

酸性平炉炼钢

В.И. 泰日諾夫 著



冶金工业出版社

出版者的話

本書系根据苏联冶金出版社出版的泰日諾夫 (В. И. Тыжнов) 所著酸性平爐煉鋼矽还原法 (Кренивосстановительный мартеновский процесс) 1947年第三版增訂本譯出。

酸性平爐矽还原法是酸性平爐煉鋼的基本方法。作者技术科学博士，苏联矽还原法的主要捍卫者泰日諾夫根据极其丰富的理論与实践資料 (包括了世界各国) 系統地綜述了酸性矽还原鋼的生产。

本書各篇的主要內容是：第一篇叙述平爐矽还原法的原理；第二篇介紹合金鋼鋼錠的缺陷及消除的措施等；第三篇概述了各种重要高級優質鋼 (例如高功率航空发动机軸用的鉻鎳鎢鋼及鉻鎳鎢鈦鋼等) 的熔炼；第四、五篇叙述了鈦鋼的生产 and 矽还原法的发展等。

本書是我国翻譯出版的第一本較為完整的酸性平爐煉鋼方面的書，对于今天我国的冶金工业跃进发展有一定的参考价值。書中叙述的高級優質鋼，特別是某些特殊用途鋼的生产，基本上符合我国生产需要，也符合于煉鋼工作者对酸性平爐煉鋼的探討，研究与学习。应指出的是作者是根据苏联資源来解决各类高級優質鋼生产問題的，我国条件虽不同但这些典范式的方法仍值得我們参考。

本書的譯者是張希圣，廖时显，邱潤秋，白德忠，咎文忠，赵玉琳，陈兆太及赵福来等；校者是楊高宗，馬奎奎及孙鐘尧等。

本書可供煉鋼生产技术人員，教学人員及研究人員使用。

В. И. Тыжнов
МАРТЕНОВСКИЙ ПРОЦЕСС
Металлургияиздат (Москва-1947)

酸性平爐煉鋼

編輯：刘应妙

設計：赵 荃 魯芝芳

校对：赵昆方、曹桂芝

1958年 月第一版

1958年 月北京第一次印刷

3,500册

787 × 1092 · $\frac{1}{18}$ ·

340,000字 ·

印張 15 $\frac{14}{18}$ ·

定价 (10) 1,60元

財政出版社印刷厂印

新华書店发行

書号0902

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

第二版序言	1
第三版序言	3
緒 論	4

第 一 篇

第 一 章 酸性平爐中矽的还原	9
第 二 章 矽还原法的化学反应历程	14
第 三 章 鋼熔池的脱气现象	18
第 四 章 矽还原法的熔渣	21
第 五 章 英美冶金家对矽还原法的观点	27
第 六 章 M. M. 卡尔納烏霍夫教授对矽还原现象及对矽还原鋼之質量的观点	33
第 七 章 用部分矽还原法生产炮鋼	41
第 八 章 平爐生产工作者第一次代表大会对矽还原及矽对鋼質量影响問題的观点	43
第 九 章 矽錳还原法	46
第 十 章 生产高質量合金鋼用的爐料	50

第 二 篇

第 十 一 章 高合金鋼優質鍛件中的缺陷	54
第 十 二 章 矽还原鋼及电爐鋼的各向同性和各向异性	60
第 十 三 章 列尔蒙托夫的压鋼液法	66
第 十 四 章 鋼錠的不均匀性	81

第 三 篇

第 十 五 章 碳鋼	94
第 十 六 章 鉻鋼	101
第 十 七 章 鉻鎳鋼	109
第 十 八 章 鉻鈮鋼、鉻鉬鈮鋼、鉻鎳鉬鈮鋼及鉻鎳鈮鋼	114
第 十 九 章 用含鈦磁鉄矿石鉄爐料熔炼鉻鈮鋼	127
第 二 十 章 鉻鉬鋼	131
第 二 十 一 章 鉻鎳鉬鋼	145
第 二 十 二 章 高功率航空发动机軸用的鉻鎳鉬鋼和鉻鎳鉬鈮鋼	165
第 二 十 三 章 高質量薄板产品用的矽鎳鉬鈮鋼	175
第 二 十 四 章 从熔渣中还原保存于鉄合金內的矽及錳	184

第 四 篇

第二十五章	钒合金鋼生产概述	187
第二十六章	用庫什威生鉄爐料熔煉的鉻鉬钒鋼	189
第二十七章	用楚索瓦雅生鉄爐料熔煉的鉻钒鋼	194
第二十八章	矽还原法的过去、現在及将来	207
第二十九章	矽錳还原法的原理	214

第 五 篇

第三十章	钒的問題	217
第三十一章	以含钒生鉄爐、用平爐矽錳还原法生产鉻鉬钒鋼及鉻錳钒鋼	223
第三十二章	在碱性电爐中用碱性平爐钒渣生产鉻钒結構鋼	230
第三十三章	在碱性电爐中用平爐含钒濃縮物以返回法生产含钒高速工具鋼	243
第三十四章	钒問題的現狀	255
第三十五章	艦軸鋼	267
参考文献		278

第二版序言

“平爐攷还原法”的第一版已經出版两年多了。在这个期間。作者对熔煉鈳合金鋼的研究工作也有了进展，鈳的性質以及鈳对于按作者的方法用含鈳生鐵爐料在酸性平爐中熔煉的鋼的質量的影响也很清楚了。

研究平爐鈳合金鋼的結果証明，这种鋼完全可以代替碱性电爐合金鋼，特别是代替含錳及含鉻的电爐鋼。这种电爐鋼很容易形成各种缺陷，这主要是因为熔煉时在鋼液中吸收了过量的气体。

