

平炉炼钢理论
和实践的新研究



出版說明

本书系根据苏联国立黑色和有色冶金科学技术图书出版社（Металлургиздат）1961年出版的高等学校校际科学討論会論文集《平炉炼鋼理論和实践的新研究》（Новое в теории и практике производства мартеновской стали）譯出。

論文集包括有苏联高等学校、科学研究机关和冶金工厂的中央試驗室在平炉炼鋼的理論和实践方面的科学研究著作。文章闡述了对脫碳机理和动力学的研究；在炉料中利用鉄矿石-石灰石团块（代替鉄矿石和石灰石）或复合熔剂——石灰石和鉄矾土焙烧产物——的平炉造渣过程；平炉熔池中氢的动态和金屬的脫硫过程；平炉熔炼热工制度的控制及其自动化；大型平炉的热工；燃料的气体动力学性质和平炉熔炼室內的气体运动等問題。此外，还有几篇文章闡述了利用真空和天然煤气时提高高合金鋼质量的問題。

参加本书翻譯的有蔣仲乐（1～62頁）、萧泽强（63～84頁和212～257頁）、閻貴芳（85～102頁）、余景祿（103～149頁）、陈世海（150～211頁）、李名俊（258～305頁）和刘維賢（306～337頁）。参加校对的有李名俊、蔣仲乐和陆鍾武。最后由蔣仲乐和萧泽强进行全书的复校，并請东北工学院炼鋼教研室周自定教授审閱。

本书可供炼鋼专业科学研究人員，高等学校教师和学生及工厂的工程技術人員参考。

目 录

炼鋼生产中科学研究工作的主要发展方向	В.И.雅沃依斯基(1)
金屬中含碳量低时脫碳的动力学規律	С.И.菲利波夫(6)
平炉熔池中脫碳的理論	С.Л.列文(12)
平炉熔池中脫碳的特点	Е.В.切利舍夫(19)
不同容量平炉熔池中的脫碳	И.С.米哈依列茨(29)
碱性平炉用废鋼法和废鑄矿石法时金屬熔池的碳与炉底的相互作用	
	В.А.斯塔尔采夫, И.В.烏姆里辛(35)
平炉熔池中的脫碳	А.И.斯特罗干諾夫(41)
碱性平炉废鋼矿石法熔化期的脫碳	Л.С.雷巴科夫(47)
討論	(55)
碱性平炉废鋼矿石法造渣的研究	Л.С.雷巴科夫(63)
向火焰送氧时碱性平炉內的造渣	Л.С.雷巴科夫(73)
冶炼含铬炉料时熔化期的造渣	
	И.В.烏姆里辛, В.А.斯塔尔采夫, А.Л.克列因(80)
应用复合熔剂——石灰石和鉄矾土焙烧产物——造渣	
	А.Л.克列因, И.В.烏姆里辛(85)
大型平炉炼鋼工艺的改进	
	Е.И.烏沙科夫, Е.В.阿波罗西莫夫, В.И.科茲洛夫, В.А.謝尔巴科夫, А.Г.科琴, М.И.薩比耶夫(91)
平炉熔炼中应用鉄矿石-石灰石的团块代替鉄矿石和石灰石	И.М.沃洛希娜(97)
加速平炉熔炼的造渣和脫硫	А.М.奧芬根坚(103)
强化鋼的脫硫过程	А.И.庫德拉齐耶夫, В.А.切尔尼亚科夫(108)
平炉造渣过程的若干問題	А.А.基謝列夫(115)
向平炉熔池吹粉状造渣剂强化炼鋼过程	В.М.卢派依科, И.В.烏姆里辛(118)
鉄水吹石灰和鋁的悬浮物进行炉外脫硫	С.К.索博列夫, Г.И.奧依克斯(126)
在盛鋼桶內用固体熔剂和液体炉渣处理鋼液改善鋼的质量	
	Л.К.布塔科夫, Л.М.梅利尼科夫(132)
討論	(143)
炉子自动調节的热工問題	М.А.格林科夫(150)
500吨平炉热工的研究	В.С.柯乔, В.И.格蘭科夫斯基(157)
平炉內煤气温度的自动調节	В.С.柯乔(164)
平炉炼鋼热制度的控制及其自动化	А.О.沃依托夫(170)

平炉相似原理概論.....	Э.М.戈利德法尔勃(178)
大型平炉的操作特点.....	В.С.普罗托波波夫(188)
大型平炉的热工問題.....	Г.М.格林科夫(191)
装配式平炉结构的理論基础.....	Н.И.伊万諾夫, В.Ф.加茹尔, В.И.沙赫林(196)
燃料的气体动力学性质和平炉熔炼室內的气体运动.....	Е.А.卡普斯金(205)
平炉用天然气加热时熔炼优质鋼的工艺特点.....	
.....	В.А.庫德林, Г.Н.奥依克斯, О.Д.彼特連科, А.А.尤德松, Ю.М.涅奇金, В.И.納姆, И.И.安舍列斯, Р.М.伊万諾夫, В.И.阿德利安諾娃(212)
鎂鉻砖炉頂平炉炼鋼的特点.....	
.....	Д.К.布塔科夫, Л.М.梅利尼科夫, А.М.利尔曼, В.Д.布琼內, П.П.巴比奇, А.И.辛克維奇(220)
酸性平炉熔炼工艺.....	
.....	В.А.庫德林, Ю.М.涅奇金, Е.И.秋林, Е.В.阿波罗西莫夫(227)
向熔池吹氧时炉料和炉渣的化学成分对脫磷过程的影响.....	
.....	В.И.格利戈里耶夫, Е.В.阿波罗西莫夫(232)
平炉用天然气时輝焰的获得.....	Н.И.斯維諾洛博夫, И.Д.謝米金(240)
炼鋼炉中金属的电磁搅拌.....	И.В.奥科罗科夫(248)
平炉熔炼优质鋼时利用在炉头內气化的方法燃烧高硫重油.....	
.....	И.И.謝苗年科(253)
討論.....	(255)
不脫氧的金属在盛鋼桶內应用真空处理生产滾珠鋼.....	
.....	Г.Н.奥依克斯, В.И.达尼林, И.И.安舍列斯, Г.А.索科洛夫, В.З.科諾諾夫(258)
通过振动改进沸騰鋼鋼錠的质量.....	
.....	В.Ф.克拉夫欽科, Е.В.阿波罗西莫夫, Л.А.拉扎列夫(264)
脫氧方法不同时碳素鋼和合金鋼的性能.....	Ю.В.涅克拉索夫(270)
大型平炉熔炼过程中气相对硫的动态的影响.....	
.....	И.И.彼尔恰特金, А.А.別茲杰涅日內赫, А.М.比格耶夫, В.И.列齐明(278)
向平炉熔池吹氧时熔池的溫度制度.....	Р.М.伊万諾夫, Е.В.阿波罗西莫夫(286)
吹氧时金属成分的变化.....	А.М.薩馬林, А.П.波特魯薩耶夫(292)
鉄水兑入平炉时在專門的流槽中用氧脫硅.....	В.А.弗克列夫(299)
平炉炼鋼的积极方法.....	И.И.戈尔巴托夫(306)
平炉熔炼金属內氮的实际浓度与平衡浓度的关系.....	
.....	К.Т.庫罗契金, В.А.巴烏姆(308)
再循环炉的熔炼进行过程中炉气的传氧和金属的含氧量.....	Е.А.卡札契科夫(315)
从气相向金属內传氧的速度.....	А.С.哈利頓諾夫(323)
討論.....	(329)

