



冶金工业出版社

国外冶金

第一輯

上海市科学技术編譯館

PDG

76.08
248
1:3

內 容 簡 介

《国外冶金》选译自国外近期期刊和部分专著，将陆续出版四辑，本辑为第一辑。本辑内容包括冶炼和浇注的新方法，如离子电弧炉法、OLP法、电子束法、合成渣炼铜法、半连续浇注法、真空处理法；钢种的介绍和研究，如奥氏体-马氏体型不锈钢、铁-镍-铬基热强合金的探索和研究、复相组织的铬锰耐腐蚀钢；铸件性能的评述，如高锰钢铸件的耐磨性、残余元素对碳钢铸件的磁性效应；有色金属的分离和萃取。内容还包括超声波在冶金中的应用、钢坯无氧化加热、重型锻件的锻压工艺及其对成品质量的影响和某些穿孔参数对产生折迭的影响等等。《国外冶金》对于冶金和机械工业生产部门的工程技术人员、技师、工人以及和生产有较密切联系的教学、设计、研究、检测部门的冶金工作者都有参考价值。

(12/557/30)

2/10



目 录

1. 等离子电弧炉—熔炼金属的新方法.....	1
2. OLP 法的技术和冶金	6
3. 鋼的 D-H 真空处理法	12
4. 用电子射綫(束)冶炼金属	16
5. 德国人建議的半連續鑄錠法	35
6. 用合成渣混炼滾珠軸承鋼	40
7. 某些穿孔参数对产生折迭的影响	43
8. 重型鍛件的鍛压工艺及其对成品质量的影响	46
9. 鋼环在火焰炉中的无氧化加热	56
10. 奥氏体-馬氏体型的不銹鋼.....	59
11. 鉄-鎳-鉻基热强合金的探索与研究	65
12. 复相組織的鉻錳耐腐蝕鋼	87
13. 不銹鋼座談会上宣讀的报告.....	104
14. 高錳鋼鑄件的耐磨性.....	107
15. 殘余元素对碳鋼鑄件的磁性效应.....	109
16. 稀土元素的半导体化合物.....	118
17. 四氯化鈦和四氯化鉛的分离.....	122
18. 混和沉降塔中鈦和鉛的萃取.....	125
19. 高强度鑄鉄的超声波探伤法.....	128



1. 等离子电弧炉—熔炼金属的新方法

R. J. McCullough

提 要

等离子电弧熔炼是利用非自耗电极射出高度稳定的直流电弧来熔炼和加工金属及合金。其能量传递率及电弧热量的作用点完全控制在操纵者手中。由于等离子电弧是在氩气气氛下工作，所以能获得一个清洁而毫无污染的热源，从而精确地控制金属熔池的化学反应。

从 AISI 4340, A-286, René 41 及 17-4 PH 合金的试验指出，等离子电弧熔炼所得金属有很好的质量，其机械性能与真空熔炼的相等。

等离子电弧熔炼利用了稳定而可以控制方向的直流电弧：这种电弧，在惰性气氛中工作时，是一个清洁而不污染的热源。

等离子电弧炉炉床的设计与一般的石墨电极炉相似，并使用了同样的耐火材料。等离子电弧炉的炉料通过炉底内壁相平的水冷底部电极与外面接电。为了防止金属熔池上气氛的污染，炉顶与炉墙用迷宫式砂套密封。当炉子在熔炼时，出钢口用不透气的盖盖好，炉顶中心的等离子电弧炬用环形圈密封（见图 1）。

为了保证熔池的化学反应和温度的均匀性及加速熔化，炉子上装有与底部电极直接联接的二组搅

拌线圈，这两组线圈的磁场与等离子流的磁场相互作用而使金属熔池受到轻度搅拌。这两组线圈依靠电弧的直流电工作，因此不需任何辅助控制设备。

为这个熔炼方法而设计的等离子电弧炬（图 2）是用流过水冷式非自耗合金电极的惰性气体氩气来稳定电弧的；用水冷铜喷管来防止这个电极受到熔融金属的飞溅，这种装置既简单又结实，曾使用了 100 余小时未经修理，用来稳定电弧的氩气流同时也是保持炉气的惰性气氛。废气从炉顶上的砂封逸出炉外。

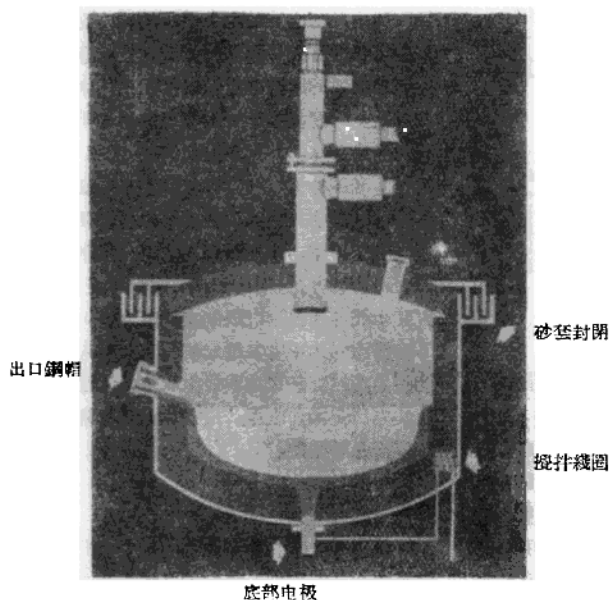


图 1 等离子电弧炉

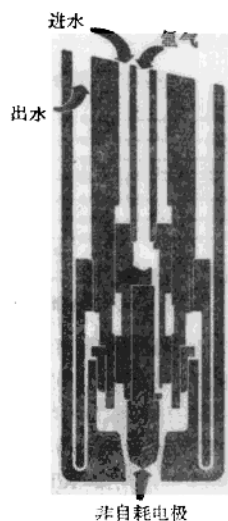


图 2 水冷等离子电弧炬

电气特性

所生成的电弧是直流电弧。钨电极作为负极，金属熔池作为正极。这种电路的极性也就是焊接上的直流正极性。电路是通过与熔池相接触而贯穿炉底的水冷式底部电极而与外面接通。这个底部电极曾使用了 500 小时不需检修，显然没有可见的熔融。

等离子电弧，从物理性能来说是矢直的，即它在电极端及炉料间以直线方向运动。为了说明方向的可控制性，曾以等离子电弧与垂直线成 60° 角的方向工作。事实上，25 磅容量的精密浇注炉就曾设计成能绕熔池的轴旋转，这样在熔炼时电弧是垂直于熔池面而当炉子在浇注时电弧就与熔池面成 45° 角。

这种电弧具有固有的电气稳定性。其稳定度可从操作时的电流及电压的图形(图 3) 很明显地观察到。电流与预定值的最大偏差为 $\pm 2\%$ ，并可观察到有轻微的周期性电压变化，经示波仪检查指出这种变化约每秒钟出现 360 次。所用的整流器由硒电池及三相桥路所组成，这种桥路不可能使输入的交流电完全整流，因此形成检验所指出的波纹。曾熔炼了 100 多炉，未发生过一次短路，也没有使设备遭受损坏的大电流冲击。

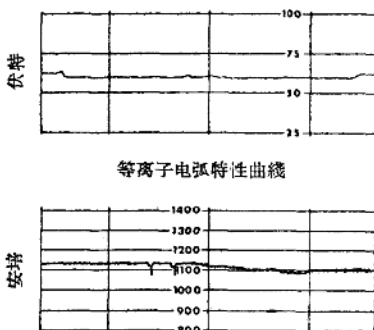


图 3 电弧稳定性—等离子电弧操作中
电流与电压的图形

等离子电弧炉所能达到的电气稳定度，最好以空气石墨电极炉相比较来说明。图 4 的曲线 1 及 2 表示一座三相石墨电极炉在熔清后最初 5 分钟的典型电压电流图形。电流在 20,000 及 60,000 安培间变化与平均值 40,000 安培偏差达 50%。曲线 3 及 4 是从同样的炉子取得的电压电流图形，但用的是空心电极。这里，电弧稳定度提高了，熔炼速度增加了，断路的次数也减少了。图 4 的这些曲线如与图

