

特种冶金问题

杨 栋 吴超万
知 水 王中一
等 编译

2



76.1083
602
2:1

特种冶金问题

2

楊 棟 吳超万
知 水 王中一
等 編 譯

31-2-3

中国工业出版社

本书介绍了真空感应精炼动力学理论, 氧和镍熔液及镍铁合金间的平衡, 真空感应冶炼特殊用途合金, 电子束冶炼, 结晶过程中用超声波处理金属等方面的文章14篇。这些文章均选译自苏联、日本、欧美各国近年来发表的理论研究成果。本书可供我国有关工程技术人员阅读, 参考。

特种冶金问题

2

楊 栋 吳超万
知 水 王中一
等編譯

*

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 (北京德胜门内大街10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第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 $850 \times 1168 \cdot 1/32$ · 印张 $8^{3/16}$ · 字数 217,000

1964年1月北京第一版·1964年1月北京第一次印刷

印数 0001—2,720 · 定价 (10-6) 1.30 元

*

统一书号: 15165 · 2893 (冶金-483)

目 录

真空感应精炼的动力学理论.....	E.S.Machlin (1)
氧和镍熔液及镍—铁合金间的	
平衡.....	J.E.Bowers等 (34)
钢用钒、铈、锆、铌脱氧的热力学.....	Г.Кинне等 (53)
真空熔炼金属的理论问题.....	С.И.Кузьмин (62)
铁和钢熔液在高真空下的行为.....	W.A.Fischer (72)
钢液在真空中脱气的机理.....	И.Веpe (100)
真空冶炼的理论和实践(续).....	O.Winkler (108)
真空感应冶炼的特殊用途合金.....	M.S.Walmer (140)
不锈钢和耐热钢的真空熔炼(上).....	川畑正夫等 (159)
真空电弧重熔时漏气度对耐热	
合金性能的影响.....	A.M.Иринин等 (177)
真空感应炉炉衬.....	A.B.Фролов等 (183)
电渣重熔高合金钢及合金对排除非金属	
夹杂物的影响.....	M.M.Клюев等 (190)
电子束熔炼.....	S.R.Scagle等 (204)
结晶过程中用超声波处理金属.....	И.И.Теумин (224)

真空感应精炼的动力学理论

E. S. Machlin

真空熔炼所达到的纯净程度；实际上是由动力学，而不是热力学所决定的。然而，对于真空精炼的动力学原理，几乎完全不了解。本文则是介绍一种探索这方面知识的尝试。

有两个反应需要考虑，第一是精炼反应，第二可称之为沾污反应，这是牵涉到坩埚组成物被带入熔体的反应。两个反应的机构都还是未知的。可以构成许多假说〔注1〕来描述它们，例如考虑精炼反应， $\underline{\text{C}} + \underline{\text{O}} = \text{CO (气)}$ 。一种可以设想的假说是，碳和氧在熔体内化合生成 CO，然后扩散到熔体—气相表面，并在那里逸脱。另一种假说是，碳和氧扩散到熔体—气相表面上，然后化合生成 CO 并逸脱。第三种假说认为，只有熔体—气相表面上的碳和氧才化合生成 CO，并由于新界面的不断提供，而使反应得以延续。还有另外一种假说，提出具有某一厚度但又不能加以划定的凝滞界面层，并认为由于反应物穿过这一层扩散到熔体—气相表面上，在那里，它们化合并逸脱，反应就不断进行〔1—4〕。对于精炼反应，可以设想的假说决不止这些。每一个假说都可以提出论据来辩护，然而只有实验才能给它们以甄别。

本文不想评价所有这些假说。更确切地说，本文的目的在于分析一个特别的假说，发展其定量方面的特点，并将其理论推测同已有的实验进行对照。可以看到，将导出一些新的关系式。在这种假说提出的理论与已有的不多实验结果相一致的基础上，建议进行一定的实验。