炼鋼生产中科学研究工作的主要发展方向

教授 技术科学博士 B.И. 雅沃依斯基

(莫斯科鋼鐵学院)

在最近若干年内,碱性平炉炼鋼法在鋼生产中仍然要起主要的作用。因此,进一步改进平炉的结构和创造新的、容量更大的平炉是冶金工作者的非常重要的任务。近年苏联准备新建容量为500吨的和更大的平炉。炼鋼工艺和冶金炉方面的学者与专家们应该积极参加設計和创造容量为750~800吨的和更大的平炉。

在这方面有若干問題还没有解决,需要深入探討。如平炉熔炼室尺寸的比例,炉头的型式,保证火焰有足够的鋪展性和保证热流在熔池长度和寬度上均匀分布的途径等,都是属于这一类的重要問題。

由于应用氧气,平炉的生产率能够提高20~30%。因此,冶金工作者和冶金学家的任务是探索在平炉炼鋼中新的和更完善的用氧的途径,研究在每个工厂和熔炼一定鋼种等的具体条件下应用氧气的方法。

最近几年,冶金工厂,包括平炉車間的燃料平衡正在发生很大的变化。在许多工厂中焦炉——高炉混合煤气,重油和发生炉煤气将被天然气取代。因此,在热工和工艺方面冶金工作者面临着一系列刻不容緩的課題。其中包括:

1. 組織有足够的鋪展性和亮度的火焰,即研究和选定煤气,增碳剂,空气和氧气的合理参数;
2. 設計能保证燃料消耗量最少、而平炉的生产率最高的燃烧器;
3. 研究天然气在工业性设备上自增碳的可能性和不用增碳剂的平炉的工作;
4. 研究和拟訂在 H_2O 的分压較高(达0.18大气压,在用富氧空气时还要高)时,应用天然气熔炼优质鋼的合理工艺。显然,这需要改变造渣过程及精炼,特别是脫氧和合金化的操作方法。

特别令人感兴趣的是进一步推广利用压缩空气改善火焰的鋪展性,保证向熔池的定向輻射和提高炉子的氧化能力。把压缩空气看作氧气的竞争者不是沒有根据的,許多苏联的研究人員对利用压缩空气的問題发生兴趣完全証明了这一观点。但是还有许多問題沒有解决。

如果不广泛利用自动装置,进一步强化平炉炼鋼是不能設想的。現在已經决定在苏联东部和南部一些工厂实行示范性的完全自动化。但是到现在为止,在炼鋼工艺的自动化方面几乎还是毫无作为。特别是平炉炼鋼工艺的自动化更是如此。在这方面可以預見到有下列研究阶段:

- 1) 研究能够表示熔炼过程的检测方法(指示或記錄装置);

2) 拟訂随着这些标准的改变而实际进行检测的方法;

3) 拟訂可以改变炉子的氧化能力或加入造渣材料等的自动化系統。

現在已經有必要根本改变平炉的結構，特别是由于建造容量为700吨的和更大的平炉。應該支持 M. A. 格林科夫教授的建議，即从两边加热熔炼室和同时从两边的炉头排出燃烧产物。这样就使例如国立黑色冶金鑄鋼与軋鋼设备設計院設計的750吨平炉 ($S = 137\text{米}^2$, $L = 22.5\text{米}$, $B = 6.1\text{米}$) 的这么大的熔池容易得到均匀加热。

現在存在着的下述見解也很有趣：利用氧气可以保证熔炼室内有很高的温度水平和給炉料大量的热流，但这会使炉子的砌砖有迅速损坏的危險，因为即使是較好的耐火材料其耐久性也不能滿足此时的要求。

因此，在利用氧气和高发热值的燃料时唯一正确的是用炉料本身来“保护”和“遮蔽”耐火砌砖。回轉炼鋼炉就是利用这个原則的途径之一。目前仅下塔吉尔鋼鐵公司有一座回轉炉在工作。仔細研究回轉炉的操作将会得出丰富的材料，以便在苏联推广这种受到普遍支持的方法。

利用“旋风式装置”将鉄水和造渣材料在加入平炉以前进行过热更合乎所提出的要求。B. Г. 图罗夫斯基工程师提出的这种方法規定，把熔融的和正在下落的材料沿着直立的旋风筒分成薄层。旋风式装置打算用焦炉煤气或天然煤气和利用純氧或富氧空气加热。

