熔渣是由鉄、矽、鈣和鎂等的氧化物所組成。試驗时鋼液的溫度变动在1550到1640°C之間。圖3为整理出的結果，它表明了分配系

* 此后凡溶解于熔渣中的物質濃度都用圓括弧表示，溶解于鋼液中的物質濃度都用方括弧表示。

数 $L = \frac{\Sigma(\text{FeO})}{[\text{O}, \%]}$ 与熔渣中游离氧化钙浓度 $\text{CaO}, \% = (\Sigma\text{CaO}, \%) - 1.87(\text{SiO}_2, \%)$ 的关系。 (ΣCaO) 浓度以克分子百分数表示之。计算是按石灰和二氧化矽將生成不解离的化合物 Ca_2SiO_4 而进行的。每次試驗中的鋼水含氧量都根据方程式 (1) 算成等溫 1600°C 时的数值。

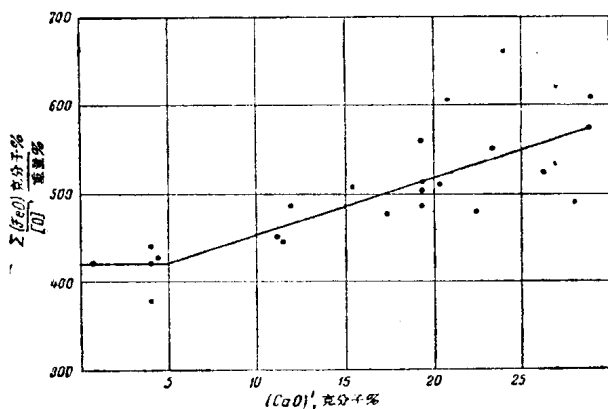


圖 3 系数 L 与渣中 (CaO) 浓度的关系

熔渣中含游离氧化钙不多时, $(\frac{\Sigma\text{CaO}, \%}{\text{SiO}_2, \%} = 1.9-2.5)$, 分配系数 L 約等于 420, 即与鉄的氧化物——液体鉄系中的分配系数 L 相接近。不論 ΣFeO 以克分子%或者以重量%来表示, 而后者在 1600°C 时的 $L = \frac{100}{[\text{O}]} = \frac{100}{0.230} = 435$ 。

換句話說, 当液体鉄与碱度不高 (1.9—2.5) 的熔渣处于平衡状态时, 其含氧量与熔渣內以克分子%表示的氧化亞鉄含量成比例。当熔渣中的 ΣFeO 含量以重量%表示时也大致能保持这种关系。

氧在鋼液中的含量相同时, 这种正比关系將随着渣內游离氧化钙浓度的升高而遭到破坏, 使熔渣中氧化亞鉄含量趋向增高的

一面。这是由于熔渣中的 CaO 与铁的氧化物發生了化学作用的緣故。

A. Д. 克拉馬罗夫和 С. Я. 列茲尼科娃曾用實驗室的高溫爐檢定过由鉄、矽、錳等的氧化物所組成的酸性合成熔渣之氧化能力。試驗是用氧化气氛进行的。試驗时，鋼液的溫度波动在 1530°C 到 1690°C 之間。在上述的溫度範圍內，分配系数 L 之值可按照下列公式計算出来：

$$\lg L = \lg \frac{(\Sigma \text{FeO}, \%) }{[\text{O}, \%]} = \frac{6400}{T} - 0.756, \quad (3)$$

式中熔渣內 $(\Sigma \text{FeO}, \%)$ 的含量系以重量%表示的。在 1600°C 时，根据公式 (3) 計算出的 L 值等于 455，即近乎碱度不高的碱性熔渣的 L 值。这种比較指出，酸性平爐熔渣和碱性平爐熔渣中鉄的氧化物 $(\Sigma \text{FeO}, \%)$ 含量相等时，它們則具有大致相同的氧化能力。

氧自熔渣进入鋼液中的速度：視熔渣与鋼液接触的表面大小、熔渣中鉄的氧化物含量和鋼液中含氧量而定。在鋼液表面層与熔渣交界的地方大概可以建立平衡状态，这一層中氧的含量可由公式 (2) 求得。

其次，單位表面上氧的傳遞速度取决于鋼液表面層氧的含量与鋼液中氧的平均含量之差，即与下列差数成比例：

$$\frac{(\Sigma \text{FeO})_{\text{熔渣}}}{L} - [\text{O}, \%]_{\text{鋼液}}. \quad (4)$$

可見，氧由熔渣进入鋼液內的速度將随熔渣中 (ΣFeO) 的含量的增多而提高，而随鋼液中含氧量的增多而降低。

平爐鋼液經過熔渣而受到的氧化 爐膛內存在着氧化气氛是平爐煉鋼的特点。爐气的氧化性能是由燃料燃燒时形成的 CO ，与 H_2O 和送入爐內的及从爐門縫隙吸入的空气中的剩余氧气而造成的。