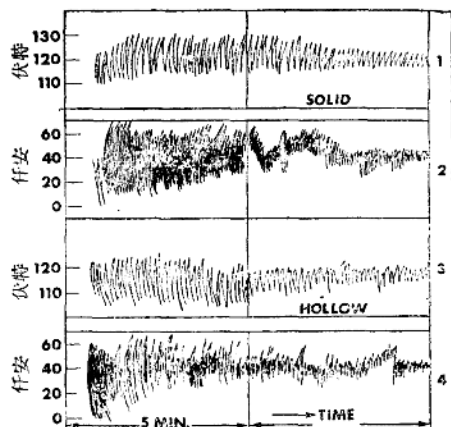


图 4 石墨电极的电弧特性^[2]

(图注: SOLID——实心。HOLLOW——空心。

MIN.——分。 TIME——时间。)

3 的 300 磅容量的等离子电弧炉上所记录的曲线相比较，还差得很。

等离子电弧的电流及电压变化微弱，是由于双原子气体如氮及一氧化碳中单位电弧长度的电压比惰性气体如氩气中的电压高得多，因此，空气中工作的电弧长度若有微小变化就会造成大的电压变化。在惰性气体中如有同样的电弧长度则变化时仅造成微小的电压变化，所以炉料的突然倒坍在惰性气体中并不会形成电弧电压的剧烈变化。惰性气体中电弧具有较小的电压梯度，这就意味着要达到空气中电弧的同样电压，则惰性气体中的电弧必须长一些，一般在 1 吨等离子电弧炉中电弧长度约 3 英尺而在 300 磅等离子电弧炉中电弧长度约 6 英尺。等离子电弧炬的喷口可以装在炉顶附近并在整个熔炼过程中一直保持在这个位置，使炉料的倒坍不会引起短路，也不会损坏喷炬。控制电流只要调节变压器的电抗，用这种调节法就可变更输入功率，因此无需自动控制来限制或调节电弧电流。

惰性气体中电弧稳定的优点是输入能量的功率能精确地控制并保持在最高水平，无需担忧快速度变换电压会损伤电源。任何输入功率都能轻易地调节并能随时控制。

熔 炼

等离子电弧在炉料中钻成一个小孔，使熔融材料聚集在孔的底部，稳定的电弧沿着它的长度用辐射能熔化炉料而不是用电弧直接与炉料接触来熔化

炉料。孔底的正极点使小部分熔池过热，然后以传导方式加热未熔化的炉料。电弧辐射传递的热量小于正极点所传递的热量，所以熔化从底部迅速向上，这种倒向熔化是有利的，因为熔池上所辐射的能量能为炉料所吸收，使熔化加速，并在加热初期中防止耐火材料显露在电弧中。

这种等离子电弧炬与石墨电极操作不同，不需沿着钻孔向下移动而是保持不动的，这样就避免了大块炉料倒塌而造成电极损坏，免除了炉料与电极接触而造成短路，当然也免除了碳的吸收。

为了维持电路，电弧必须与炉料或熔融材料相接触，这些材料再与底部电极相接触，显露的炉底不会被电弧损伤，因为炉底的显露就是电路的中断。

不稳定电弧及其磁场在熔炼中途及熔化后相互作用所形成的电弧辉光也没有了，这就免除了一般电炉操作中所经常碰到的耐火材料的局部熔蚀。

气 氛

为了得到高质量产品，必须在熔池上面保持惰性气氛，所用的氩气是一种不需再用辅助纯化设备处理的标准产品，它的平均水份为每1,000立方英尺不超过2噐(NPT)，氧气含量少于百万分之五，而最高的杂质总量也不超过百万分之二十。

熔池上炉气的成份与炉子情况有关，当新炉衬时，一氧化碳的数值比以后炉次的值高得多；这种情况是预料得到的，因为在炼最初几炉时从耐火材料中所放出的大量水气，会与金属反应形成金属氧化物，这些氧化物再为熔池中的碳所还原而形成一氧化碳，最后在废气中被检验出来。

熔炼 AISI 4340 钢的炉气成份列于图 5 中。炉气中的含氮量是漏入空气中的氮及熔池放出的氮之和。氧气并未检查到，因为它与熔池中的金属化合，随后又被熔池中的碳还原成一氧化碳而放出。所检

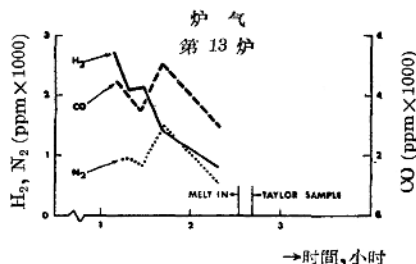


图 5 等离子电弧炉熔炼 AISI 4340 钢时的炉气成份
(图注: MELT IN——熔化。
TAYLOR SAMPLE——试样。)

查到的一氧化碳是由炉料中所溶解的氧，金属氧化物及耐火材料为熔池中的碳所还原而形成的。

从图 5 可看出废气中的氮及一氧化碳虽然增加得很快，但这样增加的氮只有百万分之五百，一氧化碳只有百万分之一千。经过数次熔炼的观察，发现炉气中杂质的增加是由于大量固体炉料跌入熔池中所引起的，从其他间接证据指出，炉气成份的变化可能是由于炉料中放出溶解的氮，表面氧化物的还原及溶解氧与熔池中碳的化合。

金属熔池上面炉气中一氧化碳的分压极低，足以使碳成为一个有效的脱氧剂。AISI 4340 的试验数据(图 6 及 7)指出，铸锭中的溶解氧含量及氮含量与真空熔炼的或真空处理过的含量一样。还应着重指出这样低的氧含量是并未使用金属的最终脱氧剂(如铝)。

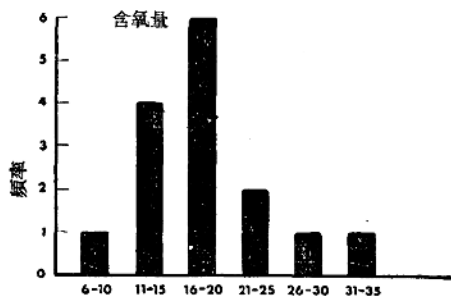


图 6 等离子电弧炉熔炼的 AISI 4340 钢锭中的溶解氧 (ppm)

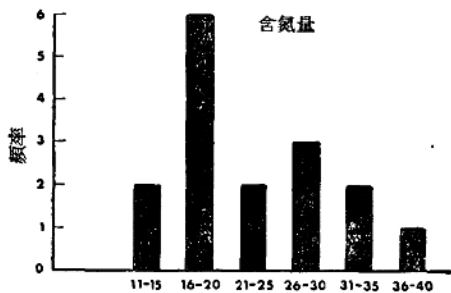


图 7 等离子电弧炉熔炼的 AISI 4340 钢锭中的溶解氮 (ppm)

以氩气气泡吹洗和等离子电弧炉熔炼所制成的 AISI 4340 钢锭的含氮量和含氧量的比较见图 8。E. C. Nelson 的氩气气泡吹洗法数据是对纯 Fe-C 合金而言的，但由于 4340 钢中少量合金元素的总效应，在考虑碳氧平衡时并无影响，所以可以标绘在一起。纯铁在 1,600°C 的碳-氧平衡系数一般采用

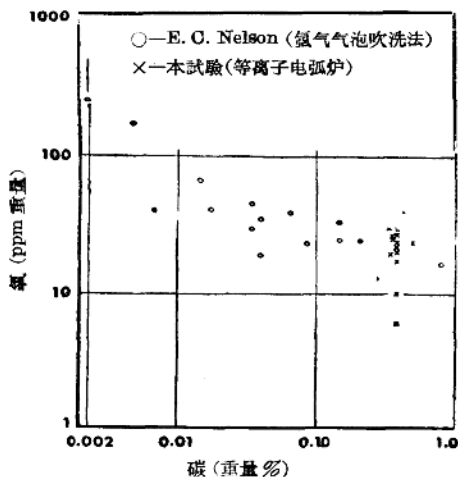


图 8 AISI 4340 鋼氮氧含量比較

490, 而用 AISI 4340 所发表的相互作用系数的計算数值約在 451~494 間, 且随熔炼成份而变化。

Nelson 的数值是在有盖的感应炉中将氩气通入熔池, 并在熔池上保持氩气气氛的条件下得到的。在等离子电弧炉中, 氩气并不通入熔池而在熔池上用維持低的一氧化碳及氮的分压来获得低的氧含量及低的氮含量的。用真空处理也得到同样的效果。这說明反应速率及平衡的控制因素是考虑气体的分压而不是系统中的总压力。

