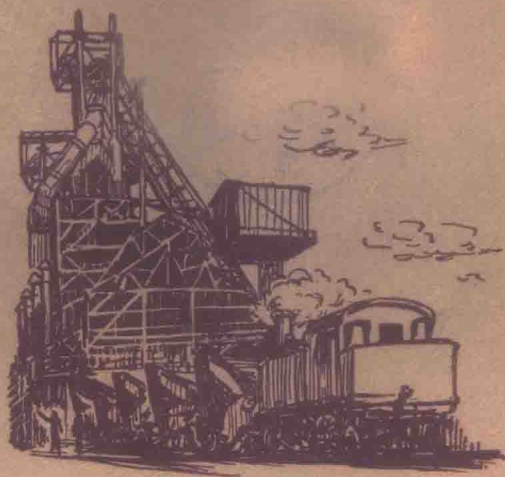


高炉冶炼现象的分析

上 册

A. П. 柳 邦 显

周世偉 等譯



冶金工业出版社

高爐冶煉現象的分析

上 冊

A. П. 柳邦 著

周世倬 等譯

冶金工業出版社

本書系根据苏联冶金出版社(Металлургиздат)出版的А.П.柳邦教授著“高爐冶炼现象的分析”(第一卷)1955年版譯出。

本書从高爐冶炼过程主要现象对于高爐操作的技术经济指标的影响这一观点出发, 闡述了对这些现象研究的結果。研究了冶炼原料的物理状态和化学成份的变化, 其中包括各种物料在高爐內的分解和蒸发, 鉄和其他元素的还原过程。此外, 还引証了高爐的物質平衡和热平衡。

本書可供黑色冶金方面工程技术人员和科学工作者使用。对于深入学习“炼鉄学”这一門課程也是有帮助的。

本書第一卷中譯本分为上下兩冊出版, 参加翻譯上册的有周世偉、秦民生、晏偉和戚以新等同志, 由周世偉担任总校对。

А.П.ЛЮБАН
АНАЛИЗ ЯВЛЕНИЙ ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА
Металлургиздат (Москва—1955)

高爐冶炼现象的分析 (上册)

周世偉 等譯

編輯: 殷保楨 設計: 赵香苓 校对: 杨維琴

1958年 月第一版 1958年12月北京第一次印刷 6,000 册

850×1168 • $1/32$ • 220,000字 • 印张 $8\frac{10}{32}$ • 定价 (10) 1.00 元

中央民族印刷厂印

新华書店发行

書号 0853

冶金工业出版社出版 (地址北京市灯市口甲 45 号)

北京市書刊出版业营业許可証出字第 093 号

目 录

前言	5
第一章 高爐冶炼的任务及其发展的重要阶段	6
1. 高爐冶炼的任务	6
2. 熟鉄吹炼法	6
3. 熟鉄吹炼法的热平衡	17
4. 高爐冶炼主要发展阶段的概述	19
第一章 参考文献	35
第二章 爐料物理状态和化学成分的变化	36
A. 在加热的作用下各种物質的蒸发与分解	36
1. 水份的蒸发和水化物的分解	37
2. 碳酸盐的分解	45
3. 高爐内焦炭挥发份的去除	96
第二章 参考文献 (A 节)	97
B. 还原反应	99
1. 还原反应的实质	99
2. 从鉄的氧化物及其他化合物中还原鉄	107
B. 高爐内的直接还原与間接还原	132
1. 定义	132
2. 鉄的直接还原与間接还原发展的区域	135
3. 鉄的直接还原度与間接还原度指数	138
4. 根据生产的数据計算直接还原度指标的数值	145
5. 直接还原度对高爐冶炼碳素消耗量的影响	153
F. 从矿石中还原鉄的速度	177
1. 氧化鉄物理结构的影响	179
2. 矿石气孔度的影响	180
3. 燒結矿的气孔度和还原性	185
4. 矿石块度和粒度大小的影响	192
5. 矿石中脉石的影响	201
6. 还原气体成分的影响	203
7. 由矽酸盐及各种爐渣中还原鉄	211