理 论

精炼反应 这一理论的基本假定是：在电磁感应的诱导下，

位于熔体—气相表面的熔体，可以看成是没有切变梯度地运动着的。这就是说，气体—金属表面附近的熔体作“刚体”运动（假定该体积内没有对流）。用流体力学的术语来说，就是界面上的液体金属，其滑脱系数近于零。水力学方面与此类似的情况，可能就是海底里的层流，以及宽阔的河道上接近气—液表面的部分，那里的速度梯度近于零。界面附近的体积元，其刚体运动一直要维持到它不再同气相接触为止。为了不发生反应物穿透这一层的扩散，它还必须有一定的厚度。反应物由这一层本身来供应。

直线层流条件下，垂直于流体速度传送质点与此速度无关。这样，扩散问题就大大地简化了。现在让我们把注意力集中到界面附近的一个熔体小单元上。进而，我们考虑该单元内的溶质向熔体—真空界面的传递。这问题表示在图1中。此单元同真空接

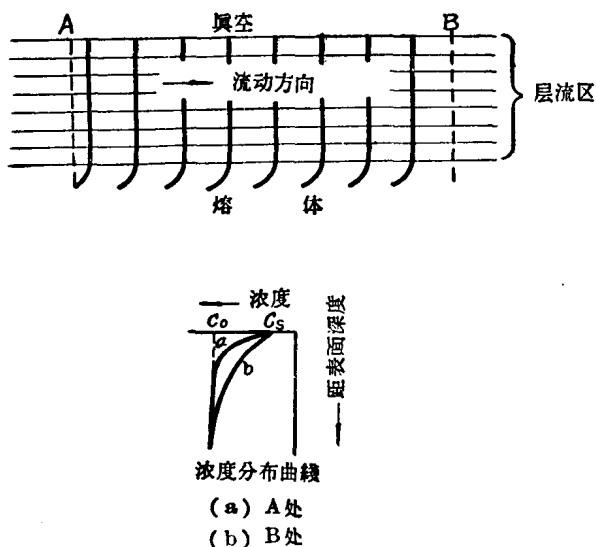


图1 层流假设示意图

触后，表面上的浓度就会由熔体的平均浓度 C_0 ，降低到同气相成平衡的浓度 C_s 。适应于溶质在整个单元内扩散的边界条件如下：

a) $t=0$, 整个单元中 $C=C_0$

b) $t>0$, $x=0$, $C=C_s$

$t>0$, $x \rightarrow \infty$, $C=C_0$, $\frac{dc}{dy} \rightarrow 0$

c) 此单元仅在某一時間間隔 t' 內存在, t' 是由在层流方向上熔体与气相接触的直綫距离 y , 除以层流速度 v 的比值算得, 即:

$$t' = y/v \quad (1)$$

上述边界条件的扩散方程的解由

$$\frac{dM}{dA} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (C_0 - C_s) \sqrt{Dt'} \quad (2)$$

算得 [12a], 式中:

$\frac{dM}{dA}$ = 单位熔体一眞空表面面积上的溶质消耗。

D = 熔体中溶质的扩散系数。

这个解的适用条件是, 時間間隔 t' 內 C_0 的减少值远比 C_s 为小。亦即, 溶质自該单元逸脫的整个周期 (即 t' ——譯者) 中, C_0 保持不变。

要得到熔体中溶质浓度的减少速度, 要作下列計算:

$$-\frac{dC_0}{dt} = \frac{dM}{dA} \cdot \frac{dA}{dt} \cdot \frac{1}{V} \quad (3)$$

式中 V 为熔体体积。

$\frac{dA}{dt}$ 是熔体一眞空界面的鋪展速度。在鋪展的瞬間, 表面上的浓度为 C_0 。

現在, 对一个被电磁感应攪拌的熔池, 其 $\frac{dA}{dt}$ 等于熔体界面层消逝的速度, 即

$$\frac{dA}{dt} = 2\pi r v \quad (4)$$

根据連續原理，流体速度的数值随半径而变，并由 $2\pi\varepsilon v\varepsilon = \text{常数}$ 来确定，式中 ε 是径向矢量的数值，它在 0 到 r 間变化。这时，

$$t' = \int_0^r \frac{d\varepsilon}{v_r} = \int_0^r \frac{\varepsilon}{vr} d\varepsilon = \frac{r}{2v}$$