碱性电爐鋼过剩的气体饱和，在很大程度上是由于煉鋼設備(赫魯特(Heroult)式熔爐)本身的结构特点所引起的。

为了减少操作过程中形成的气体量，而使用大量脫氧剂及脫气剂的电爐煉鋼法也是有意义的。这些脫氧剂的使用量很大，超过了用一种脫氧剂数量的許多倍；如果說到这一种脫氧剂的名称，那么就是攷錳还原法所用的錳鉄。

最后，电爐鋼的化学成分也对被吸收的气体量有影响。可以設想，碱性电爐鋼內，除了被吸收的气体量很大外，还含有冶金学中尚不知道的各种气体化合物。

与电爐鋼比較，平爐鋼的主要优点之一就是具有抗拒形成各种缺陷(白点、非金属夹杂物、气体偏析等)的巨大能力。

用攷錳还原法进行熔煉时，在攷还原期間，气体量减少了，并且在第三操作阶段(稳定时期)减少到最低值。此时，被吸收到鋼中的气体，或者排出，或者化成稳定的化合物。当澆注的試样由液态变为固态时，这种現象就明显地表現出来。鋼的这种状态的特点是，其中还原的攷含量为0.15%。

操作过程中，还原的攷濃度根据規定的要求而增高。合金鋼通常含还原的攷为0.20%到0.35%。如果使用錳矿，則还原的錳量可达0.30—0.40%。

作者的多次試驗，証明在稳定期間保持攷还原的重要鋼制鍛件，能满足对此种鋼提出的要求。而用攷鉄和錳鉄中的攷和錳脫氧过的鋼制鍛件，通常不能满足于高的要求，只得作为廢品。

冶金理論家还未能設法証明下面这件事，即：不必以延长熔煉来加强攷的还原；如果需要的话，那么在后来进行攷还原比較有利。作者的实践和观察都完全証明了这种方法的重要性。曾因冶金家在这方面的錯誤观念而产生大量的廢品，并使工厂的經營处于停滞状态。在工厂的实践中曾不止一次地发生过这种現象。

書中列举的熔煉例子清楚的說明了什么是酸性平爐“優質鋼”，什么是酸性平爐“普通鋼”。

这里必須指出，所有高質量鍛件的試驗，只能用橫向的或正切的試样。

書中第三篇和第四篇列举了充分的实际資料。这些資料說明了用攷还原操作法煉成的鋼的使用結果。这些資料証明：这种鋼满足了各个工业部門很高的要求。

無論对电爐优質鋼的要求或者对平爐优質鋼要求都提高了。在优質鋼的生产中，电爐占着首要地位。但是，按廢品來說，电爐合金鋼也算是第一位。

近几年来，鋼冶金的理論問題解决得落后了。理論通常总是赶不上实际。

可以举出許多例子來說明这种論点的正确性。例如，在酸性平爐法中，碓还原現象直到現在还未能充分地說明。而在用酸性爐熔炼高合金鋼的冶金工厂的实践中，这种現象却已运用了三十多年。博士F.罗格士(F. Rogers)教授在自己的著作“酸性平爐法”(Acid Open-Hearth Process. Journal of the Iron and Steel Institute)中談到：

“許多作者按普通冶金学来研究酸性平爐法。但是，他們中的大多数人都留下了未能揭露的那种难解的秘魯，那种經常包圍着炼鋼过程，特别是酸性平爐法和坩堝法中的疑点”。

英国冶金家B.楊乃斯克(B. Yaneske)在自己的著作“酸性平爐中的脫氧及石灰对平衡的影响”(Deoxidation and influence of lime on equilibrium in the acid openhearth furnace)中发表了一些关于酸性法的理論性見解，然而，这些見解都与实际相矛盾。

德国冶金家雪克(Schenk)博士在“用物理化学概念对鋼生产中的反应可能性的評論”。(Die Beurteilung der Reaktionsmöglichkeiten bei der Stahlerzeugung mit Hilfe physikalisch-chemischen Vorstellungen)文章中談到：“目前在应用这种理論見解的观点上，尚存在分歧：一方面，表現在过高地估計了反应的可能性；另一方面，表現在将平衡的学說应用在极难达到平衡状态的炼鋼过程中所引起的怀疑态度。无疑，应当承認，在炼鋼的範圍內，实践的发展总是快于理論的发展。试图从理論上証实混乱現象的人們应当对冶金家-炼鋼工早在十年前已应用的自然法則所具有的科學敏感感到惊奇。可是，很明显，只有当理論能赶上实际并对現在所提出的問題能給予滿意的答复时，这时，論理才能指出彻底革新的途徑。所以，用理論綜合炼鋼过程的現象的直接目的，仅仅在于研究生产的数据資料和将實驗成果本身的矛盾統一起来”。

近几年来已确定，用碓还原法炼成的合金鋼，由于其質量高，故在許多情况下都可以代替碱性电爐鋼。在第三个五年計劃(特种鋼的五年計劃)中，用碓錳还原法熔炼合金鋼的发展也应当是居于首要地位的一項。低磷木炭生鉄的熔炼区域在扩大着，但現在仍感到某些不足。用木炭作燃料的高爐数量正在增多着。大規模地制定生产木炭燃料的伐木計劃，以及开采矿床的計劃。

实现这些准备工作，将会大大发展用普通法或用碓錳还原法的酸性平爐鋼的生产。而且能采用碓錳还原法来生产优質合金鋼以代替碱性电爐鋼。

在酸性平爐中用碓錳还原法生产鉻錳鋼、鉻錳鉬鋼和鉻鉬鋼将会有特别的优点。在这种操作正常进行时，上述各种鋼的生产，以及含錳含鉻特别是含鉬的其它結構鋼的生产，完全保証这些鋼沒有象电爐鋼及用普通法熔炼的平爐鋼所具有的上述缺陷。

B·泰日諾夫

1939年5月于莫斯科

第三版序言

在“平爐攷还原法”的第三版中，列举了有关钒合金鋼生产的新資料，并列举了广泛采用碱性平爐和酸性轉爐的钒渣 ($V_2O_5=7-14\%$) 及钒的濃縮物 ($85\%V_2O_5$) 代替钒鉄用电爐熔炼钒鋼的新資料。在酸性电爐和碱性电爐中的各組熔炼都証明：用钒渣和钒的濃縮物代替钒鉄，無論在生产技术方面，或在經濟方面，都是完全有利的。

作者在研究所謂钒的問題时，把下面的問題放在首要地位，即在短期內解决利用可燃性生物岩(Каустобиолиты)生产钒結構鋼和生产含钒由1.0%到3.5%的高合金高速工具鋼。

含钒可燃性生物岩灰的利用問題，外国已經真正名符其实的解决了。早在1940年，意大利为了生产含钒优質鋼，就建立了熔炼钒鉄的工厂。工厂所用的原料是含大量五氧化二钒的石油灰。德国也在利用钒的氧化物来生产钒鋼。

苏联具有大量的原材料。这些原材料不仅可以用来生产钒鉄，而且可以直接用来熔炼钒鋼。

从熔渣中还原元素的高質量鋼，由于生产上无可爭辯的优点，就成为电爐鋼的有力对手。

本書的第三版增加了两章新的內容。这两章內叙述了多年来作者研究钒問題的总结(第三十章)和目前在生产艦軸用的鑲钒鋼方面的成就(第三十五章)。

1868年，著名的俄罗斯冶金家，金相学之父Д.К.契尔諾夫(Д.К.Чернов)在俄罗斯技术协会會議上，对炮鋼及炮鋼的鍛造問題作了这样的叙述：“至于談到我一貫坚持的理想，那么我已受到責难，那就是过于大胆地說出自己的結論，但还是讓我更勇敢一些，用下面的話說明自己观察的最后結論^①”：

——关于鋼的鍛造問題，在其向前发展时，不能脫离我們諸位先生今天所提出的問題的途径。

作者作为德米特里·康斯坦丁諾維奇·契尔諾夫的学生，也遵循着自己老师的范例，大胆地宣布自己的意見：

——在有还原元素的合金鋼生产中开辟了新的时代，而优質鋼冶金学繼續发展的方向是不能脫离作者所提出的途径的。

В·泰日諾夫

1945年12月

① 引証自1915年1月俄罗斯冶金协会记录。

緒 論

近二十年来，鋼鐵冶金发展的特点在于改进鋼的物理性能及增加鋼錠重量。加入稀有金属（除鎳及鉻外）：鉬、钒、錳、鈦的方法，使鋼的物理性能有了提高。目前，鋼錠重量已达到200—250吨以上。鋼質量的提高及鋼錠重量的增加是由于軍用工业或民用工业的迫切要求所引起的。

装备现代化的軍艦及海岸防御，都需要大口徑的大炮，而制造大炮的零件就需要非常重的鋼錠^①。制造机器零件及制造化学、石油及电力工业的设备也需要重量很大的鋼錠。

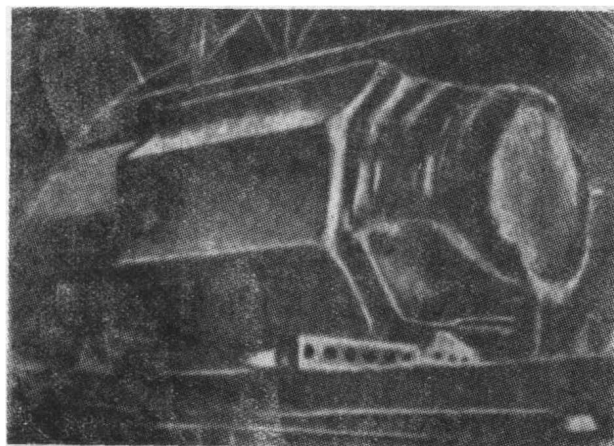


图1 酸性平爐鋼的八面形鋼錠（断面2408公厘，重量178.5吨）（Russbach）

要生产重鋼錠，就必須在冶金工厂內設置巨大的设备（如炼鋼爐、轉运吊車及其他各种设备）以及为进一步加工用的（鍛造、压制等）同样巨大的设备（图1及图2）〔2〕^②。

供上述用途用的鋼，它的物理性能应该很好，而这种性能就使最好的碳鋼也不能达到。所需要的合金鋼为鉻鋼、鉻鎳鋼、鉻钒鋼、鎳钒鋼、鉻鎳鉬鋼、鉻鎳錳鋼、鉻鉬鋼及鉻錳鋼，而在这些合金鋼中，鉻鎳鉬鋼及鉻鉬鋼在許多工业部門中又居于首要的地位。

由于特別重要制件所需試驗的项目繼續不断地增加，就迫使这一类的制件必須

① A Railroad Artillery problem, Coast Artillery, Journal, 1934, March.

② 方括号內的数字，是表示引証的参考文献来源（詳本書后面所列的文献）——編者注

使用合金鋼。熱處理過的产品應具有很高動力及靜力機械性能，此外，鍛件還應良好地承受100—200大氣壓以上的水壓試驗。

在重要产品的試制計劃中，也包括顯微組織檢驗及粗視組織檢驗。鋼應作偏析現象及鮑曼(Байман)反應等檢驗。機械加工后，鍛件的外表面及內表面應作仔細和嚴格的高級檢驗。

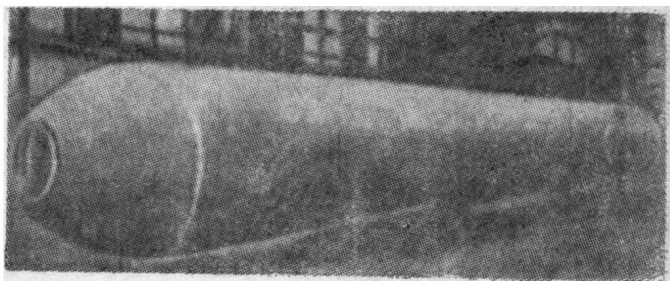


图2 由图1所示鋼錠鍛成的高壓蒸汽鍋爐的爐筒

近几年来，在承受很重負荷（瞬時的高應力、強力的沖擊或長期的連續應力）的新式機械工作条件下，對鋼強度的要求大大提高了。因此改用合金鋼是不可避免的。

在某些情況下，鋼錠本身作鍛造用的部分，應承受組織均勻性的檢驗。切掉鋼錠的上部（冒口），留下頸頭（直徑 $D=100-150$ 公厘），然後折斷冒口，并按斷面的特點判斷鋼組織的均勻性及製造鍛件的鋼錠合格率。

對鋼錠、鍛件及成品的質量提出很高的要求，這就大大促使物理性能高的重型合金鋼鋼錠的生產複雜化了。必須注意到，用合金鋼制成鋼錠，不僅重型的，而且輕型的都比用碳鋼制成鋼錠複雜，同時由配料到澆注的全部工序，都要求特別注意及仔細控制。自然，熔煉重要鍛件（不僅尺寸及重量大的鍛件，而且尺寸及重量小的鍛件）用的鋼都要尽可能用最好的材料來生產。這些材料通常是低磷及低硫木炭生鐵和鋼鐵半制品。而半制品是專門在鹼性平爐中熔煉并清除磷及硫的。

目前，蘇聯通常使用烏拉爾工廠的鐵作這種材料用。熔煉重要產品特种鋼用的最好材料之一就是攪煉鐵。然而，烏拉爾的工廠現在不生產攪煉鐵了。

但是，目前又有了新的產品——海綿鐵，用來代替攪煉鐵及攪煉鋼。海綿鐵是直接還原礦石而煉成的。近幾年來，在國外生產特种工具鋼時，將海綿鐵（在專用爐內用鐵礦的精礦煉成的）作為爐料來使用。

熔煉優質鋼時，每種煉鋼法的目的是：在熔煉操作期間使鋼熔池達到最完善的状态，也就是使熔池的脫氧及脫氣達到充分的程度，使得既將出鋼時使用最少量的脫氧劑。

在熔煉末期，鋼煉成這樣的程度，以至於不需要任何的脫氧劑，這種情况是最理想的；而這種情况只有在坩鍋法中才會產生。

操作期間鋼熔池的脫氧及脫氣越充分，那麼到操作末期（出鋼前），使用的脫氧劑及脫氣劑也越少。

這個意義可以用另外的說法：用酸性平爐熔煉合金鋼時，使用的脫氧劑量及脫氣劑量最少，就証明了操作期間鋼熔池的脫氧及脫氣是最完全的。

从1908年起，就用矽还原法熔炼高质量合金钢钢材。

用矽还原法熔炼时，还原反应使钢的脱氧及脱气达到这样的程度，以至于出钢时完全取消了加入矽铁。而矽铁却是其他炼钢法必需的脱氧剂之一。加入的锰铁量也大大减少了。在酸性平炉炼钢的现行方法中，矽还原法最为完善，接近于坩钢法。同时，用矽还原法熔炼时，可以炼出质量很高的合金钢，它的质量比用其他任何方法炼出的合金钢质量高，而且没有各种缺陷（亮点、白点）。

使用矽还原法时，脱氧期间的还原反应很激烈，这就创造了在还原的矽及锰浓度最大以及矽铁和锰铁的消耗量最小时炼制优质合金钢的基本条件。而这些矽铁及锰铁是在酸性平炉中用其他方法时作为普通脱氧剂大量使用的。

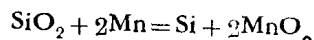
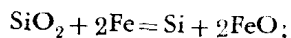
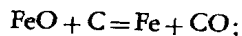
在“酸性平炉法”这篇文章中，博士F.罗格士教授指出：在酸性炉中得到的钢熔池状态是“死静”（dead melted）状态，它表示在酸性炉中最大的脱氧程度，也就是动平衡状态（running equilibrium）。然而，根据F.罗格士的说法，按他所述的方法工作时发生的这种状态（钢熔池最大的脱氧程度）是在很狭的温度范围内进行。因此，按我们的意见，在实际工作中这是很难达到的。

同时，按F.罗格士所述的方法进行操作时，就需要一定量的脱氧剂及脱气剂。这是因为使用石灰不能发展还原反应以增加矽及锰的浓度。

用矽还原法时，钢熔池的稳定状态类似F.罗格士所述的“动平衡”状态，然而，就其形态来说，却更为完善，并且在钢中的氧化物及气体状态方面，它的稳定性是最大。

但是，这种动平衡不是绝对的平衡，在酸性平炉法中恐怕是不能实现这种平衡的。

根据脱气状态，如果在钢熔池的稳定期（钢液中Si含量不小于0.15%时），熔池中氧化物及钢液中吸收的气体之间几乎达到理想的平衡状态，那么，另一方面，此时熔渣、钢液及炉气中的氧之间也发生一系列的反应：



但是，这些反应不会破坏钢熔池、熔渣及炉气之间已建立的平衡。

在稳定阶段可以准确地计算出钢液及熔渣按化学成份变化到什么样的程度，但是，此时不能准确地确定变化如何以及钢熔池中吸收的气体成为什么样的比例（数量的和质量的）。

目前，在世界上实际采用的酸性平炉普通法炼钢与矽还原法炼钢不同；普通法不能实现钢熔池、熔渣及气体相之间的平衡状态。如果可以得到某些脱氧的话，那么无论在任何情况下，都不能达到类似于用矽还原法时得到的脱气。这是因为在操作末期还原的矽和锰量微小，不能达到如矽还原法的稳定期那样的状态。这就概括了两种方法之间的根本差别。钢熔池状态的差别，就使得用低矽（0.05—0.12%）

和低錳（0.05—0.12%）的普通法熔煉時，需要消耗比用矽還原法時數量更大的鐵合金以進行脫氧及脫氣；這也証實了，在操作後半期，無論是鋼熔池的脫氧，特別是鋼熔池的脫氣方面的缺點。

因為形成非金屬夾雜物的來源是脫氧劑，所以鋼的質量部分地決定於鐵合金——脫氧劑的數量。從理論觀點看來，用矽還原法煉成的鋼，在非金屬夾雜物方面應當是比用普通法煉成的鋼較為純淨。許多作者的研究結果也証實了這一點〔Г. И. 馬特維也夫（Г. И. Матвеев^①）及其他〕。

用矽還原法煉成的鋼之所以純淨，除因為加入鐵合金——脫氧劑的數量很少外，而且熔渣的化學成份也起着作用：一氧化錳的濃度高能使熔渣具有高的流動度，這就能減少鋼中非金屬夾雜物的數量。

最後，用矽還原法時，可以減少鐵合金的消耗量，這也具有非常重要的意義。

還必需指出，用矽還原法生產特種鋼時，還原的矽和錳量達到相當大的數值。例如，一個工廠在一個季度中，從熔渣所含的SiO₂和MnO中還原出的矽和錳量，換算成10%的矽鐵和80%的錳鐵等於130噸以上。因此，在用酸性平爐生產特種鋼的工廠中，使用矽還原法時，將還原的矽和錳量換算成鐵合金就可以達到一噸。

談到用矽還原法及矽錳還原法煉成的高合金結構鋼的質量，必須特別指出，用這種鋼制重要鍛件的機械性能指數很高。矽錳還原鋼的質量與電爐鋼的質量相比較時，矽錳還原鋼仍然是優越的：它只有很少的缺陷（如白點、木紋狀斷口等）。用矽錳還原法煉成的鋼是電爐鋼強有力的競爭者，而同時它的成本比電爐鋼便宜得多，用矽還原法熔煉重要鋼的工廠的實踐也証明了這一點。

在酸性平爐中用矽還原法熔煉高質量鋼所需的脫氧劑數量通常為爐料重量的0.10%到0.60%（見圖3的圖表）。根據一個工廠的實際資料，熔煉高質量鋼時，錳鐵的消耗量如表1所示。

表1

爐料重量 公斤	錳鐵量 公斤	錳鐵重量與爐料重量的比例，%
12000	80 (Mn 7%)	0.66
41000	75 (Mn 76%)	0.20
25000	50	0.20
30000	50	0.17
48000	48	0.10
48000	24	0.05
14000	00	0.00

至於談到鐵合金——脫氣劑（矽鐵、矽鎳鐵等），那麼在矽還原法中是完全不使用的。

① 莫斯科機械製造工廠（МЗМ）雜誌，1933年第四號14，15，16期。

圖表 I

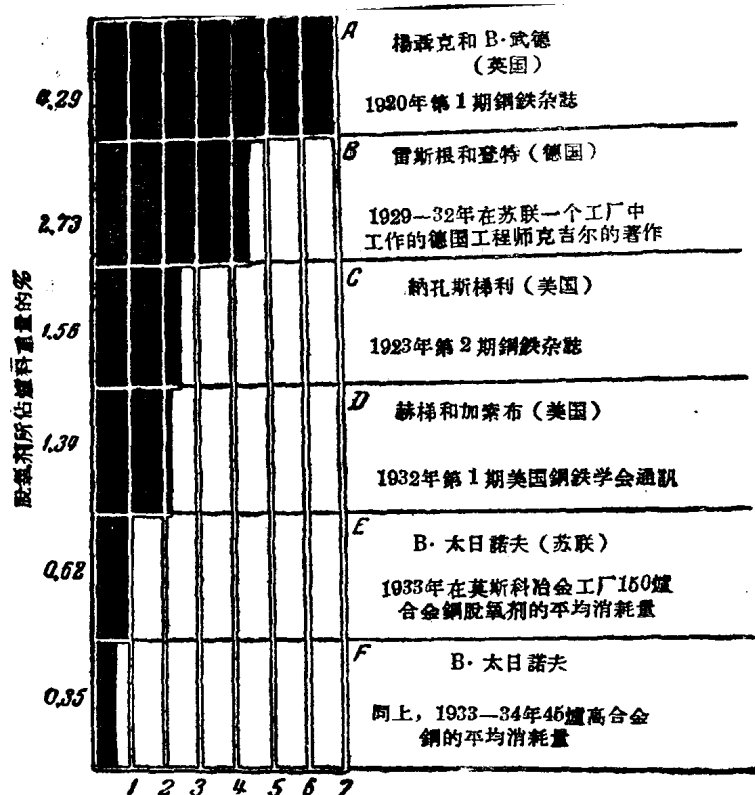


图 3 酸性平爐中用不同操作方法时，脱氧剂的平均消耗量（吨）图表

按普通法熔炼时，脱氧剂及脱气剂的平均消耗量，比用砷还原法末期作为脱氧剂而加入的锰铁量（表 1 所示）高得多，例如：

美国法 从 1 到 2.4% 英国法 从 2 到 6% 德国法 2.73%

从图中可以看到，用电爐法与用平爐砷还原法比較时，用电爐法的锰铁消耗量大得多。

列宁格勒的一个工厂中，在七吨电爐中用砷还原法熔炼过几爐高質量鋼。熔炼：鉻鎳鈾鋼及鉻砷鎳鉬鈾鋼。脱氧剂及脱气剂的消耗量为 1.3 到 3.93%，四爐鋼的平均消耗量为 2.5%。

如果电爐的吨位等于熔炼高合金鋼的平爐的吨位（48 吨），那么加入剂的消耗量为 624 公斤到 1886 公斤。

因此，电爐法中铁合金-脱氧剂的消耗量超过砷还原法中铁合金消耗量好几倍。

用电爐熔炼上述鋼种时，需要使用：砷铁（Si75%）、锰铁、鋁锰砷合金和鋁。而鋁锰砷合金及鋁的总和为每 48 吨鋼中 88 公斤，同时用砷还原法只需用锰铁。

同时，如上所述，砷还原鋼的質量并不次于电爐鋼的質量。例如，用砷还原鋼制造高質量鍛件时（在外国及苏联通常用电爐鋼鍛成的高功率航空发动机軸及其他重要鍛件），可以有效地代替电爐鋼。

第 一 篇

第一章 酸性平爐中矽的还原

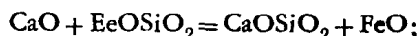
1903年，作者在別日茲（Бежиц）布良斯基（Брянский）工厂首先开始拟定方法和研究平爐矽还原法。在工厂中用当时已有的8吨酸性平爐来炼鋼。熔炼成型鑄件、輪箍、軸、蒸汽機車及板簧等所用的鋼。后来改为生产榴霰彈鋼。

实验証明：用矽还原法进行熔炼并使鋼熔池达到平靜状态时，就能得到質量良好的酸性鋼。这种平靜状态的特点是：試样很平靜地凝固，不上漲、也不膨脹。

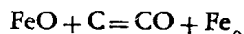
当熔池处于平靜状态时，鋼水富集了大量还原的矽。在此操作期間，熔渣中一氧化鉄的濃度也比前一个操作时期大大增加。操作后期，随着鋼水中矽濃度的增加，而熔渣中一氧化鉄的濃度也增加。

这种操作方法与酸性平爐法最近的学說相矛盾，并与酸性爐炼鋼法相矛盾。根据这种学說和方法，在操作末期，力求降低熔渣中一氧化鉄的濃度。这种傾向是以大家知道的物理化学定律为基础的。根据物理化学定律，在一定温度下，熔渣和鋼液中一氧化鉄濃度的比例保持不变，所以，熔渣中一氧化鉄含量的百分率越低，那么鋼液中一氧化鉄含量的百分率也越低。

通常是往爐內加入一定数量的鹼性物（主要是石灰（CaO））来降低熔渣中一氧化鉄的濃度。石灰在一定的限度上置換了与二氧化矽相結合的一氧化鉄，反应如下：



同时，一氧化鉄被鋼熔池中的碳还原，反应如下：



因此，使用石灰的結果，一部份排出的一氧化鉄被破坏了，熔渣中一氧化鉄的濃度也降低了。根据許多作者的資料，往爐內加入的石灰量波动很大：为熔渣重量的3%到18%。必須指出，熔渣中过多的石灰有害于爐衬的寿命：堤坡和爐底会强烈地被渣化。

熔渣稠粘时，为了稀釋熔渣及降低操作期間鋼中还原的矽含量，也加入石灰。

因此，用酸性平爐法炼鋼时，石灰是非常重要而必需的熔剂。

英国冶金家B.楊乃斯克〔2〕以及B.楊乃斯克和G.A.武德（G. A. Wood）

[1] 的著作中, 指出了酸性爐中加入石灰的作用, 并說明了操作过程中还原的矽对鋼液状态的影响。

I. 凱尔比 (I. Kilby) [3] 作出了表示熔渣中氧化鈣与二氧化矽量及一氧化鉄量关系的图表。

美国冶金家納孔·斯梯利 (Haakon Styri) [4] 也談到含氧化鈣的熔渣。英国冶金家 T. D. 摩根士 (T. D. Morgans) 和 F. 罗格士 [5] 推荐了这样的熔渣成分: CaO 10.02%; MgO 0.82%; 碱性物共計为 10.84%。

C. H. 貝格列夫 (C. H. Bagiev) [6] 的文章是近代冶金史方面的奠基著作。这篇文章中也談到酸性平爐法。文章中作者推荐了酸性平爐法的熔渣成分, 并将其分为两类: (1) 熔渣中 FeO 的濃度为 28—33% 时, CaO 的含量为 3—9%; (2) FeO 的濃度为 12—18% 时, CaO 的含量为 12—18%。

这篇文章詳細說明了酸性平爐操作的新方法, 并以上述原理作为基础。

还必须提到上述英国冶金家 F. 罗格士 [7] 极有价值的文章。在这篇文章中, 作者叙述了酸性平爐法的原理。他說道: “在整个氧化过程中, 不管采用什么方法, 而熔炼末期鋼的脫氧是非常重要的。如果不这样做, 那么鋼錠中会有气孔。这是許多情况下都不許可的缺陷”。

有两种能够得到良好結果的主要方法: 第一, 使熔池在熔炼操作末期达到 “适当” 状态 (proper condition)。在酸性平爐法中, 这种因素是非常重要的; 第二种因素就是 “脫氧剂”。

F. 罗格士說道: 1. “状态” 这个名詞无限制地和不可想象地經常濫用, 就越发掩飾了自己的无知。F. 罗格士所指的 “熔池状态” 就是指鋼水的温度、成分及熔渣的成分。

其次, 他解釋了熔池状态的特点 (此时, 熔池状态可用 “死靜” (dead melted) 这一名詞来表示)。他說道: “这个名詞的特点是: 在此操作阶段熔解于鋼中的氧量最少。当熔池达到这种状态时, 就达到平衡。这种平衡会引起在熔液 (鋼液) 中保存一定数量的一氧化鉄。一氧化鉄的含量与其他的因素有一定的关系, 这些因素即是温度和含碳量, 由于有鉄和 SiO_2 存在, 所以含碳量这一因素是主要的①。

在此平衡时期, 加入石灰就会置換一定数量的一氧化鉄。这些一氧化鉄与鋼液中的碳发生反应, 同时减少了系統中一氧化鉄的总量。

其次, 談到熔池的 “死靜” 状态时, F. 罗格士确定: 这种状态不是靜平衡, 而是动平衡②。

① “There is an appropriate equilibrium, involving the retention of an amount of iron oxide in solution, in the molten metal, which is quite a definite amount in relation to the other factors involved—temperature, carbon principally, in presence of iron, SiO_2 principally”

② “The equilibrium here referred to is not stationary, but as the reaction still continues, it passes through this condition.”

这种平衡在这里表现为不是静的，但是，在这种状态时，它是繼續不断的反应。

現在，談到鋼的脫氧及脫氧剂的作用問題，F. 罗格士指出：不会有一种能使鋼完全脫氧的脫氧剂，所以就必須使用两三种各自都产生作用的脫氧剂。

因此，根据F. 罗格士的原理，用上述方法进行的熔炼就是：在操作过程中到加入补加剂前，就使鋼脫氧，后来，为了鋼最后的脫氧，还必须加入各种脫氧剂。

用矽还原法熔炼时，只有在很少的情况下，才加入石灰；就是：

1) 为了調节熔渣到所需的濃度（流动度），也就是使熔渣的表面張力很高（非常重要的性能）。

2) 当矽含量超过稳定濃度，即高于說明書規定的要求量时，为了限制矽的还原。

近代酸性法文献中指出了第二个特点；某些冶金家認為，用酸性平爐生产優質鋼时，这具有很重要的意义。这就是在熔炼期間限制矽还原的傾向。因此，建議往爐內加入矿石和石灰。

苏联的文献中，M.M. 卡尔納烏霍夫教授是这个派别的解釋者及理論家。在他所著的“鋼冶金学”（1925年，第二卷）一書中，坚持了操作期間还原的矽对鋼質量有害的意見。根据M.M. 卡尔納烏霍夫教授对于文献（他所引証和批評的）的研究結果，他得出結論：当矽参加到鋼熔池中矽还原現象开始时，必須限制这种現象，并且还必須將一部分已还原的矽从鋼熔池中排除。为此，应同时往熔池內加入矿石及石灰。

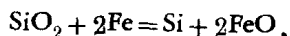
根据M.M. 卡尔納烏霍夫教授的意見，还原的矽形成鋼中的气泡。所以，增加鋼熔池中矽的濃度是不适当的。

由于M.M. 卡尔納烏霍夫教授与作者，对酸性平爐中的矽还原現象及还原的矽对鋼質量的影响方面，观点上都有分歧，所以，下面將詳細討論这个問題。

因为矽还原法中，在沸騰时期发生矽的还原，对这种矽还原应采取适当措施予以保持，同时，鋼熔池中矽的濃度逐漸增加；由于矽还原就使鋼熔池达到稳定状态，熔渣中一氧化鉄的濃度也随着增加。

AB图表及CD图表（图4）表示操作过程中鋼的成分及熔渣的成分。

根据鋼熔池中矽的濃度及熔渣中一氧化鉄的这些变化过程，可以得出結論：矽借助于鉄按下列反应进行还原：



因此，应当指出，用平爐普通法炼鋼时可以看到：傾向于降低鋼熔池中还原的矽含量，同时使用上述方法，也傾向于降低熔渣中的一氧化鉄量。

而用矽还原法炼鋼时，在操作过程中（作为基本原理）是力求尽量积极地发展矽（和錳）的还原現象。这种現象会引起熔渣中一氧化鉄的濃度自然增高。因此，用酸性平爐普通法炼鋼与用矽还原法炼鋼是不相同，而是相反的。

于是提出問題：炼鋼时，在熔炼末期（加入脫氧剂前），必須要求做到什么

呢？答复是：尽可能充分的脱氧，特别是钢熔池最后的脱气，以便在出钢前，尽量少加脱氧剂（碲铁、锰铁等），甚至完全不加脱氧剂。不加脱氧剂就是钢熔池预先脱氧完善及充分的直接指标。

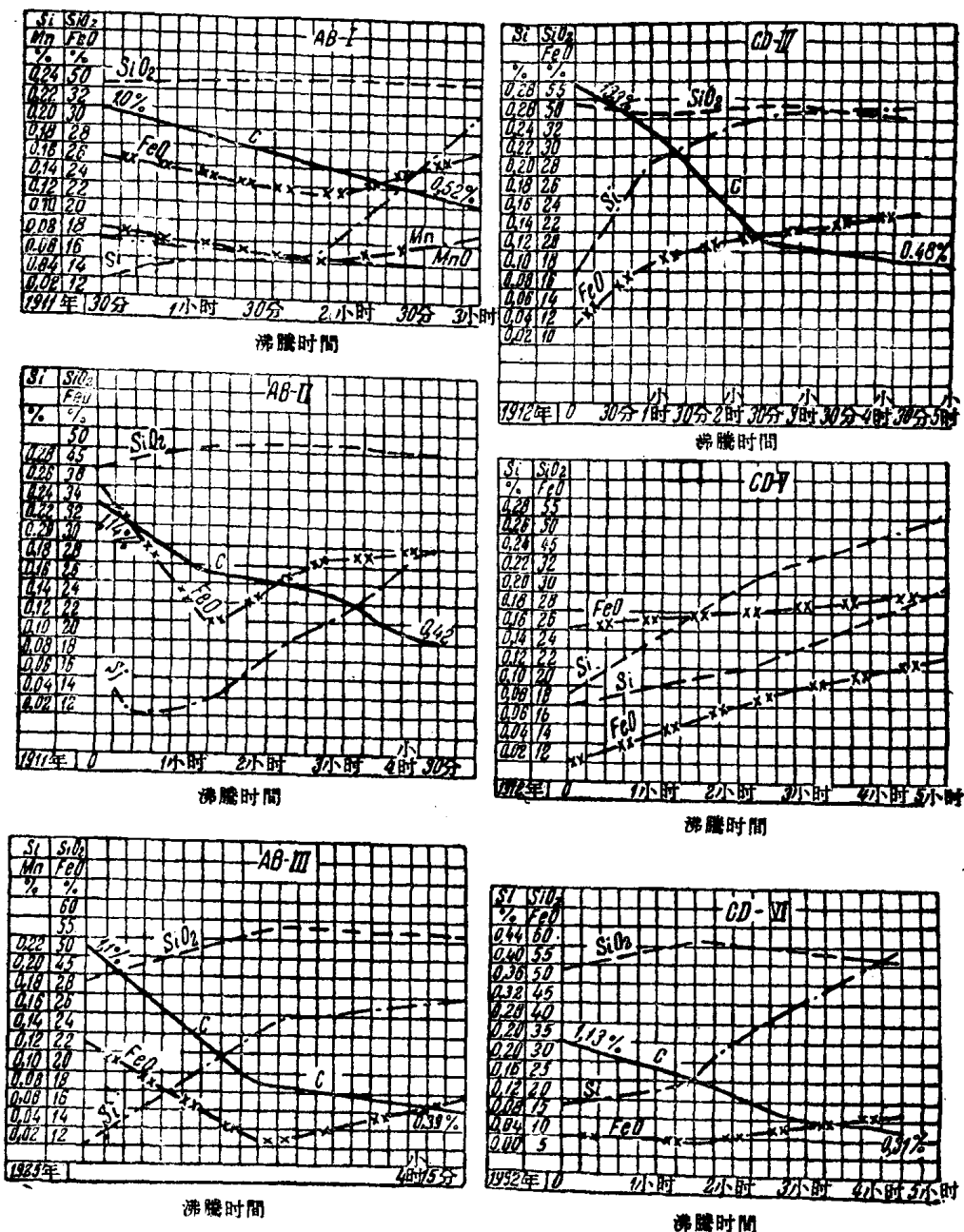


图 4 沸腾时间图表

很明显，用力求限制已开始的碲还原为基础的酸性平爐普通法熔炼时，到操作末期钢熔池通常是不脱氧，也不脱气的。钢熔池也不可能很好脱氧，如果脱氧的

話，那么其程度也是非常微弱的。到出鋼時，不預先加入脫氧劑是完全不可能的。這種鋼的鋼錠會有氣泡和大的氣孔，因而不適合軋制及鍛造。

現在，談到攷還原操作法。用這種方法時，操作期間經過“穩定”狀態的鋼到出鋼時，就不加入攷鐵及錳鐵，或者只加入少量的錳鐵。

如果在操作期間完全不往成品鋼中加入錳的話，那么，爐料熔清時期錳氧化後，也保存一定的錳量。這就是所謂“殘留”量，不高于0.09%到0.20%。

因此，加入脫氧劑越少，操作期間鋼熔池的脫氧越完全。

將攷還原煉鋼法與F. 羅格士所述的方法作比較時，必須指出：加入脫氧劑前，鋼熔池最後的脫氧程度有着重要的差別。

很明显，所謂鋼熔池的“適當狀態”，無論如何都不是平衡的狀態，而且其脫氧的程度，也與所謂“穩定”狀態不相符合。

出鋼前鋼已脫氧時，即羅格士所謂的“死靜”狀態的鋼熔池達到充分發展時，這就是操作的最後目的。羅格士建議：此時應加入一定數量的各種脫氧劑。事實表明：雖然使鋼熔池達到“死靜”狀態，但是熔池還需要繼續適當地進行脫氧。因此，得出結論：“死靜”狀態，鋼的脫氧程度是非常微弱的。同時，應當指出：羅格士對操作過程中的脫氧劑曾加以特別的注意。于是他提出問題：“既然非常關心使熔池達到“死靜”狀態以便進行脫氧，後來又加入脫氧劑會有什麼好處呢？”答復是：“……仔細研究後得出結論：一種脫氧劑不能使熔池充分脫氧，此時需要兩三種脫氧劑。每種脫氧劑都有自己的效用，而幾種脫氧劑相合的效用就比使用其中的一種時大”。根據F. 羅格士的意見，如果脫氧劑很好的話，那么脫氧劑是越多越好。還必須指出：F. 羅格士在其著作及話語中，沒有談到操作期間的攷還原現象，也沒有談到當鋼中的攷達到一定的濃度時，就是使熔池達到作者所謂“穩定”狀態的重要因素。

可以設想，操作期間如果沒有還原的攷存在，那么操作末期就決不能使鋼熔池脫氧；鋼中碳的平均含量為0.3—0.6%時，熔池是不能脫氧的。因此，還原的攷是酸性平爐中鋼的脫氧及脫氣方面最主要和積極的因素之一，只有還原的攷才能使鋼熔池充分脫氧。

根據上述原理，可以得出下列結論：攷還原法的穩定狀態就是鋼熔池最高度的脫氧。在酸性平爐中可以得到這種充分的脫氧。

在“穩定”狀態中（2—4小時的沸騰期），我們看到：一方面，熔池內碳的氧化很緩慢；另一方面，就是攷還原，因而鋼中攷的濃度不斷增加，很容易達到0.2—0.3%以上。

F. 羅格士法的“死靜”狀態與攷還原法的“穩定”狀態之間的差別就是：鋼熔池的脫氧不同，特別是脫氣程度不同。

如上所述，“死靜”狀態就是操作期間鋼熔池非常微弱的脫氧。從攷還原煉鋼法的觀點看來，在攷還原現象發展到適合於此方法所要求的攷濃度時，“死靜”狀