氧化气氛作用于渣液表面上，渣液作为一种媒介而將氧由爐气傳入鋼水中。鋼水經過熔渣而受到的氧化过程，可以分成下列

几个步骤：

第一步： CO_2 ， H_2O 和氧由爐气轉移到熔渣表面上（扩散过程）。

第二步：爐气——熔渣交界面上的低价氧化鉄氧化成高价氧化鉄（化学反应）。

第三步：爐气——熔渣交界处的高价氧化鉄傳至熔渣——鋼水的交界面上（扩散过程）。

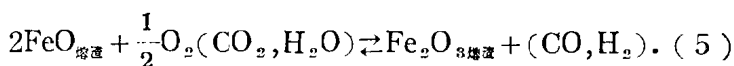
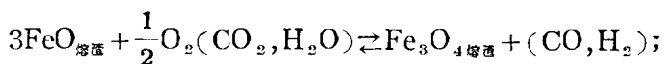
第四步：在熔渣——鋼水交界处的高价氧化鉄还原成低价氧化鉄而將氧傳入鋼水中（化学反应）。

第五步：氧化亞鉄进入鋼水中（扩散过程）。

下面我們再詳細地研究一下每个步骤。

氧是靠爐內廢气不停的流动自爐气轉移到熔渣表面上的，不过自熔池中排出的一氧化碳对氧气接近熔渣表面有一定的阻碍。

兩价鉄(亞鉄)在爐气—熔渣交界面上受到氧化后，使熔渣中三价鉄的濃度升高，这个过程通常可以用下列反应式之一[2,7]表示出来。



后面一个公式更完全地反映了实际發生的过程，因为渣液中的兩价鉄不仅氧化成 Fe_3O_4 就停止了。熔渣表面上三价鉄和兩价鉄之比的波动范围很大，主要要依靠爐气中氧的分压力和熔渣成分而定。氧的分压力的影响是很明显的。熔渣成分及其碱度的影响曾在試驗室內进行过研究[8]。研究时，將由鉄的氧化物、二氧化矽和石灰組成的熔渣長時間保持在約1600°C下，使其与空气接触。表1所載为各种碱度熔渣中的兩价鉄与三价鉄之比，而在这些熔渣中鉄的氧化物总含量則保持不变（ $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} = 40\%$ ）。

从表1可以看出，熔渣中 $\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{FeO}}$ 的比值随着熔渣碱度的升高而增加，这是因为生成鉄酸鈣的原故。表中所列的 $\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{FeO}}$ 比例对

于平爐操作条件來說是極限数值，因为在使用鼓風操作时，氧的分压力是不会超过 0.21 大气压的（氧在空气中的分压力）。

表 1

各种碱度熔渣中的兩價鉄与三價鉄之比(与空气成平衡状态)

$\text{Fe}_2\text{O}_3, \%$	$\text{FeO}, \%$	$\frac{\text{CaO}, \%}{\text{SiO}_2, \%}$	$\frac{\text{Fe}^{3+}}{\Sigma \text{Fe}}$	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3^*}{\text{FeO}}$
38.2	1.8	4.5	0.95	9.55
36.4	3.6	3.3	0.90	4.55
32.6	7.4	1.5	0.80	1.92
28.9	11.1	0.8	0.70	1.16
25.0	15.0	0.4	0.60	0.75
21.0	19.0	0.2	0.50	0.50

* 克分子分数。

由于从鋼液中排出一氧化碳而使熔渣發生攪拌（对流扩散）的关系，在爐气——熔渣接触面处生成的三价鉄便进入熔渣——鋼液的交界面上，在那里有一部分被还原成兩价鉄。



生成的氧化亞鉄一部分停留在熔渣中，另一部分則在交界面上与錳、磷、鉻等等鉄中的杂质發生反应，或者溶于鋼液中而供給其以氧气：



在交界面上發生的化学反应和氧化亞鉄的溶于鋼液中会降低熔渣中鉄的氧化物的濃度。一部分氧化亞鉄又从熔渣——鋼液的交界面处重新回到熔渣——爐气的交界面上。此后熔池的氧化步驟就又照前进行下去。因而在精煉期間，如果不向爐內加入鉄矿石和氧化鉄皮的話，則熔渣中鉄的氧化物的濃度的变化將要取决于同时进行的兩個作用相反的反应过程的發展情况，其中一个是使熔渣中鉄的氧化物濃度增高，而另一个則使熔渣中鉄的氧化物濃度減低。

在沸騰时期，熔池表面虽为熔渣所复盖，但是鋼液有可能由于直接暴露在火焰下面和由于在沸騰时鋼水溅到熔渣和爐气中而受到爐气中氧的直接氧化。然而大部分的氧还是經由熔渣而进入熔池中的。