因此距离 $y = \frac{r}{2}$ ，熔体体积为 $\pi r^2 h$ 。将相当的值代入就得到

$$-\frac{dC_0}{dt} = 2(C_0 - C_s)(2Dv/\pi rh^2)^{1/2} \quad (5)$$

〔方程 (5) 中的速度 v 为熔池半径 r 上的速度〕

現在可以証明关于 $\left| -\frac{dC_0}{dt} t' \right| \ll C_0$ 的假設。

$$\begin{aligned} -\frac{dC_0}{dt} \times t' &= 2(C_0 - C_s)(2Dv/\pi rh^2)^{1/2} \frac{r}{2v} \\ &= (C_0 - C_s)(2Dr/\pi vh^2)^{1/2} \end{aligned}$$

后一括号中諸参数可以用下列数值代入： $D = 10^{-4}$ 厘米²/秒^[6]， $r = 7$ 厘米， $h = 7$ 厘米， $v = 10$ 厘米/秒。

这些值都是能使該数值尽可能大的接近极限值。采取这些数值时

$$\left| -\frac{dC_0}{dt} \times t' \right| = 10^{-3}(C_0 - C_s)$$

因此就証明了界面上任一单元，在很长时间内 C_0 保持恒定。

理论与实验的比较 要得到理論速度常数 $2(2Dv/\pi rh^2)^{1/2}$ 的数值，必須知道三个因素，即扩散系数 D 、速度 v 以及熔池大小， r 和 h 。可惜，能和相应的实验值对照的資料一个也沒有。然而在下述事实的基础上，有可能取得一个理論速度常数的数量級估計。即，一定溫度下測得的扩散系数相差不超过 10 倍；以及作者在 100 克到 200 磅的不同感应炉上，根据对浮在熔体面上的顆粒运动速度的观察，在波动不超过一个数量級的情况下，估計速度 v 为 10 厘米/秒。于是对一定的熔池大小，理論速度常数的可能誤差就在 $(10 \times 10)^{1/2} = 10$ 倍以內。不幸，在許多情况下，为

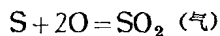
了能够对理論作严格的驗証，这种誤差值太大了。然而在某些特殊的情况下，速度常数的誤差会比該值小一些。

真空蒸发 最近曾发表过鉄液中溶质蒸发方面的資料^[5]，这些資料之間相互有矛盾。例如Olette^[5a]提出下列蒸发速度次序： $Pb > Mn > Cu > Sn$ ，而Gill及其同事^[5b]則得到这样的次序： $Sn, Mn \gg Pb \gg Cu$ 。Olette曾发现，借被蒸发的溶质份数与鉄的份数之比，并能从理論上解释类似的矛盾。这表明：与液相挨着的气相中，蒸发着的溶质分压不等于真空室内的蒸汽压，而同蒸汽—熔体界面上，被蒸发的溶剂的实际压力有关。这样，溶质蒸发的总速度可能是一种串联的速度：即，溶质自熔剂的蒸发速度和溶质穿过气相的迁移速度。这两个速度对熔体—蒸汽表面上的界面层状态都很敏感。这些状态取决于整个界面层的开始状态，在守恒状态下由上述二速度相等时来确定蒸发速度。因此 Olette 的資料不适用于驗証（5）。另一方面，Gill等人的資料，由于他們的裝置——靠近熔池有一个冷凝面——使总蒸发速度中，蒸汽扩散的影响減至最小，因而作为这里的驗証比較合适。但即使在他們的資料中也只有起始的蒸发速度才可作驗証使用。然而，即使在这样的情形下，也还不能获得滿意的对照。Gill 等人作蒸发实验的那些溶质中，唯Mn在Fe中的扩散系数是現成的，而Gill 他們只测定了Mn蒸发速度的最小值。实验的速度常数大于0.35/分，而在Gill的条件下（ $D_{Mn} = 10^{-4}$ 厘米²/秒， $r = 1.5$ 厘米， $h = 2$ 厘米， v 估計为10厘米/秒）〔注2〕，其理論值为0.5/分，达到可相比拟的程度。有意思的是，对于这一过程，与根据Olette的实验条件（ $D_{Mn} = 10^{-4}$ 厘米²/秒， $r = 2.5$ 厘米， $h = 5$ 厘米， v 估計为10厘米/秒）〔注2〕，所得的速度常数理論值0.15/分相比，他的实验值为0.05/分。因而，在預計的一个数量級的波动范围内，发现理論同文献不一致。