氧气轉炉炼鋼法在最近几年內要进一步发展，它是极为先进的方法，这不仅是因为它的每吨鋼的基本建設投资和加工费用比平炉炼鋼法低得多，而且还因为用这种方法可以比用碱性平炉更容易完成許多特殊的任务（如冶炼高铬的炉料）。

因此，国立冶金工厂設計院在拟訂最近十几年內炼鋼生产的主要发展方向时，規定要設計和建造容量达200吨的氧气轉炉。

現在，对氧气轉炉炼鋼法研究得还不够。虽然中央黑色冶金科学研究院在氧气噴管、轉炉和吹炼过程本身的模化方面所作的試驗（Г. И. 伊万卓夫和 M. И. 索巴金）是令人感兴趣的和得到普遍称贊的，但是还不能說轉炉的合理炉型、噴管的尺寸和供氧制度等現在已經确定了。氧气轉炉炼鋼法的工艺更是如此。与工厂一起研究轉炉炼鋼工艺的唯一机构只有中央黑色冶金科学研究院（С. Г. 阿法納西耶夫等人）。但是还有許許多多的問題需要吸收更多的研究机构参加。例如寻求吹炼时合理的温度制度以及决定着金屬与氧气有必要接触的流股的参数，研究控制金屬中各种杂质氧化的强度和順序的方法，应用粉状的氧化剂和造渣材料等等。研究的任务还包括在碳的浓度高时保証金屬順利地脫磷和在碳的浓度低时保証金屬的硫和磷含量也低。苏联实际上还很少应用氧气轉炉炼鋼法熔炼优质鋼和高级优质鋼，可是在林茨（奥地利）的工厂中已經掌握了用氧气轉炉炼鋼法大量熔炼滾珠鋼的工艺。

由于必須进一步提高鋼的质量，現在在冶金学家和冶金工作者面前摆着非常迫切的任务。需要扩大鋼的品种，例如增加板鋼（包括薄板），管鋼及軋制板卷和冷弯型鋼等鋼材用的鋼的产量。要大大增加低合金鋼的生产，它能够用在比普通碳素鋼更大的負荷下，是比較便宜的鋼种。

苏联的机器制造业对作为主要原材料的鋼的质量不断提出更高和更严格的要求，因此必須不断为提高鋼的质量而斗争。

冶金工厂中有加大鋼錠重量的倾向，这无论对平炉車間的經濟和組織工作，或更好利用現代軋制設備都是正确的。有些工厂已經在生产14~15吨重的沸騰鋼的板鋼鋼錠（曾試生产18吨的）和8~10吨重的型鋼鋼錠。在碳素鎮靜鋼和合金鋼方面也有类似的倾向。自然，随着鋼錠重量的加大，它的化学成分的不均一性也要增大，由于鋼錠本体中連續性的破坏，夹杂物的集中等引起的鋼錠缺陷也要增加。例如馬格尼托哥尔斯克鋼鐵公司企图在平炉中利用含硫不大于0.02%的生鉄是很能說明問題的。

冶金学家和冶金工作者面临的任務不仅是要設法进一步降低鋼中的有害杂质如P、S、O、H、N的浓度，而且还要研究不致降低平炉和轉炉生产率的路径。

在研究完成这些任务的实际途径以前，必須談到理論的作用，特别是实验室的实验对解决这种非常重要的工厂实际問題的作用。

可以认为，炼鋼生产中进行的大多数反应的热力学，現在已經大体上弄清楚了。而对炼鋼过程动力学的研究，情况則要差得多。在絕大多数的情况下，我們还不知道炼鋼过程的真实的反应机理，反应物质的真实本性和接触相的结构以及这些过程中进行得最慢的步骤。

在研究这些問題时，冶金工作者不必依賴理論冶金学方面的研究人員。所謂“单纯体系”的研究不仅为我们提供研究方法，也是研究我們直接发生兴趣的更复杂的多元系的基本前提。冶金工作者已經知道能够說明参与炼鋼过程的主要的相的成分，有时这些相的成分会使炉渣或金屬的某些組分的本性和存在形式发生根本变化。同时最終使排除炼鋼熔池中这样或另一样杂质的机理和动力学发生变化。

很有可能通过研究熔体的若干組分共同对熔体的粘度、密度、熔体中某些組分的扩散速度，表面的和相間的活性等的影响去研究金屬和炉渣熔体的真实本性。可以举下面的例子說明这一点。莫斯科鋼鐵学院炼鋼教研室通过研究已經确定，在平炉用氧冶炼高磷生鉄时，提高[Mn]到0.4~0.6%非常妨碍磷的氧化，尽管在当时的錳与磷的浓度比例和温度下，錳并不能与磷爭夺氧。由于研究了 $\text{Fe}+\text{C}$ ， $\text{Fe}+\text{C}+\text{O}$ ， $\text{Fe}+\text{C}+\text{O}+\text{P}$ 和 $\text{Fe}+\text{C}+\text{O}+\text{P}+\text{Mn}$ 等合金表面張力的大小获得了有关在鉄碳合金中有錳存在时，磷溶液的本性发生变化的可靠材料。其中有材料証明，在有錳存在时磷的表面活性减小，正如已經表現出来的那样，这在350吨平炉向熔池吹氧时起着决定性的作用。

利用已經发表的研究結果还可以再举出許多实例。总的情况是，炼鋼炉熔池中某些杂质的存在形式与在鉄-杂质的二元合金中的存在形式远不总是是一致的。因此，知道了炼鋼过程中鉄的合金的成分和利用了“純二元系”的数据后还必须研究这些比較复杂的合金和其中每一組分的特殊本性。

在可以提高炼鋼設備的生产率并大大降低有害杂质浓度的措施中，應該指出炉外处理鉄水和鋼液的方法。例如在盛鉄桶內吹氧使生鉄脫硅，用粉狀脫硫剂（如用惰性气体吹入鉄水的石灰和鋁的混合物）使生鉄脫硫，应用液体錳等等。在炉外处理鋼液的方法中可以指出利用电炉炼鋼过程最后的炉渣（液态的或粉狀的）使平炉鋼脫硫、脫氧和脫气以及許