平爐鋼水中碳的氧化 碳氧化时随着要放出气态产物，因而引起了平爐內鋼水的沸騰。从爐料熔清后开始一直到脫氧或者到出鋼为止的整个精煉期間，沸騰都在不停地进行着。然而現代的平爐煉鋼操作將激烈地不停沸騰的所謂純沸騰期特別划出来，对其時間長短还有严格的規定。熔池有 $\frac{2}{3}$ 的表面積开始激烈沸騰时算为純沸騰期的开始。沸騰可使鋼水發生强烈的攪拌，从而使熔渣和鋼水的溫度趋于均等，且加速了热量从火焰向熔池內的傳遞。沒有这种作用进行平爐煉鋼大概是不可能的或者是不良的。沸騰能促使气体和非金屬夾杂物从鋼水中分离出来。除此而外，在碱性平爐內它还能协助清除鋼水中的硫、磷雜質。对平爐中碳的氧化过程曾經进行过很多研究工作。在不同的一氧化碳壓力和等溫条件下〔5〕，在實驗室內研究了下面的平衡反应：



按照这些研究結果来判断，甚至在等溫等壓下，鋼液中碳和氧的濃度乘积也是随着碳的濃度而变化的。例如，碳为0.05%时， $[C, \%] \times [O, \%]$ 的乘积 $=m$ 这个数值等于0.0019；而碳为0.50%时，則其值將等于0.0026（在1540°C和一个絕對大气壓力下）。 m 不是一个常数是因为当鋼液中含碳高时，氧的活度就要下降，还有一部分一氧化碳要溶解于鋼水內的緣故〔5〕。

Б. Б. 斯塔尔克分析这些研究的結果后作出結論說：在等溫等壓下，含碳量在1%以內时， m 值將为一常数〔9〕。P. A. 卡拉謝夫和A. M. 薩馬林〔10〕則認為上述乘积之所以不是一个常数是因为与鋼水处于平衡状态的气体成分發生了变化（CO和CO₂的比例的变化）的关系。这些說法都各有他們一定的理論根据。但是要解决这个爭論問題，則还需要作些补充實驗。

在不久以前，A. H. 莫罗佐夫和Л. H. 高洛文曾进行了一

些試驗工作。他是將液体鉄碳合金在等溫等压下長時間放置于實驗室感應爐內來進行的。爐氣起初純由一氧化碳組成。在金屬熔化前，預先再三地抽出爐內氣體，使之達到高度真空。當爐內有了穩定的壓力表示平衡狀態達到後，就使坩堝內的鋼水迅速地冷卻下來。然後用重量分析法定出碳的含量，用真空熔化法定出氧的含量。所得到的結果載于表 2 中。它們証實只有含碳量在某一相當狹窄的範圍內時， $[C, \%] \times [O, \%]$ 的乘積才是一個常數。作為近似值的話，則對於更廣泛的含碳範圍也可以採用這個乘積 (0.0025)，因為它與 G.B. 斯塔爾克所獲得的數值是相符合的。

$[C, \%] \times [O, \%]$ 的乘積隨着一氧化碳的壓力的升高將有所增加，即是說與鋼水中一定的含碳量處於平衡狀態的含氧

表 2

在 $1540 \pm 10^\circ\text{C}$ 時鋼水中 C 和 O 的平衡數值

試 驗 序 號	成 分, %				[C, %] × [O, %]	溫 度 0℃
	碳	氧				
		第 一 次	第 二 次	平 均		
1	0.215	0.0131	0.0130	0.0130	0.0028	1550
2	0.157	0.0178	0.0154	0.0166	0.0026	1530
3	0.142	0.0171	0.0158	0.0165	0.0024	1550
4	0.138	—	0.0178	0.0178	0.0025	1530
5	0.095	0.0228	0.0278	0.0253	0.0024	1530
6	0.066	0.0396	0.0450	0.0425	0.0028	1530
					平均 0.0025	

量，在這時要較高一些。 m 值也視溫度不同而發生變化。但是在目前還不可能相當確切的來表明這種關係的性質，因為載在表 5 的熱效應數值和反應 (8) 的標準自由能只是些極近似的數值而已。同時可以有把握地說，這個反應的熱效應的絕對值是不大的，即是說乘積 m 隨溫度的不同而稍有變化而已。這就可以在較廣泛的溫度範圍內利用 m 的數值。在實驗室內進行試驗研究的條件與碳在平爐熔池內進行氧化時的情況大不相同。在實驗室的試驗中，無

渣的鋼水表面直接和一氧化碳爐氣接觸。在這種情況下，一氧化碳的排出可以無需乎在鋼水中再經過形成氣泡的過程，而就借著在鋼水表面上形成的一氧化碳分子的蒸發來進行〔11〕。