确实遺憾的是，关于由扩散过程限制的溶质蒸发，还没有驗証其定量的假說所需要的資料。值得指出的一点：在大規模生产的真空感应炉冶炼中，不知道哪个是限制速度的环节，并且連掛

坩盖使用得不一致也会造成限制速度环节的改变。

脱硫 方程 (5) 应当也直接适用于熔体—蒸汽界面上发生的化学反应。其中之一就是



该反应在铁基熔体中, 由于其同通常能达到的 SO_2 分压成平衡的 %S 值比较高, 所以不能完成。然而在镍基合金中却可以实现。适用的方程式为:

$$\frac{P_{\text{SO}_2}}{(\%S^0)(\%O^0)^2} = K_6 \quad (6)$$

$$\frac{d\%S}{dt} = L_g^s (\%S - \%S^0) \quad (7)$$

$$\frac{d\%O}{dt} = L_g^o (\%O - \%O^0) \quad (8)$$

以及
$$L_g^s (\%S - S^0) = \frac{M_s}{2M_o} L_g^o (\%O - \%O^0) \quad (9)$$

式中
$$L_g^s = 2(2Dv/\pi rh^2)^{1/2} \quad (10)$$

是组分 x 的反应速度常数。

P_{SO_2} 是熔体—蒸汽界面上的 SO_2 分压。

$\%S^0$, $\%O^0$ 是熔体—蒸汽界面上的硫和氧浓度。

M_x 是组分 x 的克原子量。

共有五个变量—— $\%S^0$ 、 $\%O^0$ 、 $\%S$ 、 $\%O$ 、和 t ——以及四个方程式。于是在一定的初始条件下, 就可以得到前四个参变量的时间函数。只要 $\%O$ 超过同坩埚成平衡的浓度, 坩埚—熔体反应对上述动力学过程的影响就可以忽略。加之, 只要 $\%O \gg \%S$, 以及 $(\%S)(\%O)^2 \gg (\%S^0)(\%O^0)^2$, 就有 $\%S^0 \ll \%S$ [注 3]。这种情况下, 脱硫速度由硫的扩散控制, 并由 (7) 式进行计算。实验已由 Metals Division, Kelsey-Hayes 公司的 Huntington 完成, 结果与理论相符。所得资料示于图 2 中。脱硫在氧化镁坩埚中进行。母液是 80%Ni 和 20%Co 的合金。用加入氧化镍的办法来达到所需要的含氧量。如图 2 所示, 实验得出的关系可表示为:

$$\log \frac{\%S}{\%S_{\text{初始}}} = -2.4 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{秒}} \times t$$