多其他的方法。

探索混合物的合理成分和将混合物加入熔融金屬中的最好的方法及保証处理用的混合物与液体金屬有最大的接触表面是我們研究人員的基本任务。

当然，只有在处理用的材料的加入完全机械化和尽可能自动化并为工作人員創造卫生的劳动条件后才可能解决工业性生产的問題。應該指出，因为用苏打使生鉄脫硫时的劳动条件不好，将使这个方法不宜于象現在这样应用了。

由于鉄合金不能充分滿足要求，炼鋼工作者又面临着新的問題。脫氧剂不足是广泛生产半鎮靜鋼的基本原因之一。直到現在，半鎮靜鋼还很少被注意。这方面的主要研究方向是：

- 1) 制定新的熔炼和浇注半鎮靜鋼的方法；
- 2) 研究在炉內脫氧，在桶內用硅鉄和鋁脫氧和在模內用鋁脫氧（生产封頂的沸騰鋼）的生产半鎮靜鋼的方法；
- 3) 降低半鎮靜鋼鋼錠的非金屬夹杂物含量和寻求合理的脫氧方法。利用半鎮靜鋼滿足鋼管工业的需要（主要是焊管）令人很感兴趣。

虽然有大量著作闡明提高鋼錠质量和收得率的問題，這個問題还远远沒有得到解决。

應該在下列几方面进行研究工作：

- 1) 应用加热的方法，电弧加热、感应加热和利用非自耗电电极的电渣加热等；
- 2) 利用在氧气流中可燃烧的粉状鉄合金；
- 3) 进一步研究利用发热的混合物加热鋼錠保温帽部分的方法；
- 4) 制定导热性低的保温帽的結構及其使用方法。

應該指出，第一种方法是非常先进的，与电弧加热比較有一系列优点，归结起来首先是可以消除电弧气氛对液体金屬的影响，不会使金屬增碳和过分的局部过热。

结晶过程中鋼錠的颤动和振动的影响虽已有了一些詳細的研究，而且在許多具体情况下已經选定了合理的颤动或振动参数（振幅、頻率、鋼錠凝固时期振动的時間等），但是，这种方法在苏联尚未普遍应用。有些研究人員和工厂得到的一些否定的結果或許是由于选定振动参数时沒有充分考虑金屬的物理性质引起的。烏拉尔的研究人員 И.В. 烏姆里辛，К.Н. 沙巴林，В.М. 戈沃尔科夫等还在这方面繼續进行工作。

基輔的研究人員拟訂的机械搅动金屬的方法是很有趣和值得称道的，它的基本思想可以归结为使整个鋼錠体积中的金屬达到充分均匀的冷却和实际上同时凝固。早先进行的試驗表明，随着底板和其上的鋼錠模的回轉的参数不同，或者得到致密的細晶粒的鋼錠結構，几乎沒有收縮缺陷，或者在“浇口”內部得到最初几秒钟结晶的粉状金屬。繼續研究控制鋼錠结晶过程的方法是很有趣的。

必須进行超声波对鋼錠結構的影响的工业性試驗。在国外的文献中有人怀疑这种方法在經濟上的合理性和是否有充分效果。但是大家知道，利用超声波提高鋼錠质量（去气，細化晶粒，消除偏析和收縮缺陷）的认真的試驗到現在为止还没有进行过。

繼續研究直流电对鋼錠形成过程，鋼錠內有害杂质分布过程和鋼的去气等的影响是合理的。虽然到現在为止已經获得的結果是相当平常的。

如果說上述提高鋼錠質量的某些方法還有不少問題，那麼比較起來鋼在桶內或者澆注和結晶過程中在模內真空處理的方法已經沒有人懷疑了。但是這裡也有繼續研究的余地。首先，澆注時進行真空處理的鋼的熔煉工藝本身應該向進一步強化熔煉和縮短熔煉時間方面變化；應該重新研究熔煉的溫度制度和渣制度。特別令人感興趣的是由於要進行真空處理應該採取的合理的脫氧和去氣的方法。第二，令人特別感興趣的是，研究鋼的真空處理過程本身，研究某些反應的動力學及從鋼中排除雜質和破壞懸浮在鋼中的夾雜物。第三，冶金工作者的任務是改進真空裝置的結構並尽可能降低其成本。極為重要的任務是研究新的真空處理的方法，例如試驗不久以前，斯塔拉脫提出的在大型盛鋼桶內真空處理的方法（在真空中循環）是特別有趣的。

大家知道，在七年計劃中蘇聯將建有能澆注爐產量為 135 噸和 250 噸鋼水的連續鑄錠裝置。在最近若干年內這些裝置將投入生產。

毫無疑問，連續鑄錠原則上可以保證金屬的質量比一般鑄錠方法高得多。有可能達到沿鑄坯長度和斷面金屬的化學成分均勻一致，細的結晶結構，高的致密性，非金屬夾雜物分布比較均勻，而且常常很細，所有這些都要求廣泛研究和改進鑄錠機的結構和澆注工藝。尋求消除連續鑄坯上的裂紋，鑄坯的彎曲和表面缺陷（縮孔、結疤、夾渣等）的途徑是嚴重的任務。

應該在改進連續鑄錠機的結構（制定能消除引起裂紋的金屬內部強烈的應力的結構等）和制定連續鑄錠用鋼的熔煉工藝等方面進行研究工作。毫無疑問，在連續鑄錠機中對鋼的結晶的特殊要求應該也在熔煉工藝中反映出來。應該補充一下，我國的優質鋼和高級優質鋼的冶金工業現在已經有了原則上新的生產方法，其中有：真空感應爐熔煉，在真空中用電弧焊和自耗電極的方法熔鑄鋼錠，電渣鑄錠，在真空中生產鐵合金等等。有些老的提高鋼質量的方法也已以新的、更完善的形式在應用。例如電渣法在生產滾珠鋼時由於細小的熔融的電極液滴與能活潑的溶解非金屬夾雜物的爐渣緊密接觸得到了良好的結果。

在更高的技術水平上應用了彼爾林和托欽斯基的方法。

最後，應該指出，大多數研究人員和煉鋼工作者的任務將是要繼續從事改進現有的各鋼種的熔煉和澆鑄的方法，研究煉鋼設備中的某些反應，改善造渣過程進行的條件，以及強化精煉反應等。

金屬中含碳量低时脫碳的动力学規律^①

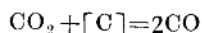
教授 技术科学博士 С.И. 菲 利 波 夫

(莫斯科鋼鐵学院)

在生产条件下获得的丰富的試驗材料, 揭示出鋼中含碳量降低时鋼脫碳过程的特点。在这个范围内发现脫碳过程很显著的减慢和熔池的沸腾微弱。

提高向熔池供氧的强度是不会有更大效果的, 而且对熔炼軟鋼还会造成額外的工艺上的困难。所发现的金屬的脫碳过程减慢用过去提出的气泡生成变慢的理論或氧化亚鉄由炉渣向金屬中的扩散是不能解释的。研究脫碳过程的本质和正确判定限制性步骤有着巨大的实际意义。

曾在實驗室条件下在动力学方法的基础上在熔融金屬与氧化剂的气流相互作用时研究了鋼脫碳的动力学規律。为了避免复杂化的二次反应, 应用了二氧化碳作为氧化剂。按照反应



将气体的体积变化或气流速度的大小作为脫碳强度的指标。

这样也有可能用簡易的方法将氧化反应随时间的进行过程可靠地記錄下来。金屬的試驗性熔炼(重量为70~100克)在高頻感应炉的石英的反应坩埚[1]中进行。含碳量一定的金屬在剛玉或鎂砂坩埚內在氫气气氛中熔化。改用鎂砂坩埚是由于金屬中含碳量低时剛玉很容易渣化并在熔融金屬的表面上出現氧化膜。达到試驗溫度以后便向金屬的表面以一定的速度通氧化剂——二氧化碳——的連續气流。氧化剂由直径3毫米的石英管通入, 石英管的末端放在熔融金屬上面6~10毫米处。用毛細管流速計測量二氧化碳的通入速度和气体的反应产物排出的速度。周期性地取气体的試样, 用一般的容量法測定試样的成分。因为气相中各組分的粘度不同, 所得的数据可用于修正用二氧化碳作为刻度的流速計的讀数。为此要用下式

$$v_{\text{ф}} = v_{\text{р}} \frac{100}{x + y K_{\text{CO}} + z K_{\text{Ar}}} \quad (1)$$

式中 $v_{\text{ф}}$ ——实际的气流速度, 毫升/分钟;

$v_{\text{р}}$ ——測出的气流速度, 毫升/分钟;

x, y, z ——相应为 CO_2 、 CO 和 Ar 的体积百分数。

修正系数 K_{CO} 和 K_{Ar} 的大小决定于气体組分的粘度与二氧化碳的粘度的比值

$$K_{\text{CO}} = \frac{\eta_{\text{CO}}}{\eta_{\text{CO}_2}} \quad \text{和} \quad K_{\text{Ar}} = \frac{\eta_{\text{Ar}}}{\eta_{\text{CO}_2}} \quad (2)$$

① 实验工作是与B.И. 安托年科共同完成的。

对气体組分的粘度进行修正以后, 可以将生成的一氧化碳的数量换算为熔融的铁的脱碳速度:

$$v_c = A \cdot \frac{v_{\Phi} \cdot y}{m} \quad (3)$$

式中 v_c ——脱碳速度, %/分钟;
 A ——比例常数;
 v_{Φ} ——气流排出速度, 毫升/分钟;
 y ——气流中一氧化碳的含量, %;
 m ——金属重量, 克。

对于試驗的条件采取了下列数值, $\eta_{Ar} = 222 \times 10^{-8}$; $\eta_{CO} = 177 \times 10^{-8}$; $\eta_{CO_2} = 147 \times 10^{-8}$ 克/厘米·秒; $A = 0.000268$ 。

試驗性熔炼的结果

炉号	氧化剂通入速度 (毫升/分钟)	金属的重量 (克)	反应表面 S (厘米 ²)	熔池容积 V ① (厘米 ³)	S/V	碳的临界浓度 [C] _K	K_1	K_2
28	60	99.5	4.90	12.7	0.386	0.21	—	—
30	90	90.7	3.14	11.3	0.278	0.45	0.218	—
31	75	69.1	3.14	8.8	0.357	0.31	0.350	0.460
33	50	69.8	3.14	8.8	0.357	0.22	0.313	0.530
34	50	69.4	3.14	8.8	0.357	0.23	0.256	0.452
35	40	77.3	3.14	9.7	0.324	0.19	0.333	0.498
36	30	81.4	3.14	10.5	0.313	0.13	0.345	0.586

① 原书誤为 Q ——譯者。

用按电解铁和镍校正的光学高温計测量了金属的温度。在进行試驗性熔炼时周期性地取金属試样, 方法是用橡皮球把金属吸入石英管中。在1550~1600°C的范围内有几炉試驗性熔炼的有代表性的結果已列入表中并制成金属脱碳时气流排出速度的变化曲綫(图1)。曲綫的位置和形状反映出脱碳过程的动力学阶段的特点。平行于時間座标的直綫表明在一定的時間間隔內金属的脱碳速度是一定不变的, 虽然金属的含碳量在不断降低。从一定的时刻开始曲綫出現轉折, 脱碳过程减慢, 这个时刻与达到一定的碳的临界浓度有密切关系。这时曲綫趋向一定的, 与向金属供給氧化剂的給定速度相适应的范围。如果增加向金属通入氧化剂的强度, 气体的反应产物排出速度的曲綫就向上移动。此时曲綫的形状保持不变, 并反映出脱碳过程的不同动力学阶段。曲綫的水平部分比生成一氧化碳速度的数值大。在熔池成分变化到碳的临界浓度以前的区間, 脱碳过程在反应的扩散范围內进行, 受氧化剂向反应地区轉移的限制。脱碳过程的規律服从动力学方程式

$$-\frac{dC}{d\tau} = S/V \times a \times \frac{p_0}{\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{K_s}} \quad (4)$$

式中 S/V ——反应表面与熔池容积之比;
 a ——比例常数;

p_{O_2} ①——氧化剂的压力;
 α 和 K_x ②——通入氧化剂和化学反应的速度常数。

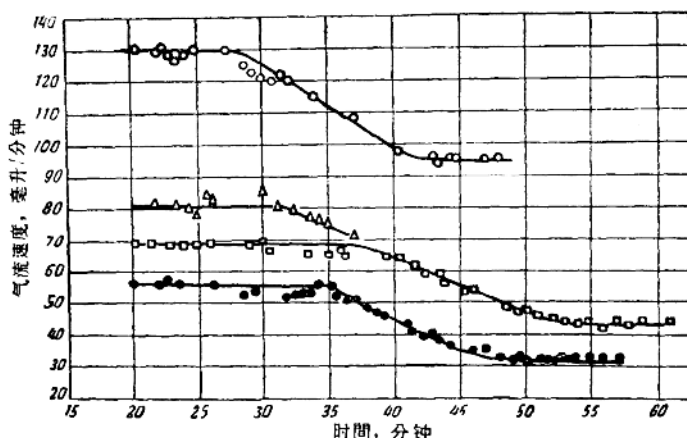


图 1 試驗性熔炼时脱碳的进程

○—氧化剂流量, 90毫升/分钟; △—同前, 50; □—同前, 40; ●—同前, 30毫升/分钟

試驗表明, 向熔池供氧的每个给定强度相应有其一定的脱碳速度, 与金属中的含碳量无关。在 p_{O_2} = 常数时:

$$\alpha_1 \sim -\left(\frac{dC}{d\tau}\right)_1 = B_1,$$

$$\alpha_2 \sim -\left(\frac{dC}{d\tau}\right)_2 = B_2,$$

$$\alpha_2 > \alpha_1 \text{ 和 } B_2 > B_1.$$

按照发展的理論[2], 脱碳过程的减慢应该在金属中一定的碳的临界浓度时发生, 当时进行着表面反应地区的更新。同时产生新的限制性环节, 与过程受到供給氧化剂的限制相似。开始进入反应区的碳便少于可能被氧化的。在临界点氧化剂和被氧化元素的气流相等, 这样便可以发现决定临界浓度的因素。临界浓度的大小应随向熔池供給氧化剂的强度增加而增加, 随金属的搅动加强使碳加速进入反应地区而降低(如表)。

图 2 是低碳的金属从临界浓度开始碳的浓度随时间变化的試驗曲綫。起点相当于临界浓度, 金属的氧化愈强烈, 临界点的位置愈高。以后熔池脱碳的曲綫的变化过程証明, 随着試驗性熔炼的条件不同, 脱碳过程发生不同的减慢。查明在低碳的浓度范围内脱碳过程的机理和本质是很重要的。要在理論前提的基础上揭示出脱碳过程的規律。在金属中含碳量低于临界浓度时扩散动力学的規律和被氧化的碳进入反应地区的限制性环节起作用。金属脱碳的进行过程应该决定于金属中的含碳量和服从动力学方程式:

$$-\frac{dC}{d\tau} = S/V \times \frac{[C]}{\frac{1}{\gamma} + \frac{1}{K_x}} \quad (5)$$

① 原书誤为 P_x 。——譯者

② 原书誤为 K_O 。——譯者

或者对于一定不变的熔炼条件为

$$\frac{dC}{d\tau} = S/V \times K \times [C] \quad (6)$$

积分后得

$$\lg \frac{[C]_{\kappa}}{[C]_{\tau}} = S/V \frac{K(\tau - \tau_{\kappa})}{2.303} \quad (7)$$

对总的常数为

$$K = \lg \frac{[C]_{\kappa}}{[C]_{\tau}} V/S \times \frac{2.303}{(\tau - \tau_{\kappa})} \quad (8)$$

式中 $[C]_{\kappa}$ 和 $[C]_{\tau}$ ——碳的临界浓度和在某一定时刻的浓度;

$\tau - \tau_{\kappa}$ ——从达到临界浓度时算起的时间。

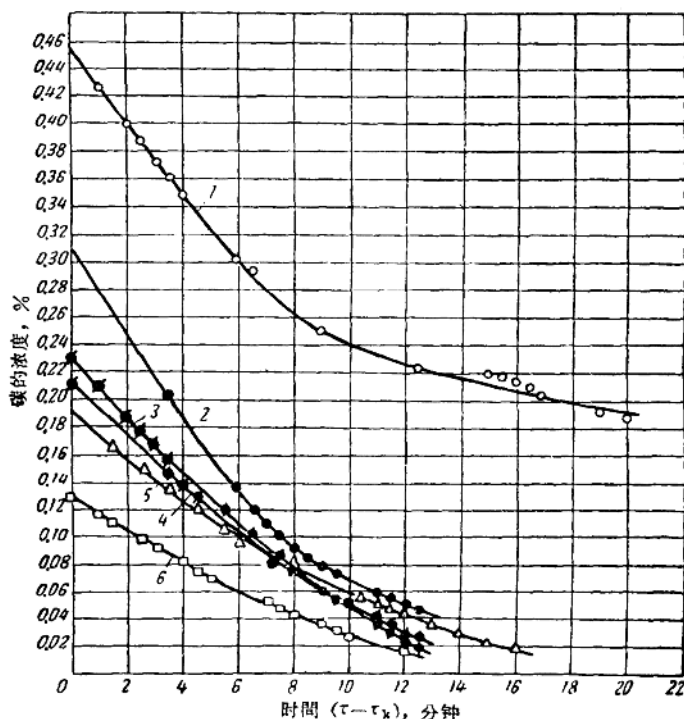


图 2 在低碳金属的范围内碳的浓度随时间的变化

1—氧化剂流量, 90毫升/分钟; 2—同前, 75; 3—同前, 50; 4—同前, 50; 5—同前, 40;
6—同前, 30毫升/分钟

方程式表明, 脱碳的进行过程应该服从碳的浓度与时间的对数关系。从中找出脱碳过程的重要的定量指标 $[C]_{\kappa}$ 和 K 。试验的资料在理论的范围中, 并可以更深入地阐明规律的本质。如果把直线部分放在对数的坐标上, 则将出现新的重要的现象 (图 3)。在直接强烈氧化熔融的金属时, 脱碳过程可能分两个阶段进行。其中每一个阶段相应于直线部分一定的斜率, 并有自己的脱碳过程的速度常数值。第二阶段可能减慢也可能加速。在金属含碳量低时个别试验的点的速度常数值有稍稍增大的倾向。第二阶段的常数的平均值 K_2 。

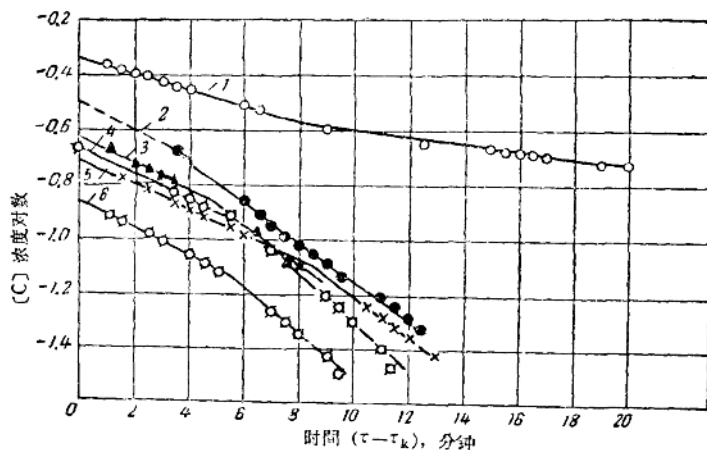


图 3 碳浓度对数与时间的关系

1—氧化剂流量, 90毫升/分钟; 2—同前, 75; 3和4—同前, 50; 5—同前, 40; 6—同前, 30

比第一阶段的 K_1 要高(如表和图4)。还发现熔炼的氧化条件有一定影响。随着向熔池通入氧化剂的强度增加, 常数减小, 特别是 K_2 ; 这就会导致在第二阶段脱碳过程的减慢(曲线2, 图4)。用肉眼可以很清楚地记录下来, 脱碳的减慢是与金属面上出现渣相有关的。补充的试验性熔炼是在有炉渣的坩埚中进行的, 试验证明, 炉渣对气体氧化剂与金属的接触起着重要的作用(图5)。在熔融金属的表面上出现炉渣的时候, 气流的排出速度显著降低, 金属的脱碳减慢。在第二阶段速度常数, 特别是 K_2 的减小, 与同时有铁氧化并生成氧化亚铁有关。这使进行脱碳反应的反应面积缩小。在金属熔池强烈氧化时可能在一定范围内生成渣相。在别的时候所发现的第二阶段脱碳过程加速的可能性与加强生成气体和熔池的搅动有关。总的动力学方程式(5)反映出搅动因素的积极作用, (5)内包含着碳向反应地区转移的速度常数 γ 和反应表面与熔池容积之比 S/V 。理论和所得的试验资料揭示出, 当气体氧化剂与金属熔池相互作用时, 在金属完成脱碳的阶段和碳的浓度低时, 金属脱碳过程加速或减慢的规律, 这对实践是很重要的。

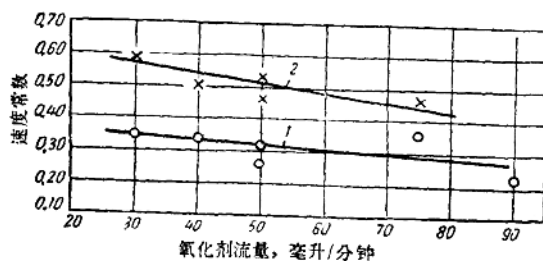


图 4 脱碳过程速度常数的平均值与通入氧化剂的强度的关系

1— K_1 ; 2— K_2

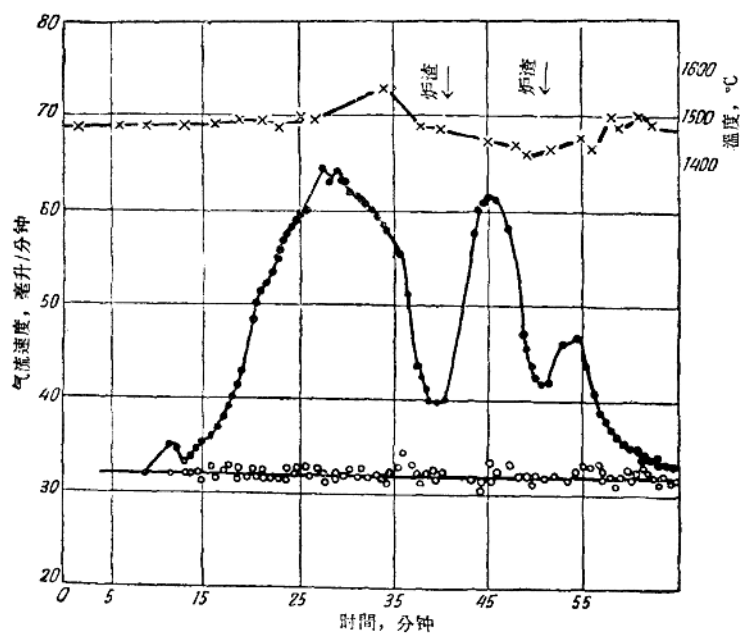


图 5 試驗性熔炼期間脫碳的进程

○—通入氧化剂的速度；●—反应产物的排出速度；×—溫度

参 考 文 献

1. С. И. Филиппов, М. М. Ключев, В. И. Симонов. Сб. трудов Московского института стали, XXXVI, Металлургиздат, 1958, 64.
2. С. И. Филиппов. Научные доклады высшей школы. Металлургия, № 1, 1958, 26.

平炉熔池中脱碳的理论

教授 技术科学博士 С.Л. 列文

(德聂伯尔彼得罗夫斯克冶金学院)

脱碳速度

平炉熔池条件下的脱碳是自动调节的过程, 因为脱碳速度决定于向反应地区供给氧的速度, 而氧的供给是随脱碳速度的增加而增加的。

脱碳速度对氧进入反应地区的速度的影响可以表示如下:

$$v_o^a = v^o + k \frac{S}{Q} \sqrt{N_r} \quad (1)$$

式中 v_o^a ——在脱碳速度 v_c 时氧进入反应地区的速度, %/分钟;

v^o ——不进行脱碳时氧进入金属中的速度, %/分钟;

N_r ——熔池的单位搅动强度, 瓦/吨;

$\frac{S}{Q}$ ——平炉的单位炉底面积 (S ——炉底面积, 米²; Q ——装入量, 吨), 它决定着对单位金属重量的炉渣与金属的接触面积, 米²/吨;

k ——比例常数。

因为[1]

$$N_r = v_c T F(H) \quad (2)$$

式中 v_c ——脱碳速度, %/分钟;

T ——熔池温度, °K;

$F(H)$ ——函数, 其值决定于熔池深度。

所以

$$v_o^a = v^o + k \frac{S}{Q} \sqrt{F(H)} \times \sqrt{T} \times \sqrt{v_c} \quad (3)$$

由于熔池的搅动而产生的氧进入金属中的速度的增量 $\left(k \cdot \frac{S}{Q} \cdot \sqrt{N_r} \right)$ 与单位搅动强度的平方根成正比, 这是因为单位金属在单位时间内伴随搅动进入熔池的额外的氧量与搅动时熔池的单位体积的运动速度成正比, 而运动速度又与使这些体积发生运动的能量的平方根成正比。

在其他条件相同时, 进入单位金属中的氧量与对单位金属的炉渣与金属的接触表面 (决定于 $\frac{S}{Q}$) 成正比。因此, 无论是 v^o 的值和伴随熔池的搅动而产生的氧进入速度的增量都与 $\frac{S}{Q}$ 成正比。

图 1 表明在脱碳速度 (v_c) 变化时氧的进入速度 (v_o^o) 及其用于脱碳的消耗速度 (v_o^p) 的变化过程。

脱碳刚开始时, 熔池尚无搅动, 当时存在着一定的氧进入反应地区的速度 v_o^o , 在这样的条件下, 脱碳速度发展到 v_c^o 。在脱碳速度达到 v_c^o 时, 由于搅动的结果氧的进入速度增加到 v_o^a , 于是也使脱碳速度增加到 v_c^a 。在脱碳速度 v_c^a 时, 氧的进入速度增加到 v_o^b , 于是使脱碳速度增加到 v_c^b , 如此等等。脱碳速度的这样的增长一直持续到氧的进入速度与其消耗速度相等时 (图 1 中 v_o^o 线 与 v_o^p 线的交点)。此时达到的 v_c 值决定于影响脱碳进行过程的许多因素的配合。

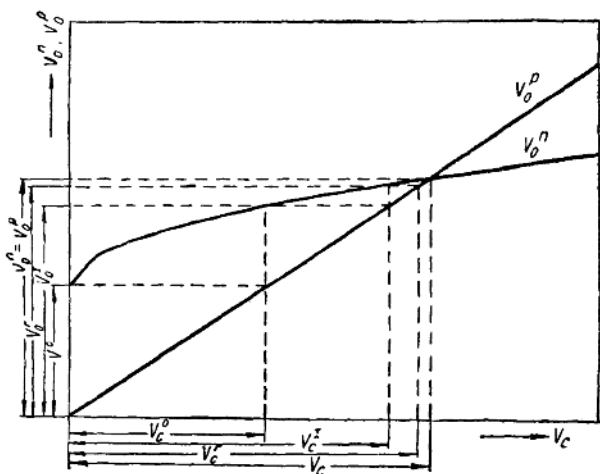


图 1 脱碳过程自动加速的示意图

在脱碳的自动加速停止进行和建立起与工艺条件的一定的配合相适应的脱碳速度时, 存在着 $v_o^o = v_o^p$ 的平衡, 因而

$$v_o^o + k \frac{S}{Q} \sqrt{F(H)} \times \sqrt{T} \sqrt{v_c} = \frac{16}{12} v_c \quad (4)$$

或者如果采取

$$\frac{12}{16} k \frac{S}{Q} \sqrt{F(H)} \sqrt{T} = m \quad (5)$$

则

$$\frac{12}{16} v_o^o + m \sqrt{v_c} = v_c \quad (6)$$

对 v_o 解方程式 (6) 得

$$v_c = \frac{12}{16} v_o^o + \frac{m^2}{2} + m \sqrt{\frac{12}{16} v_o^o + \frac{m^2}{4}} \quad (7)$$

由方程式 (7) 可见, v_c 是随 v_o^o 和 m 的增加而增加的。知道各种因素 (炉渣中氧化亚铁的活度, 金属中的含碳量, 炉气的氧化能力, 炉渣的粘度, 温度和炉渣与金属的单位接触表面) 对 v_o^o 和 m 的影响以后, 即可确定这些因素对脱碳速度的影响。

炉渣成分与脱碳过程之间的关系

炉渣成分影响着脱碳过程, 因为氧进入反应地区的速度 v_o^o 决定于炉渣的成分。这个速度决定于下式:

① 原书误为 v_o 。——译者

② 原书误为 v_o 。——译者