等离子电弧炉炉气与清洁金属熔池所起的反应是密切地按照 Seivert 定律(这个定律的簡要意义是金属所吸收的双原子气体与金属熔池上該气体分压的平方根成正比), 可以从已发表的平衡值及相互作用系数来計算。但計算值与測得值的一致性預計是不可能的, 因为金属試样中的偏析及分析誤差均会引起誤差。但計算的含氮量与溶解含氮量的一致性促进了一系列的試驗, 在这些試驗中, 氮是有意加入到熔池中去: (1) 一开始即添加含 5% 高氮的鉻

溶解含氮量

单位: 百万分之一

	原 料	熔 清	最 終
試驗 I	230*	—	35~54
試驗 II	30	200**	92***
試驗 III	30	190	120***

* 开始即加高氮鉻鉄所得的含氮量

** 熔化后, 加高氮鉻鉄(改良的 Taylor 样)

*** 在 55 分钟脱气期的終了时

鉄; (2) 后来加高氮鉻鉄; (3) 用高压气体筒向炉气中加氮气。試驗結果如上表。

結果清楚地指出从熔池表面逸出的氮試图与熔池上的气氛达成平衡, 显然在这些条件下, 控制熔池中的溶解气体是极简单的。某些合金如 446 不銹鋼如需要高的含氮量, 則可在熔池上的气氛中引入氮气使造成一定的分压来控制高的溶解含氮量。

冶金评价

本文內的冶金数据是从 300 磅容量的炉子上得到的。这个炉子的炉底截面是 22 吋直径圆球, 5 1/2 吋深的扇形。也曾从 5~2,000 磅容量的炉子上获得輔助的冶金数据。

4×4×30 吋的錠子是澆注在带有防止縮孔的保温帽和对开式的鉄模中。为了保持金属的质量, 金属先从炉子澆注在有盖的中间漏斗中, 然后再澆注到用氩气清洗过的鑄模中并将注流用氩气复盖。錠模先用压扁的塑料袋放在錠模的凹穴中, 然后用氩气将袋吹大冲洗。这种出鋼及澆注技术曾使用于較大的炉子上, 采用加盖的底注盛鋼桶并在出鋼槽上也加一盖子。从熔池中采取改良式的 Taylor 試样及从凝固鑄錠上所采取的試样其溶解气体含量并无显著差别。

所有机械性能試样均从澆注状态的鑄錠中切取, 并按附表规定的热处理后加工。由于材料是未經过加工的, 所以未能报导纵向与横向性能的比较。在第一試驗周期所采用的 AISI 4340 鋼試样經热处理后可到 270,000~285,000 磅/吋²的强度。其延伸率, 断面收縮率及冲击值見图 9~11。从这里可清楚地看出这些机械性能相等子真空感应熔炼材料的性能。

熔池上的氩气及无渣操作能减少合金的氧化損

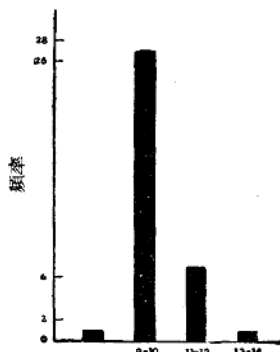


图 9 延伸率(%)

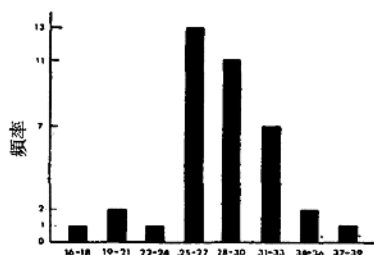


图 10 断面收缩率 (%)

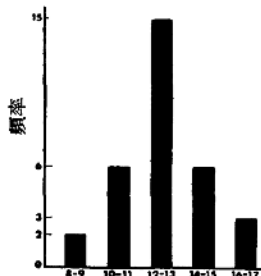


图 11 冲击值 (呎磅) - 40°F

等离子电弧炉所炼 AISI 4340 钢的机械性能

失, 因此比一般空气中熔炼有较高的合金回收率。铬、镍、硅、钼及硼的合金回收率是 100%, 锰虽有高的蒸气压, 但比真空熔炼中的回收率要高。应指出 4340 钢中的锰及其他金属都是一开始就加入炉内的, 以后并未再加。

除 AISI 4340 钢外, 也熔炼了 A-286, Rene 41 及 17-4 PH。对于这些合金所做的物理试验尚未结束。某些已收到的溶解气体分析数据列于下表:

溶解气体含量

	溶解气体, 单位: 百万分之一		
	H	O	N
Rene 41 (等离子电弧熔炼)	40	150	60
Rene 41 (真空感应熔炼)	40	160	40
17-4PH (等离子电弧熔炼)	3	90	170

结 论

本文提出一种熔炼金属的新方法, 叫做等离子电弧熔炼。初步的冶金评价指出用这种炉子熔炼的金属有最佳的质量, 其机械性能与真空熔炼材料的性能相等。显然这种新熔炼方法能应用于许多其他金属上。

附表 AISI 4340 钢的热处理

钢	锭	目	的
1975°F 13 小时, 空气冷却		均匀化	
1750°F 13 小时, 空气冷却		均匀化, 碳的溶解, 晶粒细化	
1200°F 13 小时, 炉冷		试样加工用的回火	
试	样	目	的
1600°F 1 小时, 冷至 1400°F		奥氏体化, 随后淬至马氏体	
1400°F 1 小时, 油淬			
400°F 1 小时, 水淬		回 火	
400°F 1 小时, 水淬		再回火减少残余奥氏体	

参 考 文 献

- [1] Quality Requirements of Super-Duty Steels, Metallurgical Society Conferences, vol. 3, May 5~6, 1958, Pittsburg, Pa.
- [2] E. C. Nelson: Factors Governing the Extent of Deoxidation of Iron-Carbon Alloys by Argon Rinsing. Presented at Annual Meeting, AIME, Feb. 1962.
- [3] Serge Ovikovich: Mechanical Properties of AISI 4340 Improved by Consumable-Electrode Vacuum Remelting. Watertown Arsenal Laboratories Technical Report No. WAL TR 310. 1/1, Sept. 1959.
- [4] P. S. Schaffer: Theoretical and Practical Aspects of Vacuum-Induction Melting of High-Strength Steels, Watertown Arsenal Report No. RPL 10/17, Mar. 1960.
- [5] J. Chipman: Atomic Interaction in Molten Alloy Steels, Iron & Steel Institute, Journal, vol. 180, June 1955, pp. 97~106.
- [6] R. D. Pehlke and J. F. Elliot: Solubility of Nitrogen in Liquid Iron Alloys, 1. Thermodynamics, Trans. AIME, vol. 218, December 1960, pp. 1088~1101.
- [7] M. Weinstein and J. F. Elliot: Solubility of Hydrogen in Liquid Iron Alloys, Presented at the Annual Meeting of AIME, Feb. 1962.
- [8] M. Ohtani and N. A. Gokcen: Thermodynamic Interaction Parameters of Elements in Liquid Iron, Trans. AIME, vol. 218, June 1960, p. 553~540.
- [9] T. Fuwa and J. Chipman: The Carbon-Oxygen Equilibria in Liquid Iron Trans. AIME, vol. 218, Oct. 1960, p. 887~891.
- [10] J. Chipman and T. C. M. Pilay: Activities in

(下接第 11 页)

2. OLP法的技术和冶金

B. Trentini, 等

本文叙述由法国钢铁研究所所发展的喷吹石灰技术 (OLP 法)。又总结萨尔 (Saar) 的 Dillingen 工厂和法国的 Usinor Denain 工厂有关工业生产的资料。表明 OLP 法提供了用调整炉渣层法以直接生产碳钢的变动范例。本文公布连续记录熔池碳含量的试验性研究的最終結果, 这是 LD 法进一步向自动化发展的生产措施。

把粉碎的物料喷入金属熔池, 是法国钢铁研究所许多年来集中研究项目之一。已经证明所发展方法之一是喷射氧气——石灰粉末, 或简称为 OLP 法, 对于高磷铁水的精炼是满意的, 并将扩展到低磷金属的精炼。