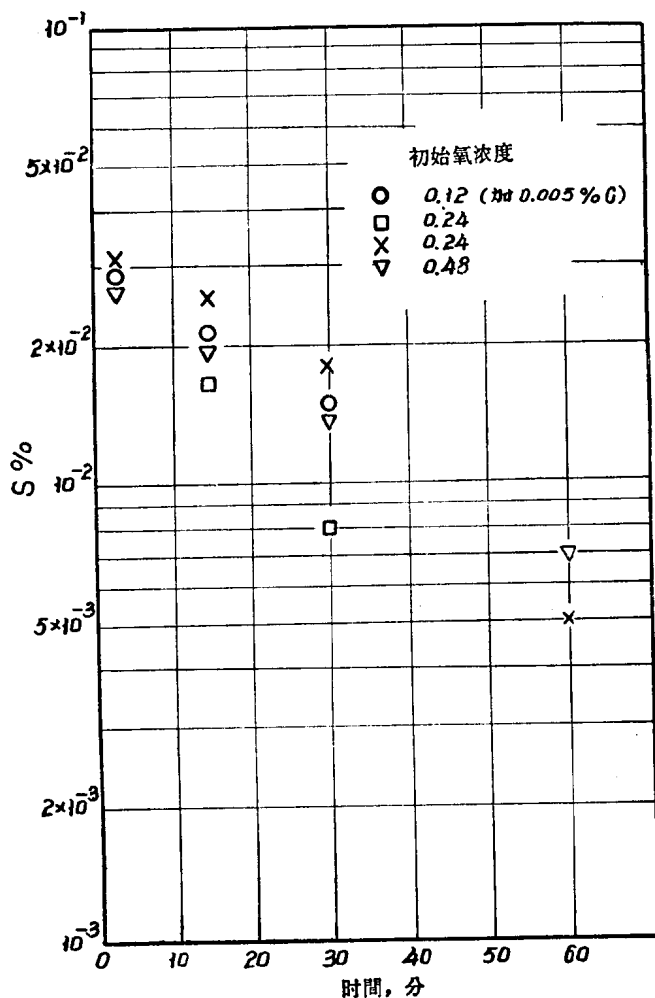


图 2 80%Ni—20%Co合金中的脱硫。温度 1520°C, 6 磅的熔池, 压力为 10^{-6} 大气压, 时间从熔清后算起 (不含氧时脱硫不发生)

现在, 若将条件 $\%S^0 \ll \%S$ 代入方程式 (7), 就可得到关

系式:

$$\log \frac{\% S}{\% \text{ 初始}} = -\frac{1}{2.3} \left(2 \sqrt{\frac{2Dv}{\pi r h^2}} \right) \times t \quad (11)$$

在 $D_s = 3 \times 10^{-6}$ 厘米/秒 [注4], $1 \leq v \leq 10$ 厘米/秒 [注5], $r = 3.2$ 厘米, $h = 10$ 厘米的情况下, 就有 $2.1 \times 10^{-4} \leq \frac{2}{2.3} \sqrt{\frac{2Dv}{\pi r h^2}} \leq 6.7 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{秒}}$ 。将此数值范围同实验值 $2.4 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{秒}}$ 比

较, 实验值在推测值的范围内。因此可以断定, 推荐的假说与实验数据不矛盾。当然, 更高的要求是获得对 [11] 式的更严格的定量性验证, 其中包括获得等式右边各参数的测定值。

脱氧 脱氧反应, $\underline{C} + \underline{O} = \text{CO (气)}$, 也可以在这一节中考虑。然而, 因为大多数坩埚都是耐火氧化物做的, 所以在实验上, 很难单凭碳与氧的化学分析来区分脱氧反应同沾污(坩埚—熔体)反应。因此, 氧化物坩埚内的熔体脱氧问题的处理就得搁到较后一节中去。可以设想, 将来熔体可以在无氧化物的坩埚中脱氧。这种特定条件下, 类似于前面脱硫一节中的处理方法就适用了。值得指出的是, 与脱硫一节中差不多, 在 $\%C \gg \%O$ 的情况下, 刚性流假说认为脱氧速度将由氧的扩散所控制, 反过来也一样(即当 $\%O \gg \%C$ 时, 由碳的扩散所控制——译者)。这两种情形都是一级反应。

假说推测的动力学过程, 不适用于沸腾所完成的脱氧。尽管沸腾在脱氧动力学中是最重要的过程, 但是假说只考虑脱氧的挥发阶段, 因此就应当只适用于无沸腾的脱氧阶段。沸腾阶段的动力学将在下一节中考虑。

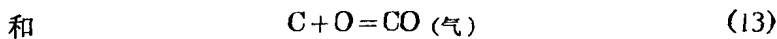
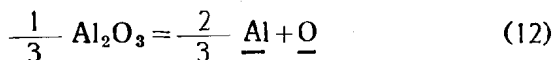
坩埚—熔体反应 (沾污反应) 近代对坩埚—熔体反应的处理, 假定存在着一种静态界面层, 反应物必须借扩散穿过它^[3,4]。静态界面层无疑是存在的。但是对于坩埚壁上熔体的可能流动型式, 要计算或测量其界面层厚度却有困难。甚而即使能够计算出适当的界面层厚度近似值, 也不能肯定过去和现在所用的是真正的