在激烈沸騰期，碳的氧化是在平爐熔池深處進行的。沿熔池深度的鋼液成分和溫度都很均勻可以証實這一點〔4、5、12〕。而形成的一氧化碳則呈氣泡自鋼液內排出。碳與氧有些過飽和時，鋼液中就可能生成這樣的氣泡。實際上，像從 H. H. 多布羅霍托夫的公式〔13〕得出的結果一樣，只有當一氧化碳氣泡能夠抵過位於它上面的鋼水和熔渣的壓力、爐氣壓力和鋼水的表面張力的時候它才可以生成。

$$P_{\text{氣泡}} = P_{\text{爐氣}} + \gamma_{\text{鋼}} \times h_{\text{鋼}} + \gamma_{\text{熔渣}} \times h_{\text{熔渣}} + \frac{2\sigma}{r} \\ \times 1.02 \times 10^{-6} \text{ 公斤/平方公分}, \quad (9)$$

$P_{\text{爐氣}}$ ——爐氣的壓力，公斤/平方公分；

$\gamma_{\text{鋼}}$ 和 $\gamma_{\text{熔渣}}$ ——鋼水和熔渣的比重，公斤/立方公分；

$h_{\text{鋼}}$ 和 $h_{\text{熔渣}}$ ——在形成的氣泡上面的鋼水層和熔渣層的厚度，公分；

σ ——鋼水表面張力，達因/公分；

r ——氣泡的半徑，公分。

鋼水表面張力約為 1000 達因/公分〔14〕。由表面張力造成的附加壓力隨一氧化碳氣泡的半徑減小而增加，當氣泡半徑 $r \approx 0.01$ 公厘 (10^{-3} 公分) 時，已可達到兩個絕對大氣壓力。

當氣泡生成的時候其半徑應該還要更小。由此可見，在鋼水內生成一氧化碳氣泡的可能性是微乎其微的。在粗糙的固體表面上氣泡較易生成，平爐爐底就是這種表面。因此，目前一般認為在激烈沸騰期，一氧化碳氣泡主要是在爐底上生成的〔14、15、16、17、5〕。但即是在這種情況下，鋼水內所含碳、氧也必須達到一定的過飽和程度才行。

換句話說，也就是在一定的含碳量情況下，鋼水內氧的濃度應超過反應 (8) 達到平衡時所具有的數值。

沸騰时由于平爐熔池受着良好的攪拌作用，溶解于鋼水中的氧和碳的反应速度是非常大的。在平爐冶煉行程中，鋼水中含碳量的变化，即碳的氧化速度，並不取决于碳、氧間的化学反应速度本身，而是取决于氧进入鋼水中的速度。这个过程的最大速度也要比鋼水中碳、氧的化学反应速度小好多倍。很明显，在这种情况下， $C_{\text{鋼液}} + O_{\text{鋼液}} = CO$ 这个反应在互相作用的区域内所能达到的限度要决定于在这个区域生成一氧化碳的条件。这个限度在鋼液中具有某一特定的含碳量的条件下將以一定的含氧濃度来代表。如上所述，在激烈沸騰（純沸騰）期反应区域是在爐底上，也就是說在这里鋼水內氧的濃度將为最低。熔池中氧的平均含量視熔渣——鋼液的交界面上的氧傳送到爐底上去的速度而定，也就是首先要看熔池攪拌的激烈与否而定。攪拌良好的話，鋼液中氧的平均含量与發生反应区域内的含氧量差別將很小。熔池鋼水攪拌不好时，則熔池上下層間鋼液中氧的含量就会产生很大的差別。

許多研究者都曾对沸騰着的平爐熔池中的含氧量进行过測定〔5、19—23〕。一开始的研究工作〔5、18、19、20〕就表明，沸騰时鋼水中碳与氧的含量之間存在着一定的关系。然而由于定氧时的多种錯誤，这些研究的結果在数量方面存在着一些分歧。以后，随着取样方法和定氧方法有了明确的規定，所得結果在数量上才互相取得一致。〔21—23〕。

2. 脫氧前的鋼水及熔渣的成分

檢定鋼水含氧量的方法 在最初的研究工作中〔5、18〕鋼样系用普通的样杓从爐中取出的。鋼水用鋁在样杓或样模里进行脫氧。檢驗这种取样方法的結果証明，当样盒裝滿鋼样后，鋼水进一步遭到了氧化，从而部分地补偿了其在样盒里沸騰时所損失的氧量。整个說来，用这种方法取出的鋼样中含氧量要比用封閉样盒直接从熔池中取得的鋼样高出10—30%。后一种取样方法系在熔池中当鋼水裝滿样盒时以鋁进行脫氧的，因而获得的結果