8. 由液体爐渣中还原鉄	215
9. 鉄的还原速度随时间的变化及自动接触作用	247
Д. 在还原鉄的过程中一氧化碳的分解	254
1. 关于在沒有接触剂的作用下一氧化碳的分解	255
2. 在还原氧化鉄的过程中一氧化碳的分解	255
3. 在高爐中一氧化碳的分解	257
4. 一氧化碳分解反应对高爐热平衡的影响	260
第二章 参考文献 (B、B、Г、Д 各节)	263

前 言

本書研討了高爐反應中許多基本現象。我們所以分析這些現象，是因為它們對於高爐行程和熱平衡有影響。此外，還必須指出在應用研究現象的理論方面不可避免地只限於從整個高爐冶煉的總的熱平衡的觀點出發，而未能考慮爐內熱能的區域分布和熱量的利用。並從這個觀點出發闡明了下列一些問題：例如鐵的直接還原與間接還原相對的發展程度，熱風的效果，熱平衡與焦比之間的关系等等。

在第二卷內將要討論鐵的滲碳作用、造渣過程，燃料中碳素的燃燒、爐內煤氣和溫度的分布、區域平衡以及其他一些有關高爐反應的理論問題。

在本書中除引用了作者研究的結果和其他的實驗資料外，還利用了B.Г. 曼琴斯基、A. И. 索爾達特金的畢業設計和學位論文中的資料，還引用了A. E. 蘇爾、E. K. 別羅夫、A. H. 加爾德·巴蘭羅夫斯基、B. A. 汪奇可夫、B. A. 希爾特和B. A. 安尼克也夫等人在列寧格勒工學院在作者的指導下所作的畢業設計的資料。作者特此對這些同志的協助表示深切的謝意。

本書評閱者A. П. 高特里普對原稿作了詳細的審查，並提供了很多寶貴的意見；本書校閱人H. И. 克拉薩夫采夫詳細地校閱了原稿，並給予許多寶貴的批評；C. B. 拉波夫斯卡婭協助完成了實驗研究工作；M. Я. 奧斯特羅烏霍夫和H. M. 亞庫布琴涅爾審查了原稿並提出了許多寶貴的意見，作者特此向他們表示深切的感謝。

——作者——

第 一 章

高爐冶煉的任務及其發展的重要階段

1. 高爐冶煉的任務

高爐冶煉是高爐中所發生的許多各種各樣的現象的總和。高爐冶煉的最終目的就是要把原料，即鐵礦和錳礦、燃料（焦炭或木炭）和熔劑裝到高爐里去冶煉，以便獲得冶煉的主要產品——生鐵，即鐵和碳（3.5~4%）的合金；高爐冶煉的其他產品還有爐渣、爐塵和高爐煤氣。

高爐冶煉出來的金屬量的絕大部份——約占全部生鐵的80—85%——是制鋼生鐵。制鋼生鐵可以用各種方法（主要是鹼性平爐煉鋼法）煉制成鋼；占全部冶煉出來生鐵的10~20%是鑄造生鐵，只有2~3%是高爐鐵合金。平爐鐵部分又占全部制鋼生鐵的85~90%。茲將高爐冶煉出來的各種生鐵和鐵合金的成分列于表1中。

長時期以來，生鐵是唯一被利用的高爐冶煉的產品，但是現在其他的冶煉產品愈來愈獲得廣泛應用了。含有大量CO的高爐煤氣已經幾乎完全被利用了。因為在一氧化碳中所含的熱能比裝到高爐內的燃料中的碳素的熱能的一半還要大。燃燒高爐煤氣可以使焦炭中全部碳素的熱能得到完全的利用（損失除外）。

2. 熟鐵吹煉法

在熟鐵吹煉爐內從鐵礦石直接煉出鐵和鋼來的方法是發生在高爐冶煉以及與此有關的將生鐵煉成鐵和鋼的方法以前。熟鐵吹煉法是最先出現的，並且直到十三世紀以前還是唯一的煉鐵方法。人們利用這種方法可以得到合乎需要的鐵和鋼。在十八世紀雖然出現了高爐冶煉並有了一定的發展，但熟鐵吹煉法還是頗為流