界面层厚度。这是說，过去曾假定，浓度梯度区的有效厚度 ($\sqrt{Dt}$) 等于准层流界面层厚度。当然也可能不相等。

可以注意两种极端情形，假如 ($\sqrt{Dt}$) [注6] 大于界面层厚度，則在那种涡流比連續刚性流直径 ($h/2$) 小很多的情况下，刚性流假說推测的溶质迁移速度就会偏低。如果涡流大小与連續刚性流直径 ($h/2$) 相当，則刚性流假說应当能正确地推测溶质迁移速度。另一方面，若 ($\sqrt{Dt}$) 小于界面层厚度，則刚性流假說推测的溶质迁移速度就会偏高。如将証明的，沾污反应速度偏高的結果是，守恒状态的氧浓度理論值大于实验值，反之亦然。本文是以这样一种可能性为根据的，蒸汽—熔体界面上的精炼反应的定量处理是一种适当的近似。这就意味着，实验結果与“刚性流”假說的推测相比較，可以提供包括实际界面层状况在内的有用报告。

下一节中将看到，实验值的波动可能超出推测的数值范围。由于刚性流假說的方程式比較简单，所以在下面的脱氧問題处理中采用了这种理論。但是作者无意通过这种处理来表示挨着坩埚壁的流体是“刚性”的。正相反，可能是湍流。然而这并不减少对一个简单的定量假說的滿足。这种假說在同实验比較的基础上，将为創造更严格的理論提供參考。作者并不认为实验数据精确，就能証明理論的严密。如将看到的，刚性流假說的定量性推测与实验資料在誤差范围内吻合。总之，可以认为，这种处理比以前的是进了一步，以前假設层流界面层厚度同扩散层（浓度—渗透）的有效厚度近似，并就用这厚度值来说明結果。

脱氧与坩埚反应同时进行 考虑反应：



現在，按刚性流假說，由以下七个方程式来描述反应速度：

$$(\% \text{Al}^*)^{2/3} (\% \text{O}^*) = K_{14} \quad (14)$$

$$\frac{P_{CO}}{(\%C^0)(\%O^0)} = K_{15} \quad (15)$$

$$\frac{d(\%Al)}{dt} = L_{cm}^{Al}(\%Al^* - \%Al) \quad (16)$$

$$\frac{d(\%O)}{dt} = L_{cm}^{O}(\%O^* - \%O) - L_g^O(\%O - \%O^0) \quad (17)$$

$$\frac{D_{Al}^{1/2}}{M_{Al}}(\%Al^* - \%Al) = \frac{2}{3} \frac{D_O^{1/2}}{M_O}(\%O^* - \%O) \quad (18)$$

$$L_g^C(\%C - \%C^0) = - \frac{d(\%C)}{dt} = L_g^C \frac{M_C}{M_O}(\%O - \%O^0) \quad (19)$$

式中
$$L_{cm}^z = 2 \left[\frac{2}{\pi} D_x v \left(\frac{2}{r^2 h} + \frac{1}{r h^2} \right) \right]^{1/2} \quad [\text{注7}]$$

$$L_g^z = 2(2D_x v / \pi r h^2)^{1/2}$$

七个方程式，八个未知数（ $\%Al^*$ 、 $\%O^*$ 、 $\%Al$ 、 $\%O$ 、 $\%C$ 、 $\%C^0$ 、 $\%O^0$ 和 t ），就可以把前七个变数全表示成后一个变数 t 的函数。方程式的精确求解是可以的，但麻烦些。对于含碳较高的熔体，可以作一个把问题大大简化的近似。这时，对高真空来说可以假定 $\%O^0 \ll \%O$ 。这样问题就简化为四个方程，即（14）、（16）、（17）及（18），和五个变数， $\%Al^*$ 、 $\%O^*$ 、 $\%Al$ 、 $\%O$ 和 t 。

解这些方程式可以回答两类问题。一是 $\%Al$ 、 $\%O$ 和 $\%C$ 的变化速度，另一个是这些溶质在浓度随时间变化的过程中，当临近“渐近阶段”的初期时，它们的浓度。“渐近阶段”的意思示于图3。如图所示， $\%O$ 的变化从起初的快速度趋向一个非常小的数值，但不是无限小的速度，并一直维持到 $\%C$ 近于枯竭的时候。当后者发生时，方程式要求 $\%O^0$ 、 $\%O$ 及 $\%Al$ 增加到 $\%O^0 = \%O = \%O^*$ 及 $\%Al = \%Al^*$ ，即趋于平衡。这种现象图解于图4。