法国钢铁研究所已经仔细研究在稳定的和控制好的流速下, 掌握和输送粉末。这项结果不仅应用于石灰粉末, 亦可以应用于增碳时的碳粉、铁矿粉末, 和其他如铁合金等的粉料^[4-6]。已经发展的装置具有极重要的特点, 即没有活动的部件, 这在处理磨碎粉末或纯氧时, 显示其实际优点。

图1是分配器的示意图。在顶部装料, 用一个气封关闭。用氧气使底部流态化, 避免容器内部形成过桥, 并保证有一个稳定的石灰粉末流, 经过与主要的氧气管联接的出口处通入喷枪。这些分配器的尺寸根据它们的用途而异, 差别很大。供 OLP 法

精炼之用的分配器, 其内部容积为 3~13 立方米, 容积为 18 立方米的容器正在制造中。

这种粉末分配器可以自动控制和调节, 以保证稳定的粉末流量的精确度到达 2%, 和很大的流量范围。在法国的德南 (Denain)、和在萨尔的 Dillingen 工厂的自动调节装置具有 1~15 级的流量范围。亦即同一分配器能够喷吹石灰 50~750 公斤/分钟。这些粉末分配器作为 OLP 装置的一部分在德南和 Dillingen 工厂已经投入生产有两年之久, 这种设计是处理含有 1.8% P 的铁水。

Dillingen 工厂的 OLP 法车间^[7]

在 Dillingen 钢厂共装置两座 30 吨 OLP 转炉。在正常压力下氧气流速的变化范围为 50~80 立方米/分钟。利用振动斜槽, 以便加入高品位的矿石作为冷却剂。

石灰经粉碎车间粉碎后贮藏在石灰分配器上面的料斗中。在纯氧中的石灰粉末悬浮体, 是由两个容积各为 4 立方米的石灰分配器制成的。可以自动调节。并以内径为 100 毫米的金属软管联接风管和喷枪。水冷式喷枪是通用的 OLP 型, 亦即不带文丘里型的, 内径为 55 毫米的管道。

转炉是由焊接制成并以电力驱动; 转炉经砌炉衬后的内部容积为 18.5 立方米。其烟罩是以焊合的方管而形成连续的墙。这种设计可以防止污物的粘着并只需最小的供水量。一个兰蒙式 (Lamont) 锅炉, 供应两个炉子操作, 以回收废气和热量, 每次熔炼可以生产 5 吨的蒸汽, 其压力为 40 公斤/厘米²。

精炼在中间放渣时分为两个阶段。铁水成份为 3.60% C、1.8% P*、0.5% Mn 和 0.4% Si。中间渣含磷量很高而含氧化铁量低, 其相应的熔池含碳量约为 0.8%。吹炼结束时, 经过出钢口出钢, 但保留末渣供下一炉用。这项操作获得了较高的铁、石灰和氧的产物。

大多数的钢在连续铸锭机中铸成 1500×200 毫米板锭^[8], 这已在金属月刊 (*J. of Metals*) 1962 年 2 期 142 页发表了。当用连续铸锭法时, 平均每天生

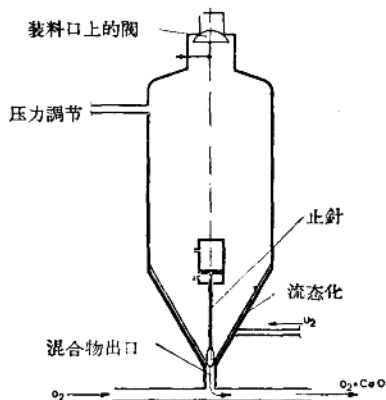


图1 石灰粉末分配器示意图

* 译者注: 原文为 1.8%, 大约是 1.8% P 之誤。

产 25 炉。轉炉的生产率在出鋼到出鋼之間为 42 分钟。

主要的产品是 0.08~0.13% 碳的低碳鋼。其平均含磷量为 0.021%，硫为 0.015%，而鉄水中的含硫量则为 0.045%。有些炉次使用留碳法，吹炼至碳含量高达 0.7%；而含磷量在 0.025~0.035% 之間。

德南(Denain)的 OLP 工厂^[9]

在德南鋼鐵公司的 OLP 法工厂有两座 50 吨轉炉。冷却剂为廢鋼和高品位矿石，它們用带式运输机系統連續地加入；大約每噸鋼錠加入 75 公斤廢鋼和 55 公斤矿石。石灰的粉碎和調節系統与 Dillingen 工厂相似，采用 9 立方米的石灰分配器。

氧氣吹速的变化范围在正常压力下为 100~140 米³/分。与噴枪联接之軟管，內徑 125 毫米，噴枪內徑为 80 毫米，也不带文丘里管。炉子烟罩的冷却是通过水套內大气压下水的蒸发而实现的。用水并不經处理。清洗烟罩是以文丘里管湿法处理。

和 Dillingen 工厂一样，精炼在中間放渣时分为两个阶段，其末渣保留为以后熔炼之用。在 OLP 法厂生产的鋼为低碳的深冲鋼，平均含碳量为 0.060%。鋼錠的含磷量平均为 0.018%，而熔融鉄水中的含磷量为 1.7%。含硫量平均为 0.014%，在鉄水中为 0.040。

每座轉炉平均每天吹炼 24 炉。最短的出鋼周期记录为 45 分钟，实际吹炼時間仅为 18~19 分钟。

炉衬的使用寿命是一个主要問題，特别是对高磷鉄水为甚。其实形成的炉渣量多以及末渣的再使用操作对于炉衬确是一个严重压力。这些困难条件使焦油白云石炉衬的使用寿命限在 180~200 炉。白云石(含 MgO 36%)的消耗量大約为每噸鋼錠 13 公斤。

新的 OLP 法工厂

正在建設的 OLP 法装备如下：

1. 法国的隆維(Longwy)——設計一座 30 吨轉炉，精炼高磷鉄水，生产軋制路軌的碳鋼。
2. 德国杜斯堡(Duisburg)——一座 90 吨轉炉，精炼高磷鉄水，生产低碳的深冲鋼和焊接鋼管的低碳鋼。
3. 法国的敦刻尔克(Dunkirk)——三座 130 吨轉炉，精炼低磷鉄水，預定生产軋制船用鋼板。这工厂将配置由鋼鉄研究所和法国的 CAFL 商行所发

明的未燃燒气体捕集系統^[10,11]。

碳 鋼

虽然現在所生产的吹氧轉炉鋼极大部分是低碳鋼，但几乎所有的氧氣炼鋼厂，已面临生产相当数量含炭量較高的鋼的問題。生产这些鋼种可能有两个方法来实现：①先吹炼成低碳鋼并在盛鋼桶中增碳，②或者在降碳过程中留碳。

根据操作者的观点，第一种方法比第二种方法時間較快而比較方便。但留碳法对盛鋼桶內添加剂的回收效率較好，并且有时对要求微觀洁净的鋼也較有利一些。直接法或留碳法的主要困难在于获得如下的綜合条件：要求含碳量恰好在規定范围以內，同时应有足够低的磷和硫含量，以及出鋼溫度在指定范围以內。当用高磷鉄水开始吹炼时，对脫磷問題显然比用低磷鉄水时更为重要。另一个十分常見的困难是末渣中氧化鉄含量高，它和熔池中的高碳份要起反应。因此由于取样和协同动作之間要消耗一定的時間，因此往往会出現使出鋼鋼水中的最終含碳量有不能控制的情况。

我們已經发现了能够个别地也能在很好地控制条件下以留碳法生产碳鋼的方法，如图 2 所示。这是可能的，因为除噴枪高度和氧氣流的通常变数外，还附加一个变数即石灰是在粉碎状态并以不同濃度吹入，下面是一个示例：用 OLP 法生产 0.5% 碳含

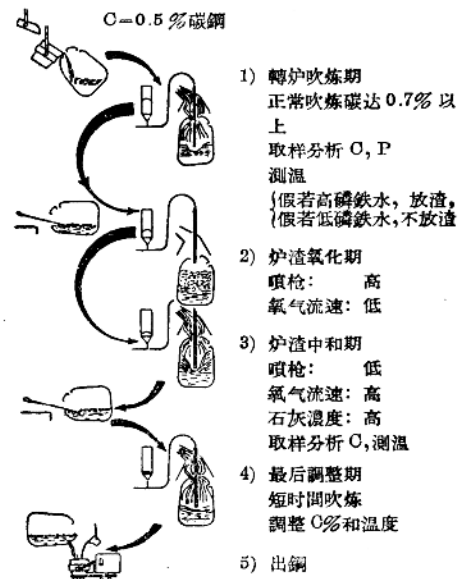


图 2 留碳出鋼法

量的路軌鋼：

1. 轉爐的吹煉期：吹煉至0.9%含碳量的操作與生產低碳鋼相同。當用高磷鐵水開始吹煉時，應放出初期渣，但吹煉低磷鐵水則不需要排渣。

2. 爐渣氧化期：這期的目的是為了改善在高碳份的熔池下很好地去磷，供產生鹼性的、流動的、高FeO的爐渣。在這期中，氧氣流量低，而噴槍離熔池的位置是高的。

3. 爐渣中和期：爐渣氧化期後並不停止吹煉，隨着出現一個強烈的金屬-爐渣混合期。為實現這現象應使石灰的濃度增至最大值；同時氧氣流量亦應增至正常數值而噴槍的位置隨着逐漸下降。這就導致劇烈的但可以控制的爐渣-金屬反應和導致FeO的快速下降，因此獲得極厚而粗糙的爐渣。在這種成塊的渣下，傾側轉爐以便取樣，此時等待分析數據和測量溫度，而熔池的碳含量並不改變。

4. 最後調整期：根據分析所得結果，可以進行含炭量的微量調整。當爐渣保持自然隔絕狀態時，可以鼓入較多的氧氣。

最後，在固態的非反應性爐渣下得到了所需碳含量分析。在出鋼以前的延遲時間，對於含碳量沒有影響。並且，盛鋼桶添加劑的效率不變，而獲得的磷量很低。在充分限制和控制狀態下，利用石灰粉末的噴入，就使這種塊渣的操作成為可能，並從高磷鐵水開始，吹煉成為0.7% C的碳鋼而獲得良好的結果。但熔煉時間要比生產低碳鋼為長，以及耐火材料的消耗量可能有所增加，可是關於這點還不能提供具體數據。

迄今，已經用低磷鐵水進行了工業性的吹煉，但從試驗工廠的研究中指出，這種方法能夠適用於這種類型的生鐵。在這方面我們能夠期望，尤其是假使在操作者的支配下能有一個決定熔池碳含量的方法，則可以去除第一次的傾爐期。這點是本文最後一部分的問題。

熱平衡的改進

改進鹼性氧氣煉鋼過程的熱平衡，可按兩個主要途徑進行：

一條途徑是利用煙道的潛熱和未燃燒氣體的化學熱值。鋼鐵研究所試驗工廠早已描述對後者所作的研究^[10,11]。這種技術將在新建敦勃利克鋼廠工業規模的生產上獲得應用。

另一條途徑是改進精煉的熱平衡。以前曾試驗過的方法是加入焦炭，但迄今為止在鋼鐵研究所的

試驗工廠中，已經研究了兩種其他方法即：預熱廢鋼，和通過第二個氧氣噴槍下加入礦石。

預熱廢鋼

在6噸試驗性轉爐中，曾用一個高熱值的氧-油燃燒器作預熱廢鋼的試驗。試驗所用的燃燒器之一如圖3所示。這燃燒器在噴管喉部的側邊有輸入油路；這樣就可利用氧氣流本身實現噴射。這種設計亦允許噴射粉狀物料以資在焰中加熱。這種燃燒器，在短焰內部具有很高的溫度而發出高度的集中熱量。

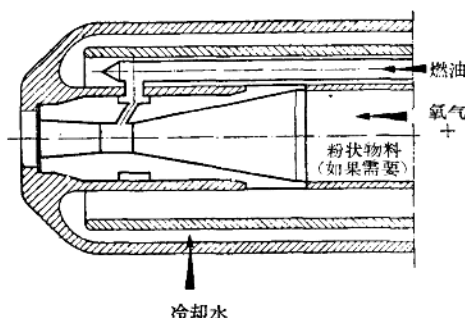


圖3 純氧雾化燃油燒嘴的頂端

最初的理論研究指出應採取措施以防止廢鋼的氧化。因氧化鐵的生成將危害爐衬的壽命，而用鐵水裝料時氧化鐵被還原又是吸熱反應，這就意味着燃燒器效率的降低。因此燃燒器的設計和它在爐內的位置就十分重要。氧氣流與燃油流的比例亦很重要，應力求精確地控制。同樣的理由必須使最後預熱溫度保持在合理範圍以內，以免氧化鐵的形成。

表1 用氧油燃燒器預熱廢鋼

燃燒器的輸出熱值	3×10^6 仟卡/小時
預熱時間	5 分鐘
廢鋼重量	1,500 公斤
最終的廢鋼平均溫度	600°C
燃燒器的熱效率	50%
廢鋼消耗量的增加	33%

表1摘錄了在鋼鐵研究所試驗工廠典型預熱試驗的結果。值得注意的是在吹煉中廢鋼的加入量可以增至1/3。然而，為驗證這種處理對於爐衬壽命所起的影響，又作了更多的試驗。並且由於保留後期渣以作下次熔煉用起見，所加入的部分廢鋼變成被爐渣所包復，這樣就降低了預熱的效率並且在歐洲使用高磷鐵水的特定條件下，利益有限。

噴吹矿石

知道得很清楚，在碱性氧气轉炉内部，主要是CO气体，并且这些气体在炉内燃烧成为CO₂而使热效率提高。但困难是如何把这些巨大的热量轉移到金属熔池中去，同时还要保护炉衬。如在Kaldo或Rotor的轉炉中是通过炉子本身的迴轉完成热量的轉移，但在頂吹式的氧气轉炉中則問題更加复杂。

为了解决这个问题，鋼鉄研究所曾作一次技术試驗。它包括通过第二个噴枪，喷射純氧中的悬浮矿粉（或預热产物）。第二个噴枪用CO燃烧，其粉状微粒吸收燃烧所放出的大部份热量。

因为这些試驗仅在試驗炉中实现，由于炉子容量小和試驗进行得慢，很难估計引起的重大热损失。但每次吹炼試驗前后都进行了不噴矿石的吹炼以作参考比較。

表2 在第二个氧气流中喷射鉄矿粉

鉄矿来源	阿尔及利亚的昆朵地区
含Fe量	52%
粒度	100%~1毫米
濃度	9公斤/正常压力下每立方米O ₂
氧气流	

第二个噴枪 正常压力下0.5米³/吨（鉄水）

第一个噴枪 正常压力下2.0米³/吨（鉄水）

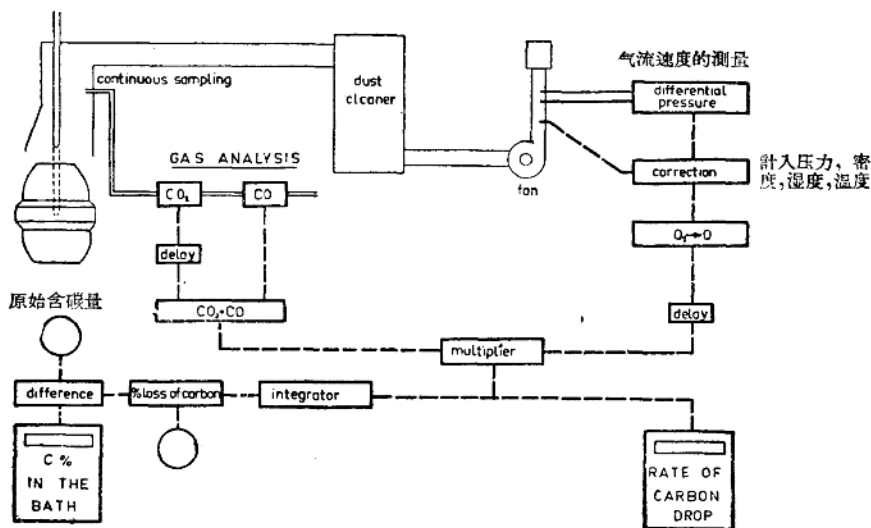


图4 碱性氧气轉炉碳含量的連續測量法

(图註: continuous sampling—連續取样。 dust cleaner—除尘器。 GAS ANALYSIS—气体分析。 delay—延滞。 difference—差数。 IN THE BATH—在熔池中。 % loss of carbon—碳的损失%。 integrator—积分器。 fan—风机。 multiplier—放大。 differential pressure—差动压力。 correction—調整。 delay—延滞。 RATE OF CARBON DROP—降碳速度。)

表2列示試驗之一的数据。可以看出在这个試驗条件下,大約可能增加50%的矿石加入量。工业規模的試驗中也証实了这个数值,它还可以提供这个技术对影响炉衬寿命的資料。由于某些鉄矿石类型的粉碎的影响,仍然需要注意。

含碳量的連續記錄

自动化煉鋼方法是引人注目的迅速发展的項目,关于这方面的問題可以从許多已經发表的論文中得到启发。但是在实现自动化之前,必需收集充分数量的有关过程中主要控制因素的資料。对碱性氧气轉炉,有些資料是易于获得的,例如氧气流、噴枪高度、装料重量、鉄水的温度、吹炼時間,和出鋼周期。但是并没有考虑另外一些重要的因素,或者沒有足够地了解为了向自动化迈进进一步所应有的措施。这些大量未知因素之一的实例是轉炉在吹炼时液相的成分和温度。为了这个目的,鋼鉄研究所曾描述,当吹炼时对熔池温度的連續記錄进行一系列試驗。这方法包括通过轉炉炉底的一个孔,由鋼鉄研究所設計的倍色光学高温計观察金属熔池的温度。这套仪器在試驗工厂中正在进一步的試驗。

同时,鋼鉄研究所还組織一批人发展一项新技术,它能提供熔池的碳含量和吹炼时降碳率的数据。

这方法的原理如下：所有碱性氧气转炉都装置清洗气体系统，因此由已知铁水的碳含量，废钢重量和铁水重量，气体分析，和气流速度，就有可能得到吹炼时熔池碳含量的连续记录。从炉内气体的数据，按气体流量对吹炼时间的积分，就可以直接计算碳分的下降，以及可与原始的碳含量相比较。试验工厂设计的装置见图4。

碳分的平衡应该在系统的实际情况下取得验证。因此气体取样装置及其分析器应该尽可能靠近收集气体的烟罩，而所放的位置必须在假定烟气组成中是均匀的一点。取带有灰尘的热废气试样是一项特种工艺。为了保证可靠性，虽然是清洁的有效试样，耽误时间少，反应延迟时间极短，也必须特别谨慎。在这装置中用红外线分析器测定CO和CO₂。刻度读数由0~100%，因为收集未燃烧的烟气是在试验工厂转炉的鼻尖部位。但是这种方法亦可应用于传统的烟罩集气系统中收集具有CO燃烧的烟气。

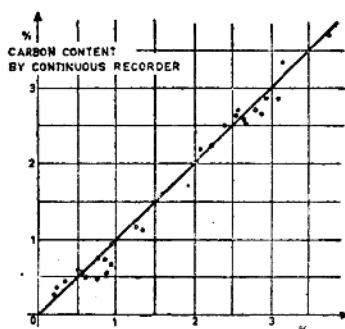
测量重量流速装置是不重要的，因为在整个清洗烟气管路中其气体流速保持常数。因此可在烟气清洗后测定气体流速。但是需要在分析中考虑附加的调整项目，如温度、压力、和烟气中的湿度。

将所有这些数据应立即供应到电子设备中去，供应过程将延滞某些测量反应，因此要调整测量元件的滞后时间。例如直接读得降碳率和积分后，就可以得到从吹炼开始系统中所失去的碳量。以电子计算机对残余碳量与熔池中析出碳量的曲线进行比较，因此表示出在任何时间熔池中的含碳量。

在试验工厂中这项装置已经操作了几个月。我们可以从连续记录和由化学分析所得的数据，比较其含碳量。图5示其中一个试验历程的结果。可以看到这些数值的一致性令人满意的。有些点略微偏离理想直线，但在当时并未包括所有的调整项目。因此我们可以设想加入这些调整项目时应该使偏差程度更小些。

但是即使在现在，这装置给予了足够精确的资料，当已知熔池已经达到一定的含碳范围内时，它可以执行停止中间排渣的吹炼。在降碳过程中用留碳法生产碳钢时，更是特别重要。其中间排渣时的碳量应该高于所要求的含量，但亦不能过高以免妨碍碳量的精确调整。另一个重要的测量是降碳速度。因这是和精炼过程密切有关，我们的意见，对于自动化来说它是比碳含量本身更为重要。

我们曾对所有影响降碳的各种因素进行了系统



化学分析法的碳含量

图5 熔池的碳量分析连续记录与化学分析的比較
(图注：CARBON CONTENT BY CONTINUOUS RECORDER—连续记录器的碳含量。)

性的研究，因为当吹炼高磷铁水时它起惊人的变化。其中有些变化是和操作条件有关，例如喷枪高度，氧气流量，和石灰浓度，这些条件对炉渣—金属界面的反应是有影响的。

关于未燃烧气体的回收装置在钢铁研究所试验工厂中已经进行了试验。但如气体在转炉的鼻尖部位燃烧时，也可以在工业规模的生产上得到相同的测量和结果。气体收集装置的设计，必须先考虑这种计算，并使没有显著烟气损失。这种工业规模装置试验已列入计划，不久可以开始。

結 論

在碱性氧气转炉中精炼的时间要比其他传统方法所需的时间为短，同时随着过程而进行取样和测温的方法也没有相同的可能性。就这个过程的控制而论，尚有待于作重要的改进。

OLP 法所发展的喷射石灰粉末，对向熔池中加入石灰是一个极可变通的方法。在降碳过程中用留碳法生产钢的例子，证明了炉渣控制是具有肯定的优越性。

精炼时以熔池含碳量连续记录的方法，是能成为操作者非常有用的资料，并能顺利地吹炼获得所需规格的钢。

因此正在努力，使在碱性氧气过程中实现复合冶炼和控制精炼的条件。

参 考 文 献

- [1] B. Trentini, L. Wahl, M. Allard: Désulfuration de la fonte par insufflation de poudre de chaux, Revue de Métallurgie, May, 1956, p.

- 388.
- [2] B. Trentini, P. Vayssière, D. Jorre, M. Gombert: Nouveau procédé d'amélioration de la soufflabilité au convertisseur Thomas, *Revue De Métallurgie*, Feb. 1957, p. 147.
 - [3] B. Trentini, P. Vayssière, R. Alleyrac, J. Le-grandjacques: Insufflations de produits pulvé-rulents dans le vent du convertisseur, *Revue De Métallurgie*, Jan, 1959, p. 13.
 - [4] J. Raguin, A. de Lavareille, R. Alleyrac, B. Trentini: Résultats de carburation au four électrique par insufflation de poudres, *Circulaire D'Information Technique du Centre de Documentation de la Sidérurgie (France)*, Jan. 1961, p. 197.
 - [5] J. Raguin: Recarburation par insufflation de poudres, Synthèse des résultats obtenus à l'IRSID, *Revue De Métallurgie*, Feb. 1962, p. 93.
 - [6] L. Septier, R. Dessain, P. Karinthy, J. Raguin: Contribution à l'étude de l'élaboration de charges sous fonte au four Martin, *Revue De Métallurgie*, July 1961, vol. 58, p. 557.
 - [7] K. H. Bauer: Résultats d'exploitation du procédé OLP pour l'affinage de fontes Thomas, *Circulaire d'Information Technique du Centre de Documentation de la Sidérurgie (France)*, Feb. 1962, p. 413.
 - [8] K. H. Bauer: Paper presented at the Fall Meeting of the Metallurgical Society, Detroit, Oct. 1961. to be published by Interscience Publishers, div. of John Wiley & Sons, Inc.
 - [9] J. Français: Installation OLP d'Usinor Denain, *Circulaire d'Information Technique du Centre de Documentation de la Sidérurgie (France)*, Feb. 1962, p. 405.
 - [10] M. Allard, G. Namg: Récupération sans combustion des gaz provenant d'affinage à L'oxy-gène Pur-Procédé C. A. F. L. et IRSID, *Revue De Métallurgie*, Mar. 1960, p. 207.
 - [11] M. Allard, G. Namy: Collecting Unburnt Gases From Oxygen Converters, *Journal of Metals*, vol. 13, June. 1961, p. 421.

叶裕中译 顾德驥校

譯自《Journal of Metals》14: 579~583(1962)

(上接5第頁)

- Dilute Liquid Solution Fe-Si-O Trans. AIME, vol. 221, Dec. 1961, pp. 1277~1278.
- [11] A. J. Chipman and D. Dutilloy: Activity of Oxygen in Liquid Iron-Phosphorus Alloys, Trans. AIME vol. 218, June 1960, pp. 428~430.
- [12] J. Chipman and J. F. Elliot: Physical Chemistry of Liquid Steel, Chapter 16 of Electric Furnace Steelmaking, (In press)
- [13] A. Summary of Comparative Properties of Air-Melted and Vacuum-Melted Steels and Superalloys. DMIC Report 128, Mar. 28, 1960.
- [14] H. R. Larson and F. B. Herlihy: Development of Low Alloy Steel Components Suitable for High Strength Steel Casting. Trans. of American Foundryman's Society, vol. 67, 1959, pp. 716~731.
- [15] S. Z. Uram, M. C. Flemmings, and H. F. Taylor: High Strength Cast Steel Structure and Microporosity Effect on Mechanical Properties. Modern Castings, vol. 38, July 1960. pp. 61~74.
- [16] M. C. Flemmings, R. V. Barone, S. Z. Uram. and H. F. Taylor: Solidification of Steel Castings and Ingots, Modern Castings, vol. 40, Sept. 1961, pp. 82~95.
- [17] H. J. Henning and F. W. Boulger: High Strength Steel Forgings, DIMC Report 143, January 5 1961.
- [18] J. I. Fisher and J. P. Sheehan: The Effect of Metallurgical Variables on the Fatigue Properties of AISI 4340 Steel Heat treated in the tensile strength range 260,000~310,000 psi. WADC Technical Report 58~239, Feb. 1959.
- [19] H. J. Hucek, A. R. Eisen, and A. M. Hall: Evolution of Ultra-High-Strength Hardenable Steels for Solid Propellant Rocket-Motor Cases, DIMC Report 154, May 25 1961.
- [20] W. E. Schwartz: Experimental Results with Hollow Electrodes in Electric Steel Furnaces. Iron and Steel Engineer, vol. 34, June 1957, pp. 84~91.

張慕熊译 蔣承蔭校

譯自《Journal of Metals》14, 12: 907~911 (1962)

3. 鋼的D-H真空处理法

提 要

已經建成最大的D-H真空装置,目前正在正常地生产碳素鋼和合金鋼(平炉和电炉炼出的)。这一进展的报道指出,采用这种装置进行鋼水真空处理的效果是很好的;鋼的純度较高,所有各炉鋼水的性质更为一致。預期未来試驗的結果将找到各种特殊处理方法,每一处理方法适用于某一个鋼种所要求的性质。

美国堪培鋼公司的炼鋼工作者所采用的D-H法,胜过了这一方法的創始人Dortmund-Härder的工作效果。鋼不仅經过脱气,还被合金化(在无氧的条件下)和均匀化。而且已能在生产条件下进行处理鋼水量达165吨的一炉鋼了。

如图1所示,这种方法是采用底部有密封注口的电热真空室。操作时注口插入盛鋼桶內。当密封物融掉时,大气压力迫使鋼水进入已抽空的室內。然后,真空室便提升和下降約30次,而注口仍没入

于盛鋼桶內鋼水中。在每一循环期內,有一批鋼水抽到真空室內进行脱气,每批30吨。当整个盛鋼桶內的鋼水处理完毕之后,在真空中加入合金并將鋼水搅和。整个操作进行10~15分钟,視一炉的鋼水量多少而定。

某些操作詳情

注口中的金属高度超过盛鋼桶中的金属高度約60吋,而室中鋼液的深度(在300微米真空之下)取决于注口插入盛鋼桶內的深度。真空室在注口頂部以上数吋处的最大內徑約12呎,因此,30吨鋼水的熔池深度很少超过15吋。

因为注口每秒钟移动約2吋,一个完整操作周期(下降20吋,提升20吋)約需20秒钟。当注口下降时,鋼液以每秒钟約10呎的速度向上流入室內,而且鋼水噴出注口頂部高达3呎,而后才向四周落下,除这种强烈搅动外还有几乎是爆炸性的起泡作用,这是由于含气体的鋼水一进入真空室就沸騰所致。搅动和起泡两种作用的結合,使鋼液产生猛烈起泡和飞溅,脱气达最高峰时鋼水几乎占满了真空室的所有空間。这种强烈的搅拌作用使脱气效果大为提高。溶解于鋼中的碳和氧之間的反应也有助于这种作用:它們是在降压下形成一氧化碳的。

为了使已脱气的鋼水返回到盛鋼桶內,將真空室提升約20吋并保持其真空,鋼水便通过注口朝着盛鋼桶底部涌下。真空室的注口再插到盛鋼桶更深的地方,使靠近表面的鋼水(主要是未脱气的)能进入注口进行脱气。其間用石墨棒加热真空室,以保証鋼水具有必要的流动性。图2所示是按上述順次进行的主要循环阶段。

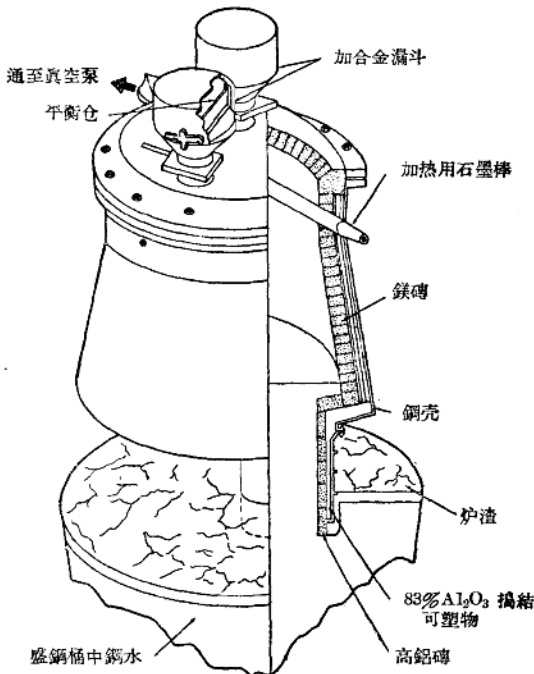


图1 真空室簡图

电热石墨棒供給补充热源,使鋼水温度保持为 $2,800^{\circ}\text{F}$ 左右,这是保証整个处理期間鋼水具有良好的流动性所必需的温度。在一炉鋼水脱气之后,从漏斗加入合金;因为几乎没有氧存在,因此回收率很高。循环操作持續到合金在鋼水中完全混合为止

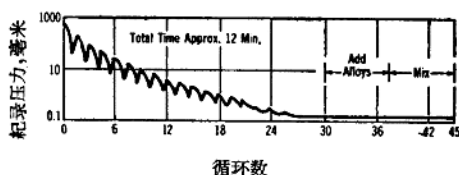


图2 当钢水脱气时,装置内的压力逐渐下降。在大约30次循环之后,氧实际上已全部排出,合金元素可以在几乎没有氧化损失的条件加入。当加入合金时,钢水由下一个循环混合。每炉165吨平炉钢处理的总时间约12分钟

(图注: Total Time Approx. 12Min—总时间接近12分。Add Alloys—加合金。Mix—混合。)

加合金元素

大约在30次循环之后,脱气已基本完成,起泡沫作用平息。但是由于真空室忽上忽下抽气而产生的搅动和当初一样剧烈。因为这种搅动作用更有利于合金化,所以加入合金可以在以下的几个操作循环中进行。合金可以从5个漏斗中的任一个分批地在控制下加入室内,其中四个漏斗各有一个平衡仓。漏斗的容量为1,500~12,000磅,平衡仓容量为75~600磅。所选择的这些漏斗与平衡仓的大小和数量是考虑到能正确地控制其加入的重量。因为这些漏斗是和真空室主体一起抽空的,因此铁合金、铝、石灰、氧化铁、碳以及其他材料可以在真空处理期间加入。

加入合金的时间要控制在使添加物恰好倾卸到钢水喷入真空室的顶部,这样,它们就可能使全部钢水都已进入真空室之后溶解。然后,提起真空室——脱气后,含有合金的金属便流入盛钢桶,并与早已脱气的钢水混合。通常对于所要求的添加物来说,6~8个操作循环就够了,但是为了使它们在整个盛钢桶内充分而均匀地混合,还需要额外再进行5~6个操作循环。

设备的特点

真空室所用的耐火材料应慎重选择使能经受高温和耐侵蚀。真空室的顶和壁用厚9吋的耐火镁砖砌成。镁砖的外面有3吋耐3,000°F隔热层,3吋耐2,600°F隔热层,以及与真空室外壳相接触的2吋低温隔热层。真空室的底部衬以1吋耐火镁砖,其外层到炉壳之间按设计的外形填以4吋的铝捣结混合物,真空室的注口(长75吋,内径25吋)衬以90%的高密度铝砖,其外是含83%氧化铝的捣结塑性混合物。

经过脱气的 AISI 4340 钢的横向机械性能

位置	抗拉强度	屈服强度 (0.2%残余)	2吋的 伸长率	断面收 缩率
第四个 钢锭				
头部	265,600 磅/吋 ²	221,900 磅/吋 ²	6.0%	23.9%
中部	266,100 磅/吋 ²	221,000 磅/吋 ²	6.9%	23.9%
底部	263,600 磅/吋 ²	219,200 磅/吋 ²	7.8%	18.9%
第十二个 钢锭				
头部	267,600 磅/吋 ²	221,900 磅/吋 ²	6.0%	20.0%
中部	267,100 磅/吋 ²	226,600 磅/吋 ²	7.3%	23.7%
底部	264,100 磅/吋 ²	227,700 磅/吋 ²	6.8%	23.5%

真空抽气系统是将真空室抽成真空和排除气体杂质。蒸汽喷射器系统由串联的五级组成,此外还有一个与最高压力级相并联的预抽泵。抽气的能力在500微米时为130,000 呎³/分空气。剩余压力为60微米。

真空室内加热系统为一根直径4吋、长9呎的石墨棒。石墨棒被当作一个电阻加热元件使用(输入加热能力为750 仟瓦),使真空室内部的耐火内衬在处理之前加热到钢水的温度,在脱气期间也可以使钢水的温度保持在2,800°F左右。这个加热棒也可以用来调整最适宜浇铸的最终温度。

由3台75马力的电动机带动液压系统而使真空室升降,以控制脱气装置中钢水的深度。在处理一炉典型的平炉钢时,此系统需要在12分钟内使重30吨的真空室完成45个操作循环。每一操作循环须提升2呎并下降2呎。

除了上述系统和控制外,脱气装置还设有一套完整的仪表以便指示和记录室内的压力、第一级压力和流量、真空室的移动、室内钢水的重量、器壁温度、钢水温度、排出气体的成份、输入的热量和定时(加合金等)。

操作方法是可变化的

虽然这一装置的基本操作程序可能非常简单,但由于装设了很多控制设备就可允许广泛采用各种不同的处理方法。至今,我们已发展了对很多产品有利的标准方法,但是可能采用的许多不同的操作方法则尚待进一步加以探索。

我们在已拟定的各种操作方法中可以举出一个例子:在低氧的条件下把易于氧化的材料全部加入钢水中,有助于阻止非金属夹杂物的形成。采用另一种工艺方法时是使非金属夹杂物,处于有利于分

解条件下的最长时间（在鋼水中形成非金属夹杂物的大多数元素的氧化物在低压下可能被碳还原）。其他方法或多或少考虑了两者的效果：这些方法的目的也可能是为了获得其他有利的反应。

处理了许多炉次和很多鋼件

脱气和合金化的工艺方法与在平炉或电炉的各种冶炼法之间的相互联系是多种多样的，这是很容易体会到的。到现在为止，我们用这种装置已经处理了几百炉鋼，包括各种牌号的鋼：AISI 1020, 1040, 1095, 4130, 4340, 5160, S260, 52100 和 H₁₁。

在进行这些牌号以及其他牌号鋼的处理工作时，我们探索了许多熔炼方法和脱气方法；在处理 40 和 75 吨电炉以及 165 吨平炉鋼水时，我们发现此设备能对这个范围内的品种、方法和熔炼量的鋼水进行有效的处理。

最大合金加入量已超过 2%，如果需要的话，实际上某些合金的加入量比这个数量大一倍或二倍看来是可能的。合金收得率一般来说是高的而且前后是一致的。例如，我们的数据表明：实际上所有炉号的硅都全部得到了回收。經驗也表明，不管最初的锰含量或加入脱气装置的锰的数量多少，锰的损失总是降低 0.04%。铁的損失也同样的小。铁和锰两者的損失似乎是由于挥发，而不是氧化——这可以从氧化較易而挥发性較小的元素硅的回收率高以及沒有含铁、锰和氧的夹杂物而得到证实。

成份的控制

由于不产生氧化作用，因此元素的回收較高也就使得成份的控制更容易。关于这一点这种装置是突出的：电炉和平炉鋼的廢品率大为降低。出鋼之后馬上取一个桶內試样，在脱气初期对試样进行分析，以及从漏斗加入少量追加物的方法进行校正，这样就很容易获得控制的成分。

所有化学成分对这种額外的控制再加上由于剧烈混和而引起全部鋼水的均匀性带来了许多好处。从第一个鋼錠到最后—一个鋼錠，从—炉到另一—炉，晶粒大小和渗透性是均一的。因为成分控制得好，这些脱过气的金属进行热处理后的性能也就更均匀。低倍侵蝕性能良好；我們已經观察到—大鋼坯中心的密实性得到—定的改善。为了解釋这一点，可以設想保温帽內的鋼水因为气体含量低而能更容易地进入縮孔。

消除白点

正如炼鋼工作者所熟悉的那样，白点的形成与氢含量的影响有着密切的关系。因为在这种装置內

进行的脱气过程使氢含量有很大程度的降低，因此我們現在已能用較短的冷却和热处理周期来生产大型无白点的鍛件。

AISI 4340 鋼是一种具有产生白点倾向的鋼，其特殊冷却措施是特別重要的。在最初試驗时，我們把 6 个 20 吋的方形大鋼坯（每个加热的程度不同）放在箱內冷却两天——沒有一个产生白点。我們认为冷却、随后的貯存、檢查和再热期間防止产生裂縫的时间至少应有二天。以同样的 4340 大鋼坯用空气冷却作了一次更进一步的試驗，也沒有产生白点。我們还檢查了在露天堆場上貯存了四个月之后的用 D-H 法处理的鋼（AISI 1045, 4140, 4145 和 4340）进行空气冷却或箱內冷却的大量鋼坯，結果，发现都不产生白点。超声波試驗证实既沒有白点存在，且中心密实性良好。現在从生产上更广泛的采用以及我們經常进行的試驗都証明：在真空处理过的鋼中实际上不可能产生白点。

脱气后的鋼更純

磁性质点試驗取得了显著的结果。如图 3 所示，频率和强度（根据 AMS 2301 号规范）平均为 0.30 和 0.20。对于相应而未脱气的鋼來說，这些值分别为 0.45 和 0.30。

微观洁淨度是根据美国材料試驗协会（ASTM）的、Chevrolet 和其他适用的图表評定鋼坯和鋼棒試样。根据研究結果，条状夹杂氧化物的数量全面减少。此外，还获得了較少的硅酸盐和不規則的氧化物。

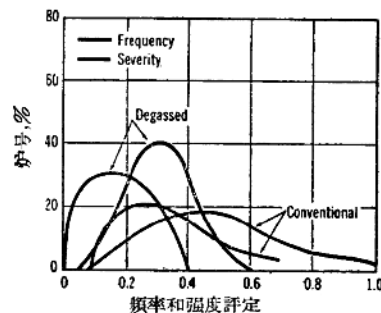


图 3 真空处理过的和普通电炉鋼的磁性质点試驗（Magnetic particle tests）証明处理过的鋼一般較純淨。而且，低于标准的炉数（如曲线向右延伸的“尾巴”所示）实际上已消除

（图注：Frequency—频率。Severity—强度。Degassed—已脱气的。Conventional—普通的）

气体含量很重要

因为很明显的气体含量在脱过气的鋼中是很重