行。大家知道，如俄罗斯在十八世紀末叶就有 300 个以上的每昼夜能炼出約 0.1 吨金屬的熟鉄吹炼爐在工作着。

表 1

各种生鉄的化学成份

生鉄种类	各种元素的含量, %				
	C	Si	Mn	P	S
制鋼生鉄					
平爐生鉄.....	3.7—4.3	0.3—1.0	1.5—2.5	0.05—2.0	0.03—0.07
貝氏鉄.....	3.7—4.3	0.8—1.6	0.7—1.0	0.04—0.0	0.03—0.06
托馬斯生鉄.....	3.0—3.5	0.3—0.6	1.2—1.5	1.8—2.2	0.03—0.08
鑄造鉄.....	3.5—4.0	1.5—4.0	0.5—1.0	0.05—0.8	0.02—0.04
特殊生鉄 (高爐鉄合金)					
鉍鉄.....	4—5	0.5—2.0	15—20	至 0.2	0.02—0.03
釷鉄.....	6.5—7.7	0.5—2.0	72—77	// 0.4	0.02—0.03
矽鉄.....	1.7—2.2	10—13	3	// 0.2	0.02—0.04
矽錳合金.....	2—3	9—11	15—25	// 0.2	0.02—0.03

在熟鉄吹炼法存在的数千年以来，用这种方法冶炼出的金屬量大大地扩大了，同时在技术上也改进了。但是在高爐代替它以前，爐內反应的特性基本上仍是沒有改变的。

随着对黑色金屬需要的不断增长，就产生了一种自然的渴望，不仅力求增加爐子的数目，而且也企图靠扩大每个熟鉄吹炼爐的有效容积尽可能地来获得更多的金屬。因此，矮的熟鉄吹炼爐就被比較高的豎爐（旧式高爐）所代替。並且，这些爐子的应用就使得冶炼过程的特性有所改变，因而产生了与过去完全不同的新的冶炼方法，这种冶炼方法称为“高爐冶炼”。

由此可见，从熟鉄吹炼爐炼鉄轉变为用較高的豎爐炼鉄是发生在高爐冶炼以前。自然，高爐冶炼与熟鉄吹炼法有許多共同之点，但同样也有它自己极其特殊的地方。

研究高爐的冶炼过程，最好应从分析两个冶炼过程的特点及

它們的技术經濟效果开始，因为这就使得我們可以更完善地来研究高爐冶炼的基本现象；同时可以使我們更准确地确定使高爐冶炼更經濟的条件。

在許多历史文献中可以找到熟鉄冶炼法的記載。A. A. 巴依可夫利用了 A. A. 加依杜克 (1911 年) 和 Ф. П. 斯拉文斯基 (1928 年) 的著作 (在这些著作中研究了本世紀在亞庫齐还存在的熟鉄吹炼过程)，並且更詳尽地分析了熟鉄吹炼过程。A. A. 巴依可夫用新的材料补充了 A. A. 加依杜克和 Ф. П. 斯拉文斯基所写的文献，这些新的材料系根据从熟鉄吹炼生产区域运到的鉄矿石、爐渣、金屬及其制品的化学和金相方面研究的結果。

图 1 系概略的表示上面所提到的亞庫齐的一个熟鉄吹炼爐的构造。預先将鉄矿石在火堆上焙烧好並破碎成为粉末，然后放到这些預先加热的爐子的工作空間內使之与上升的煤气流 (即木炭在空气中燃烧的产物，空气是由风箱送到爐內的) 作用約 2 ~ 3 小时。

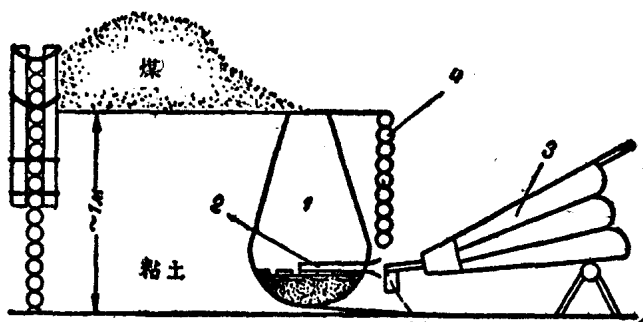
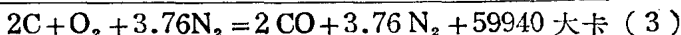
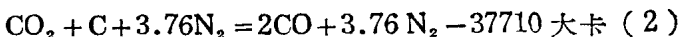
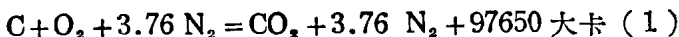


图 1 亞庫齐熟鉄吹炼爐的构造略图

1—爐子工作空間； 2—鼓风管； 3—风箱； 4—木架

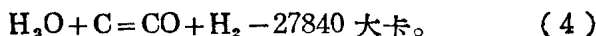
熟鉄吹炼爐工作空間內各个部分的溫度就决定着这种作用的结果。

假定在熟鉄吹炼爐的风口前只有一氧化碳是碳素燃烧的产物，也就是說爐內的燃烧反应按下式进行：



則可以十分准确地測定出煤气——木炭与不預热的空气燃烧而生成的产物——的最高温度^① (t_r)。

这样,可以得到由 34.7% 的 CO (1 个体积的氧生成二个体积的一氧化碳) 和 65.3% 的 N_2 所組成的气体混合物 (按容积計算)。但由于大气中經常含有一些水分,那末在燃烧带所生成的煤气应该还含有少量的氢和比較稍微多些的一氧化碳,因为风中的水份在燃烧带的末端与赤热的木炭按下列反应起作用:



这时煤气的最高温度可以按下列公式求出

$$t_r = \frac{\Sigma Q}{V_1 c_1 + V_2 c_2 + V_3 c_3} \quad (5)$$

式中, ΣQ 等于按照 (3) 和 (4) 式的反应,每单位重量的木炭中的碳素燃烧成一氧化碳以及碳素与风中适当量的水分作用的热效应的代数和。

V_1, V_2 及 V_3 ——同一单位重量碳素的燃烧产物中所含 N_2 、CO 和 H_2 的体积。

c_1, c_2 及 c_3 ——当煤气从 $0^\circ C$ 升到所求的温度时, 这些气体的平均体积热容量。

以各种不同 t_r 的数值代入公式 (5) 所做的計算指出: 燃烧产物 (煤气) 的最高温度应该是 $1400^\circ C$ 左右。自然, 燃烧产物实际温度稍微低一些, 因为部份的热量传给在燃烧带内的物质, 部份的热量传给爐墙了。当然不免还有部份的热量散到周围的空間, 所以煤气最高温度与实际温度之差约为 $100 \sim 150^\circ C$ ^②。这个

① 这就是指在燃烧反应所放出的全部热量完全被煤气吸收而无任何损失时的煤气温度。

② 根据 A. A. 巴依可夫的意见, 木炭燃烧成一氧化碳的理论燃烧温度是 $1432^\circ C$, 而在燃烧带的实际温度平均为 $1300 \sim 1350^\circ C$ 。

差的大小决定于爐子的大小和爐子的构造。在計算最高燃烧温度的时候，可以假設一氧化碳是熟鉄吹炼爐唯一的碳素燃烧的产物。但是随着燃料层的厚度、燃料的性质、燃料带的温度不同，以及随着包括上述在内的其他一些决定燃烧速度的因素不同，所以当固体燃料的碳素燃烧时，不仅生成一氧化碳而且也能生成二氧化碳和这两种气体的混合物。

实际上只有当燃料层很薄的情况下，爐内固体燃料中的碳才能在燃烧过程中完全变成二氧化碳气体。但是甚至在最原始的熟鉄吹炼爐内就已经进行了鉄的还原过程的这种事实表明，在这种爐子里面燃烧层已经足够厚了，以致按反应(1)所得到的二氧化碳

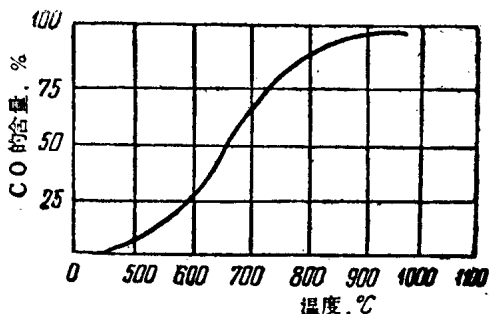


图 2 在一个大气压及各种温度下， $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2\text{CO}$ 的反应平衡成份中 CO 的含量

与碳作用而生成足以还原鉄的足够量的一氧化碳（见第二章 121—123 頁）。

正如在有限时间内所进行的任何化学反应的结果一样（在这种情况下气体反应的时间是有限的，因为

为气体不断地从爐内排出来）二氧化碳是否能完全变为一氧化碳，都是决定于在反应进行的具体条件下反应的平衡常数和建立平衡的速度。下面我们将要比较详细的来研究在各种不同的条件下，二氧化碳和碳素反应的平衡条件和速度。在这里限于在图 2 上的引证，我们仅仅指出：在熟鉄吹炼爐燃烧区域的温度（1300—1400°C）下，实际上只有在二氧化碳完全变为一氧化碳时才能达到反应（2）的平衡状态。

二氧化碳与木碳（多孔的物质）中的碳素起反应是在 1200—1400°C 时进行得最为强烈。同时，可以假定在熟鉄吹炼爐内一氧化碳是唯一的碳素燃烧产物。这种假定并不会引起很大的误差。但是，如果在煤气中仍有少量的二氧化碳气体（二氧化碳始終还是

不可避免的)，那末燃烧产物的温度要比按反应式(3)和(4)算出来的稍微高一些。

同样应当指出按照(5)式计算的煤气(即熟铁吹炼炉内碳素燃烧的产物)温度好像是它的平均温度。实际上，煤气在燃烧带的各个点上的温度是不一样的——而在所谓燃烧焦点上温度最高。

因为亚库齐的熟铁吹炼炉的高度不大——全高为1—1.5公尺，而炉料中的矿石又比较少；此外，矿石还事先经过焙烧，所以通过熟铁吹炼炉工作空间的煤气并不会变得很冷。在第一批高炉出现以前旧式高炉(即熟铁吹炼炉)的高度就已达到4公尺，但在这种炉子内也可得到与固体海绵铁混在一起的生铁。

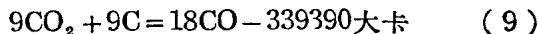
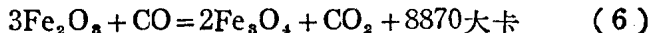
装入熟铁吹炼炉喉的铁矿石在煤气的作用下迅速下降。煤气温度大约在1000°C以上，换句话说，在熟铁吹炼炉内是没有中温区的，或者是发展得很小的(在这个中温区内，铁矿石可以在200—1000°C的温度范围内进行长期的还原)。在高炉内由于它的高度高，所以铁在比较低的温度下进行还原的容积很大。

所以熟铁吹炼法与高炉冶炼本质上的区别，主要是在于熟铁吹炼炉内没有中温区。

正如实验室的观察指出：铁的氧化物被一氧化碳和固体碳还原大致是按下列步骤进行的：



在熟铁吹炼炉内，还原反应可用下列反应式来表示：



由于在铁的还原区域内温度很高，二氧化碳气体(即铁的氧化物还原的产物)按(9)式变成一氧化碳是可能的。但是，显然只有在不高的熟铁吹炼炉内才能使按照(6) — (8)式反应所

生成的二氧化碳完全变成一氧化碳。

铁的氧化物在 200°C 的温度下就开始还原了，随着温度的升高，还原反应加速的进行。当温度在 1000°C 以下时，甚至部份矿石的粒度很大（正如高炉冶炼实际情况一样），大部份矿石经过几小时后也都可以还原出来。矿石磨成粉末还原时，所需的时间就大大减少了。但由于在熟铁吹炼炉内几乎完全没有中温区，所以氧化铁的还原主要是在温度约 1000°C 以上时进行的。当温度为 $1100-1200^{\circ}\text{C}$ 时，在还原过程所生成的一氧化碳能够很强烈地与矿山中脉石的二氧化矽结合起来，而形成矽酸铁 Fe_2SiO_4 和含铁的爐渣。

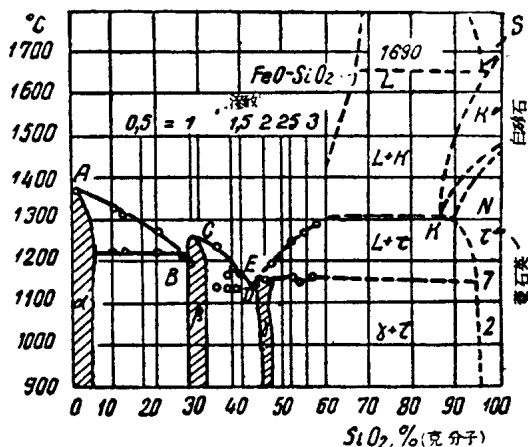
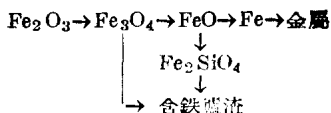


图 3 Б.П.謝里万諾夫和格萊依格（右側）关于 $\text{FeO}-\text{SiO}_2$ 系統的熔化性图解

正如 $\text{FeO}-\text{SiO}_2$ 系統熔化图解（图 3）所指出的，矽酸铁与 SiO_2 在一起大約在 1100°C 时就已经熔化了。矽酸铁如与脉石中若干其他的氧化物以及氧化镁、一氧化锰、五氧化二磷等混合在一起，則生成含铁爐渣的温度还要低。对含铁爐渣粘度的研究指出，这样的爐渣当温度约为 1200°C 时已经有足够的流动性了 [3、4]。

因而，可以概略地用下列形式来表示在熟铁吹炼炉内还原气

流对矿石中鉄的氧化物作用的结果：



熟鉄吹炼法的爐渣含鉄量是很多的，因为从爐渣中还原一氧化鉄，正如在高爐冶炼条件下还原任何溶解于爐渣中的並且可能还原出来的氧化物一样，只能进行到渣中含有一定的剩余浓度时为止。如爐渣的温度愈低，則剩余浓度也愈大。而熟鉄吹炼爐的爐渣温度只比它的熔化温度稍微高一点，因为从渣中还原鉄时大大地降低了爐渣的温度。在这样的爐渣内含氧化鉄的浓度当然是很高的。实际上，A. A. 巴依可夫所研究的熟鉄吹炼法的爐渣試样中含有 48.5% FeO；14.82% Fe₂O₃；23.01% SiO₂；2.67% Al₂O₃；3.48% MnO；2.84% CaO；0.87% P₂O₅ 以及 3.78% 的挥发物、碱性物质等。由此可见，在爐渣中不仅有大量的一氧化鉄，而且也有很多的磁性氧化鉄（四氧化三鉄），可能还有三氧化二鉄。应该注意的是用化学分析方法只能确定出一个总的三价鉄（或是自由状态的或是四氧化三鉄中的三氧化二鉄）。

实际上，在熟鉄吹炼的爐渣内所有鉄的氧化物都有它一定的浓度，不过每一种氧化鉄的浓度是不同的，而且各种氧化鉄的浓度是适合于它們两分解压力的平衡的。其实在鉄——氧系統平衡的条件下，凡是在这里能够形成的氧化物都轉变成成为液体的熔融物了。这些氧化物应当同时存在于这一熔融物中，只不过这些氧化物的分解压力愈大，則它們的浓度就愈小。不可能冶炼不含三价鉄或金属鉄的人造矽酸鉄就是由于这个緣故。

在高爐内，从爐喉到温度 1000—1100°C 的区域内，矿石长期的受到还原气流的作用，所以大部份鉄都是从固体状态中还原出来的。所以在高爐冶炼的过程中氧化鉄不仅进到末渣的很少，就是在含鉄較多的初渣中也是不多的。加之熔化的高爐渣比熔化的熟鉄吹炼爐渣的温度要高，因此熔化的爐渣向下流到温度較高的区域时，它已經加热到 1400—1500°C 了。所以在正常的情况下，高

爐冶煉出來的末渣中約含 0.5—1% 的 FeO ，而損失于渣中的鐵只占全部的 0.2—1.0%。爐渣中氧化鐵的含量既然減少了，就需要把碱性的熔劑加到爐料里才能使礦石中的脈石變成液体爐渣，因為礦石中的脈石多半是由二氧化矽與或多或少的三氧化二鋁組成的。石灰——石灰石分解的產物代替了渣中的一氧化鐵，並可促進鐵的完全還原。

熟鐵吹煉法的最重要的特點就是造成含氧化鐵多的爐渣。爐渣成份也決定着金屬（即熟鐵吹煉法的產品）的成份。矽、錳和磷等元素要從這樣的爐渣中還原並進入金屬是不可能的，而這些元素在生鐵（高爐冶煉的產品）內常具有各種不同的含量。因為熟鐵吹煉爐渣中氧化鐵的濃度很高，可以氧化這些元素，所以凡是比鐵難還原的元素都不能還原。雖然在溫度約 900°C 時，更正確地說，在高于 α -鐵變成 γ -鐵的溫度時，金屬受固体碳特別是一氧化碳的滲碳作用是以高速度進行的，但根據同樣的理由，熟鐵不可能熔解大量的碳。當滲碳的金屬與含鐵的液体渣相接觸時，碳就按 $\text{FeO}_x + \text{C}_{\text{金}} = \text{Fe}_{\text{金}} + \text{CO}$ 的反應而發生強烈的氧化作用。根據爐缸中的溫度和爐渣中氧化鐵的濃度的不同，熟鐵含碳量的範圍從痕跡到 1%。這種幾乎不含雜質的熟鐵（僅含有少許的硫）^①，它的熔化溫度為 $1400—1500^{\circ}\text{C}$ （根據含碳量多少而定）；也就是說比熟鐵吹煉爐最高的溫度還要高；所以得到的鐵是成固体海綿狀——熟鐵塊。含鐵少的高爐渣可以使錳、矽、磷還原出來而進入生鐵，並且使生鐵在含有規定量的其他雜質的情況下含有最大量的碳。所以在高爐內，含有這些元素的生鐵就能在低于熟鐵熔點的溫度下熔化，並且在爐缸以上很遠的區域內，就可獲得液体生鐵了。

為着從熟鐵吹煉爐內將聚集的金屬扒出來，必須停止生產，俟金屬扒出來以後，爐子又重新加熱，此後又重復整個冶煉的週期。因此，獲得含碳少的並且沒有雜質的固体金屬是與生產的間

① 在熟鐵吹煉時大部份硫都進入金屬中了。應用含硫低的爐料（木炭及蘊藏在靠近地壳表面的含硫低的礦石）以及焙燒過的礦石可以防止硫進入爐內。

断性有关連的。这是它的主要缺点，熟鉄吹炼法除爐子容积小以外，上述缺点就預定了它的生产能力不高和燃料消耗量多。

随着熟鉄吹炼爐高度的增加，其上部的溫度也在降低。由于爐喉及爐子上部溫度降低的結果，在成渣綫以前的中溫区域内被还原出来的鉄增多了，因之初渣中氧化鉄的浓度降低了；这就使得爐渣和熟鉄吹炼爐下部的溫度升高。由于爐渣中一氧化鉄的浓度大量降低，这就必須將附加剂——熔剂加入爐料中去，以便得到液体爐渣；于是开始采用石灰石作熔剂。这样石灰就代替了初渣和末渣中的一氧化鉄。

随着爐渣溫度的升高，末渣中残余的氧化鉄量也降低了。随着爐渣中氧化鉄浓度的降低和爐子下部溫度的升高，就創造了較优越的条件以便金屬渗碳和还原比鉄更难还原的元素，如矽和錳等（在高爐爐料中，有上述元素的氧化物存在）。这样，随着熟鉄吹炼爐的能力和高度的加大，含碳的金屬因而也就是液体金屬的量增强了。最后，終于得到一种液体金屬——生鉄。按照含碳量來說，这种生鉄近于鉄碳共溶体的成分（4.3% C）。根据爐缸加热的程度，可以得到利于鑄造各种不同鑄件的灰口生鉄，或者得到一种白口生鉄，这是一种很脆的生鉄，因此不利于制造鑄件。

人們轉入到生鉄的冶炼是意味着放棄了直接炼鉄和炼鋼的方法；而这一点也只有在人們研究出把生鉄中所含的碳素及其他杂质加以氧化並炼成鉄和鋼以后才能完全实现。

因而，熟鉄吹炼爐第三个主要的特征是高度不能增加（受到它本身条件的限制），这就意味着不能增加熟鉄吹炼爐的能力，因为增加这个高度就不可避免地引起用高爐来代替熟鉄吹炼法。

熟鉄吹炼法不仅产量低，而且在鉄矿石的利用方面，特别是木炭中碳素的利用方面都是不經濟的。例如，根据 A.A. 巴依可夫在研究熟鉄吹炼法时所做的物質平衡的資料来看，矿石中的鉄有三分之一以上是残留在爐渣里，只有三分之二成为海綿鉄。

作为热源的碳素利用效率，决定于在燃烧过程中碳素放出的热能是否完全，即是否完全燃烧成为二氧化碳，以及燃烧所放出

来的热能利用得是否完善。因此在高爐中碳素的利用效率就是用热能利用系数和爐內热量的利用系数来表示。

碳素的热能利用系数等于碳素在燃烧反应时实际放出的热量与碳素完全氧化成二氧化碳时所放出热量的比；而高爐热量利用系数則等于高爐有效利用的热量与在爐內全部放出来的热量之比^①。

假設在熟鉄吹炼过程中，燃料中碳素最后完全被氧化成为一氧化碳，那末碳素热能的利用系数該等于碳素燃烧成一氧化碳的热效应与燃烧成二氧化碳的热效应之比。

即

$$K_c = \frac{29970}{97650} \times 100 = 30.7\%。$$

在高爐內碳素同样在风口前燃烧，最后变成一氧化碳。然后部份一氧化碳在爐身里靠还原作用被氧化成二氧化碳。所以对高爐冶炼來說，碳素热能的利用系数應該是：

$$K_c = \frac{29970 m + 97650 n}{97650}，$$

式中 m ——氧化成为一氧化碳的碳素的分数；

n ——氧化成为二氧化碳的碳素的分数。

高爐內通常含有 10—12% 的 CO_2 和 27—29% 的 CO （这里包括一部份碳酸盐以及由焦炭揮发份分解出来的少量的二氧化碳和一氧化碳）。因而可以假設 m 值等于 $\frac{3}{4}$ 而 n 值等于 $\frac{1}{4}$ 来确定 K_c 的近似值，那末

$$K_c = \frac{\frac{3}{4} \times 29970 + \frac{1}{4} \times 97650}{97650} \approx 48\%。$$

实际上在各种不同的情况下，高爐內碳素热能的利用系数是 45—50%。

与熟鉄吹炼时代不同，现在在各种不同的加热装置中燃烧高

① 通常这个利用系数称为高爐热量有效利用系数，但是按照这个概念的含义最好叫做「热量利用系数」。