在 $\frac{d\%O}{dt} = 0$ 的情况下， $\%O^0 \ll \%O$ 不再成立。然而这种现象只

有在低碳冶炼中才能在一般的脱氧期内达到。高碳熔炼中，一般

脱氧期只在“渐近阶段”初期附近。可以认为“渐近阶段”初期的成分就相当于高碳熔体在真空感应熔炼中能够达到的成分。因而，求出刚性流假说推测的这些组成值是很有意思的。

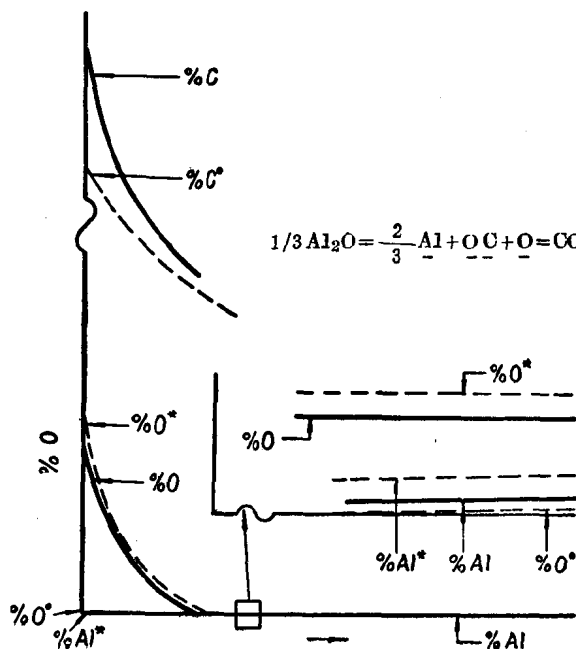


图 3 氧化铝坩埚内，高碳熔体在真空下用碳脱氧的浓度—时间图。内图在放大的坐标上表示，含碳缓慢下降的“渐近”阶段中，%O、%Al与时间的关系

首先要假定“渐近阶段”的脱氧速度可以忽略，即 $\frac{d\%O}{dt} = 0$ 。于是根据(17)以及高真空下高碳熔体的情况 ($\%O^0 \ll \%O$):

$$\%O = \frac{L_{cm}^0}{L_{cm}^0 + L_g^0} \times \%O^* = \left[\frac{(2h+r)^{1/2}}{(2h+r)^{1/2} + r^{1/2}} \right] \text{〔注8〕} \times \%O^* \quad (20)$$

代入(18)，并用(14)换掉其中的 $\%O^*$ ，得一个以 $\%Al^*$ 表示

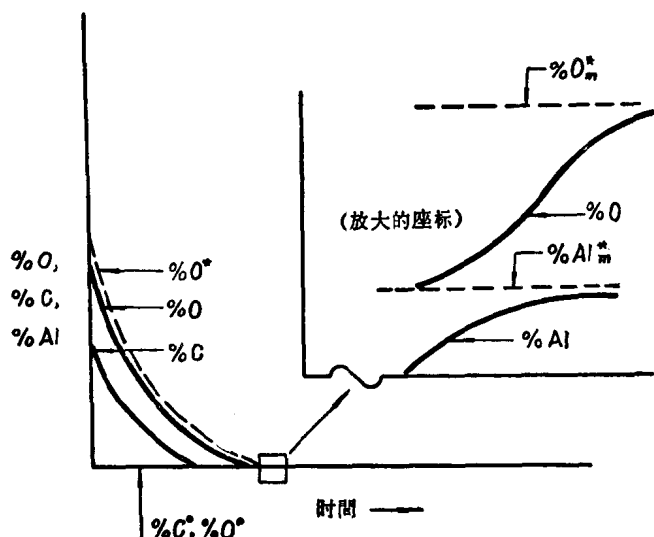


图 4 氧化铝坩埚中低碳熔体在真空下用碳脱氧的浓度—时间图。内图的浓度及时间座标都是放大的

的 %Al 的方程式，即

$$\%Al = \%Al^* \times \frac{P}{(\%Al^*)^{2/3}} \quad (21)$$

式中
$$P = \frac{2}{3} \frac{M_{Al}}{M_O} \frac{D_O^{1/2}}{D_{Al}^{1/2}} \left(\frac{r^{1/2}}{(2h+r)^{1/2} + r^{1/2}} \right) \times K_{14}$$

微分 (21) 得 $\frac{d\%Al}{dt}$ ，将其同 (21) 一起代入 (16) 得 %Al* 和 t 的微分方程。积分，得：

$$-\frac{2}{5} (\%Al_i^{*5/3} - \%Al_i^{*5/3}) + \frac{2}{3} P \ln \frac{\%Al^*}{\%Al_i^*} = L_{cm} P t \quad (22)$$

下标 i 表示 t=0 时的数值。%Al* 的起始值，即 %Al_i* 可由

$$\frac{K_{14}}{\%Al_i^{*2/3}} - \frac{\%Al_i^*}{2 \frac{D_O^{1/2}}{D_{Al}^{1/2}} \frac{M_{Al}}{M_O}} = \%O_i - \frac{\%Al_i}{2 \frac{D_O^{1/2}}{D_{Al}^{1/2}} \frac{M_{Al}}{M_O}} \quad (23)$$

算得。因而 (22) 将 %Al* 确定为时间的函数。于是，%Al 的时

間函数也就由 (21) 确定。同样, %O*被 (14) 以及 %O 被 (20) 确定。对于大多数“渐近阶段”的测量, 总的精炼時間約在1—5 小时。現在可以計算精炼一小时后的浓度。第一步是估計 P 和 $L_{\text{O-Al}}^{\text{Al}}$ 的数值范围。可以认为 D_0/D_{Al} 比 1 大, 但小于测得扩散系数比的最大数值 13 [6]。假定 D_0 在 10^{-4} — 10^{-3} 厘米²/秒之間——即同碳在鉄中的扩散系数同一数量級。最后, 平衡常数 K_{14} , 根据 Gokcen 和 Chipman [7] 的資料, 等于 4.6×10^{-5} 。新近 Fischer 和 Hoffmann [8] 曾对高碳熔体测定过 %O 和 %Al 的时间函数, 其中 $\%O_1 = 1.4 \times 10^{-2}\%$ 、 $\%Al_1 = 7 \times 10^{-3}\%$, 熔池大小为 $r = 4.3$ 厘米, $h = 8.6$ 厘米。根据估計的数值范围以及上述初始条件, 推测精炼一小时后諸浓度会有以下数值 [注 9]:

$$4.4 \times 10^{-4} \leq \%O \leq 6.4 \times 10^{-4}$$

$$1.1 \times 10^{-2} \leq \%Al \leq 1.9 \times 10^{-2}$$

$$6.3 \times 10^{-4} \leq \%O^* \leq 9.3 \times 10^{-4}$$

$$1.1 \times 10^{-2} \leq \%Al^* \leq 2.0 \times 10^{-2}$$

还有, 推测鋁浓度的增加速度为

$$6.6 \times 10^{-3} \%/\text{小时} \leq \frac{d\%Al}{dt} \leq 1.4 \times 10^{-2} \%/\text{小时}$$

Fischer 和 Hoffmann 观察到的实验值为:

$$\%O = 1 \times 10^{-3} \%$$

$$\%Al = 3 \times 10^{-2} \%$$

及

$$\frac{d\%Al}{dt} = 2 \times 10^{-2} \%/\text{小时}.$$

尽管不一定有什么含义, 推测值与观察結果之間的一致还是显著的。在分析推测与观察結果間的偏离以前, 先来討論一下理論的进一步推测。

对于含碳較高的熔体理論預言: 只要其他条件不变, 相当于熔毕后某一定時間的 %O、%Al 和 $\frac{d\%Al}{dt}$ 与含碳量无关。Fischer 和 Hoffmann 观察到, 初始含碳为 0.17%、1.03% 和 2.08% 的三个熔炼, 其浓度如下: