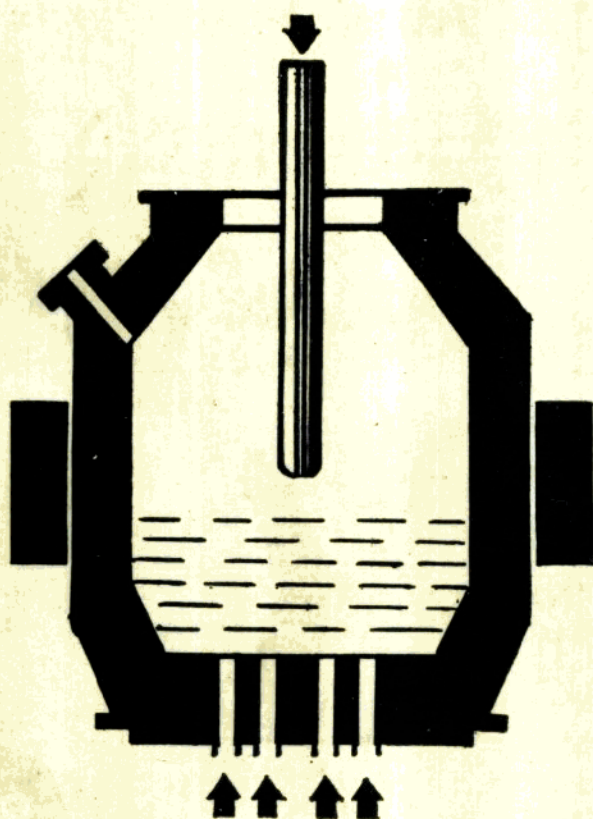


国外转炉顶底复合吹炼技术

(三)

赵荣玖 阎峰 张荣生 主编



中国金属学会 冶金部情报研究总所

北京 · 1988年7月

前 言

为在“七·五”期间加速发展我国转炉复吹技术和便于技术攻关工作的进行,冶金部科技司继“国外转炉复合吹炼技术”第一辑(上、下册)和第二辑编译出版之后,又组织冶金部情报研究总所、北京钢铁设计研究总院、冶金部钢铁研究总院等单位编译出版第三辑。

第三辑的文章选自英、日、俄、德、法等文种的会议、期刊(1986~1987)中的主要文章。所包函的内容范围与前两辑基本相同,但在铁水预处理和转炉少渣精炼以及自动化和热补偿方面的比重有所增加。这与近几年来铁水预处理技术发展迅速,转炉复吹正在步入联接前后工序、分离炉内冶炼机能的新发展时期密切相关。本文集分为12个部分,计150多篇文章,32条专利索引。

全书由冶金部情报研究总所阎峰同志负责编辑出版,北京钢铁设计研究总院赵荣玖同志、冶金部钢铁研究总院张荣生同志负责技术审校工作。在出版过程中得到冶金部科技司陶晋、刘志刚、李继宗、幸超等同志的指导和帮助,在此深表感谢。由于编者水平有限,不当和错误之处尚望专家和读者批评指正。

编者

1988年7月

目 录

第一部分 综合评述

- 一、转炉复吹展现出的发展趋势.....赵荣玖 邓开文 李继宗 (1)
- 二、35年来LD氧气炼钢法的开发和成就及其未来的前景
.....L.V.Bogdandy 等 (10)
- 三、福山钢铁厂二炼钢转炉的高效率操作.....滝千尋 等 (24)
- 四、以最少投资改造BOF车间.....H.G.Dietl 等 (25)
- 五、氧气转炉方法的发展和完善问题.....В.И.Баншпанский 等 (34)
- 六、转炉复吹炼钢的运用.....С.З.АФОНИН 等 (39)

第二部分 复吹转炉精炼工艺

- 一、BOF炼钢过程中的复合吹炼技术.....Takuo Imai 等 (41)
- 二、顶底吹转炉的吹炼方法..... (53)
- 三、转炉吹炼法..... (60)
- 四、大型碱性氧气转炉复合吹炼工艺.....Ya.A.Shneerov 等 (62)
- 五、索里麦赫钢厂100%用LET法的操作实践.....J.P.Gugliermi na 等 (66)
- 六、顶底复吹转炉吹炼制度的最佳化.....副岛利行 等 (71)
- 七、精炼过程粉剂喷吹控制.....岩村忠昭 等 (73)
- 八、转炉吹炼脱磷铁水技术.....川崎正藏 等 (86)
- 九、脱磷铁水的转炉吹炼(预处理铁水吹炼技术开发之一).....川上正弘 等 (94)
- 十、几种复吹方法在新日铁的应用与特征..... (96)
- 十一、水岛厂LD转炉改成K-BOF转炉及其冶金特点.....Takuo Imai 等 (107)
- 十二、新日本钢铁公司ORP(最佳精炼工艺)的开发.....K.Chinara 等 (115)
- 十三、八幡钢铁厂顶底吹转炉的低铁水比操作.....大堂九仁雄 等 (124)
- 十四、在八幡钢铁厂三炼钢顶底吹转炉中低氢吹炼技术的开发
.....高崎義则 等 (125)
- 十五、降低少渣吹炼时渣中(T,Fe)的技术(预处理铁水吹炼技术的开发之二)
.....村木靖徳 等 (127)
- 十六、少渣吹炼的冶炼特征.....池田正文 等 (128)
- 十七、防止转炉产生泡沫渣的方法.....増田誠一 等 (133)
- 十八、复吹转炉稀释脱碳法的改进.....小山内寿 等 (135)
- 十九、用顶底复吹转炉精炼高碳钢的方法..... (136)
- 二十、减轻转炉精炼负担.....蓋飽潔 等 (139)
- 二十一、在复吹转炉中预处理铁水的吹炼(水岛钢铁厂铁水预处理设备的建设和操作之二).....小山内寿 等 (145)

二十二、顶底吹转炉利用强搅拌扩大精炼功能	石塚晴彦 等 (146)
二十三、强弱交替吹氧炼钢法	(151)
二十四、出钢过程中吹炼的效果	小山内寿 等 (156)
二十五、转炉内高锰停吹技术的开发	竹岛康志 等 (157)

第三部分 复吹转炉冶金

一、顶吹粉体的复合吹炼法 (STB-P法) 的精炼行为	増田 诚一 等 (159)
二、在试验转炉中全废钢操作法的开发	仲村秀夫 等 (168)
三、吴厂顶底复吹转炉的冶金特性及操作	Hiroshi Takahashi 等 (169)
四、转炉熔池中相逆流股的喷吹特性 I	A. Г. Чернямевич 等 (175)
五、转炉熔池中相逆流股的喷吹特性 II	A. Г. Чернямевич 等 (178)
六、在顶底吹转炉中氮的行为	塩飽潔 等 (181)
七、在复合吹炼中钢水中氮的行为 (低氮钢冶炼技术研究之二)	山崎勲 等 (183)
八、在顶底吹转炉中用脱磷铁水吹炼时锰的行为	岡田刚 等 (184)
九、研究炉料中的锰对复吹转炉终点磷含量的影响	W. Florin 等 (185)
十、高磷铁水的脱磷行为	山田统明 等 (195)
十一、2.5t 试验转炉中用转炉渣系进行铁水脱磷的熔剂行为	松尾 亨 等 (197)
十二、在顶底吹转炉中的气化脱硫	龟山恭一 等 (199)
十三、用 1t 复吹转炉进行铁和铬铁熔态还原的比较 (铁浴式熔融还原技术 第 1 报)	松尾充高 等 (200)
十四、顶底吹转炉中铬矿的熔融还原反应热力学的讨论	朱 英雄 等 (202)
十五、利用水模型对转炉搅拌特性进行探讨 (炉体形状对复吹转炉精炼特性的影响)	工藤一郎 等 (208)
十六、炉体形状对复合吹炼中精炼特性的影响 (炉体形状对复合吹炼中冶金特性的影响 第 2 报)	井上 隆 等 (210)
十七、实际转炉中粉尘发生行为的调查 (转炉粉尘生成机理的探讨之二)	辻野良二 等 (211)
十八、转炉中粉尘发生的机理	龟山恭一 等 (213)

第四部分 复吹转炉钢品种质量

一、160t 复吹转炉生产工业纯铁	Б. Л. Нелчэнко 等 (215)
二、利用顶底吹转炉精炼不锈钢方法的改进	鍋島祐樹 等 (216)
三、供氧速度对不锈钢脱碳行为的影响 (转炉内不锈钢脱碳行为的研究之一)	佐藤信吾 等 (217)
四、供氧速度对不锈钢脱碳行为的影响 (转炉内不锈钢脱碳行为的研究之二)	佐藤信吾 等 (219)
五、用预处理铁水冶炼特殊不锈钢	民田彰輝 等 (220)

- 六、在10t试验转炉上熔融还原后的不锈钢初炼熔液的脱磷（用石灰系熔剂含铬铁水脱磷法的开发之二）……………丸川雄淨 等（222）
- 七、中高碳钢顶底吹技术（新炼钢工艺操作结果之八）……………盐饱潔 等（224）
- 八、在复吹转炉中用预处理铁水生产高碳钢……………野村 宽 等（225）
- 九、转炉冶炼超低碳钢……………（233）

第五部分 复吹新气源及供气元件

- 一、采用底吹粉剂搅拌的复合吹炼法的开发之一（底吹粉剂技术的开发）……………森 正晃 等（241）
- 二、通过底吹粉剂搅拌的复合吹炼法的开发之二（底吹粉剂搅拌法的冶金效果）……………吉田学史 等（242）
- 三、奥钢联林茨厂先进的氧气转炉炼钢技术的发展和应……………K. Primas 等（244）
- 四、英钢联霍戈文思在氧气顶吹转炉中提高废钢用量、采用熔池搅拌工艺的联合开发和技术现状……………A. S. Normanton 等（255）
- 五、转炉复吹采用新的CO气源……………赵荣玖（273）
- 六、在顶底吹转炉上底吹CO气时的冶金反应特性（在转炉精炼中用CO气的研究之三）……………岸本康夫 等（279）
- 七、从CO氧化机理看降低CO浓度技术的可行性……………大竹一友（281）
- 八、CO气体回收净化装置的设备概要及操作结果……………藤田恒夫 等（285）
- 九、CO气回收精制装置概要及操作结果……………小泉進 等（287）
- 十、从氧气顶吹转炉煤气中回收高纯CO气体的回收系统的研究……………Toshikazu Sakuraya 等（294）
- 十一、用CO作为复吹转炉的底吹搅拌气体……………Nobuyuki Genma 等（300）
- 十二、采用CO气保护底吹转炉喷嘴……………Toshikazu Sakuraya 等（306）
- 十三、顶底复吹转炉蘑菇头的形成机理……………小柳 健 等（314）

第六部分 热量补偿技术

- 一、炉内二次燃烧机理的研究（二次燃烧法的开发 第4报）……………石川稔 等（316）
- 二、炉内二次燃烧机理的分析（熔融还原工艺要素技术研究之四）……………杉山峻一 等（318）
- 三、转炉内的二次燃烧机理……………平居正纯 等（319）
- 四、BOP中脱碳和二次燃烧的热力学分析……………D. Vensel 等（329）
- 五、转炉内二次燃烧枪的开发（转炉内二次燃烧技术的开发 第1报）……………高柴信元 等（340）
- 六、复吹转炉二次燃烧技术的开发（转炉内二次燃烧技术的开发 第2报）……………新良正典 等（342）
- 七、精炼过程的热量问题和相关技术……………斋藤忠 等（343）

八、转炉内辅加热源技术的开发	中村皓一 等	(349)
九、转炉精炼法		(355)
十、EOF (能量最佳炉) 炼钢	J. E. Bonestell 等	(357)
十一、复吹转炉高效熔化废钢的方法	多贺雅之 等	(367)
十二、熔化精炼金属原料的方法		(369)
十三、在 5t 转炉中用细炭粉燃烧喷枪熔化废钢和铬矿石的熔融还原	岸本康夫 等	(375)
十四、在转炉中利用炭素材料技术的开发	丸川雄淨 等	(379)
十五、用于转炉喷煤的 KMS 工艺		(383)
十六、向转炉内喷吹煤粉的操作 (在转炉内添加热源技术的开发之一)	原田俊哉 等	(390)
十七、碱性氧气转炉炼钢过程中的气体、固体喷吹技术	E. G. Schenpp 等	(392)
十八、转炉底吹多股燃料-氧流的研究	A. Г. Чернышблч 等	(400)
十九、ALCI (Arbed 氧枪喷煤) 工艺	J. Goedert 等	(403)

第七部分 复吹转炉自动控制

一、转炉吹炼控制技术	副岛利行 等	(410)
二、转炉炼钢静态和动态控制的经验	Friedrich Kustersitz 等	(417)
三、少渣吹炼的计算机控制 (铁水预处理吹炼技术的开发 第 3 报)	川上正弘 等	(425)
四、最佳控制理论在转炉过程控制中的应用	広浜茂 等	(427)
五、Dofasco 氧气顶吹转炉的性能分析与调整	D. J. Buchanan 等	(437)
六、顶底复吹转炉终点成分预测模型的开发 (转炉自动吹炼过程的开发 第 2 报)	犬井上彦 等	(446)
七、复吹转炉吹炼终点控制模型的开发	高轮武志 等	(448)
八、采用分散型微机的转炉自动吹炼系统的开发 (转炉自动吹炼过程的开发 第 1 报)	栗林 隆 等	(457)
九、转炉喷溅预测技术的开发	副岛利行 等	(459)
十、在喷吹惰性气体过程中预测钢水灌入喷嘴的依据	S. K. Sharma 等	(461)
十一、顶吹转炉出钢时渣的探测	R. C. Novak 等	(476)
十二、顶吹转炉炼钢和改进过程控制的冶金新概念 (用副枪和底吹搅拌技术)	H. Gruner 等	(480)
十三、氧枪加速计在 LD-AC 转炉上应用的初步结果	C. Maisonneuve 等	(488)
十四、检测顶底吹转炉底吹喷嘴熔损量的工业应用	福島賢也 等	(494)
十五、用微波水平仪控制转炉渣液面	嶋野哲男 等	(496)

第八部分 复吹转炉耐火材料及炉龄

- 一、精炼用耐火材料现状及课题.....大岛隆三 等 (498)
- 二、转炉用耐火材料的改良发展和今后的课题.....山口明良 (505)
- 三、转炉复吹用喷嘴的火焰喷补技术.....石川勝 等 (507)
- 四、氧气顶吹转炉的火焰喷补技术..... (508)
- 五、顶吹及复合吹炼中铁水成分、石灰加入量和转炉寿命之间的关系.....Karl-Heinz Bauer 等 (510)
- 六、提高处理钢水用的电弧包盖的寿命.....佐藤哲郎 等 (523)

第九部分 复吹转炉炉体振动

- 一、顶底吹转炉炉体振动的评价法.....小岛信司 等 (526)
- 二、顶底吹转炉炉体振动的定量评价.....小岛信司 等 (528)
- 三、复吹转炉的振动.....Shinji Kojima 等 (537)
- 四、转炉炉壳的热应力解析和空冷效果.....渡道 已喜男 等 (545)

第十部分 铁水预处理技术

- 一、铁水预处理过程中脱硅、脱磷反应动力学的研究.....尾上俊雄 等 (547)
- 二、福山钢铁厂的铁水预处理和少渣吹炼技术.....山瀬 治 等 (554)
- 三、专用炉预处理铁水技术.....大西稔泰 等 (562)
- 四、新型铁水预处理系统在日本大分钢铁厂建成投产.....赵荣玖 (569)
- 五、铁小喷氧脱硅、脱磷处理过程中锰矿石的还原.....井上 隆 等 (573)
- 六、对铁水进行轻脱硅处理的铁水预处理工艺 (新炼钢工艺的操作结果之五).....塩飽 謙 等 (575)
- 七、用专用炉进行连续脱硅、脱磷、脱硫处理 (新炼钢工艺操作结果之四).....塩飽 謙 等 (576)
- 八、 $\text{CaO}-\text{CaF}_2-\text{CaCl}_2-\text{Fe}_2\text{O}_3$ 系熔剂的脱磷能力 (用石灰系熔剂对含铬铁水进行脱磷方法的开发 第1报).....松尾 亨 (578)
- 九、在160t转炉上进行铁水脱磷试验的结果 (用复吹转炉进行铁水脱磷方法的开发 第2报).....守屋哲也 等 (580)
- 十、在高炉铁水沟中对铁水连续进行顶喷预处理的方法.....Ryoji Yamamoto 等 (582)
- 十一、水岛厂4号高炉出铁场脱硅技术的提高.....秋月英美 等 (590)
- 十二、高炉出铁场二段脱硅技术的开发.....上仲俊行 等 (592)
- 十三、出铁场铁水预处理时脱磷反应及热的评价.....小岛正光 等 (593)
- 十四、高炉出铁场连续脱硅、脱磷处理试验.....小岛正光 等 (595)

十五、用铁水罐进行铁水预处理的技术	副岛利行 等	(596)
十六、在混铁车上预处理铁水的新精炼法	Nobuyuki Genma 等	(597)
十七、铁水预处理用苏打灰与用石灰系脱磷剂的比较	加藤周一 等	(614)
十八、鱼雷铁水罐脱磷设备的建立和操作	吉田圭治 等	(616)
十九、铁水预处理设备的建设和操作(水岛厂铁水预处理设备的建设和操作I)	水藤政人 等	(618)
二十、铁水预处理设备的建设和操作	山瀬 治 等	(620)
二十一、名古屋钢铁厂铁水预处理设备的建设	石井光嗣 等	(621)
二十二、铁水预处理设备的建设和操作	水藤政人 等	(623)
二十三、铁水预处理计测控制装置(水岛钢铁厂铁水预处理设备的建设和操作III)	大岩美贵 等	(633)
二十四、铁水预处理炉的处理控制技术	盐飽 深 等	(634)
二十五、提高铁水预处理喷枪寿命的技术(炼钢新工艺的操作结果之六)	盐飽 深 等	(636)

第十一部分 钢包加热与钢包精炼

一、钒矿石和铌矿石在钢包精炼炉内的还原	栗林章雄 等	(638)
二、钢包精炼法的精炼特点及应用	Kiyoshi Shiwaoku 等	(639)
三、钢包中钢水简易加热法的开发之二(快速加热技术的确立)	高桥 稔昌 等	(649)
四、钢包内钢水简易升温法的开发之三(降低转炉停吹温度的技术)	青本裕幸 等	(651)
五、在钢包精炼炉中的少渣吹炼法的有效利用	小谷野敬之 等	(652)
六、用钢包炉(LF)熔炼超低磷钢技术的开发	川崎勲 等	(653)
七、RH-吹粉脱硫技术的开发	东和彦 等	(655)
八、内陆钢铁公司的钢包冶金设备及操作	Milan Alavanja 等	(656)
九、川崎钢铁公司水岛钢铁厂第二炼钢车间钢包加热设备的建设和操作	今井卓雄 等	(664)
十、钢包加热精炼设备的建设(钢包加热精炼法的开发之一)	副岛利行 等	(666)
十一、弯管式出钢口迅速装卸装置的开发	小出英勝 等	(667)

第十二部分 专利文献索引

一、1984年	(670)
二、1985年	(671)
三、1986年	(672)

第一部分 综合评述

一、转炉复吹展现出的发展趋势

赵荣玖 邓开文 李继宗

(一) 引言

氧气顶吹转炉炼钢法(LD法)出现至今已经35年,旨在改善LD法动力学条件而发展的转炉复吹法迄今也已经跨过第8个年头。当前复吹技术的进展如何,今后的发展前景和趋势,无疑是人们所关心和需要了解的。

诸多各带特色的复吹方法的涌现及在工业中的推广应用,各种相关技术的开发和竞相采用以及新气源、新工业的出现和耐火材料技术、自动化水平的改进提高等,标志着当今的复吹技术不仅已经发展成熟,并正在迈向新的阶段。

顶吹改复吹以及改复吹后的冶金效果,任何国家,厂家均无争议,看法是统一的,答案是肯定的,从未出现像当初LD法那样所谓孰好之争。

然而,各异的复吹方法,不同的技术操作水平和自动化装备水平却显示出相差悬殊的冶金效果。正像Gary厂一位专家所说的,如果转炉改复吹后冶金效果不高、不稳(时好时坏),那就不仅可能效果甚微,甚至可能出现所增效益为新增耗费所抵消的情况。

因此,当今复吹技术的改进和发展的中心是,如何进一步提高和充分发挥转炉复吹的效果。现今的冶金效果比较,已由与原来的顶吹法相比,转向复吹方法之间的相比。并且已经出现以某种复吹法代替另种复吹法的现象。

铁水预处理技术的大发展,使复吹转炉能在少渣下进行精炼,这为进一步发挥复吹效果创造了更为有利的前提条件。在少渣下吹炼三脱铁水,不仅精炼速度快,炉龄高,而且可以进一步提高钢质。通过控制底气,用熔融还原剂以锰矿、铬矿代替锰铁、铬铁,并且铁耗也得到进一步降低。

本文结合以提高复吹冶金效果为目标的当前世界总的发展趋势,就复吹法孰劣之争,高压大幅可调供气 and 临界碳后的大气量加碳操作方法,炉内还原锰矿,用锰矿代锰铁,以及铁水预处理技术新进步和发展趋势等加以概括叙述。

(二) 复吹法孰劣之争

尽管转炉改复吹在投资上不算太高,改造也并不困难。但是,毕竟要增加一些必要的额外耗费,同时在炉气及操作上也带来或多或少的影响。因此,冶金效果的好坏,效益的大小,必然会成为衡量和取舍那种复吹方法的重要依据。近个时期以来,不时发生取代不同复吹方法的例子,故目前存在着复吹法之间的孰劣之争。

不久以前,在法国Solmer厂出现了LBE法与LET法之争。经过长达18个月的反复比

较,最后以LET法取代了号称漫延整个欧洲的LBE法。LET法与LBE法相比具有如下优点。

在转炉容量为280t的情况下,铁耗LBE比LET多0.2kg/t,渣的氧化性LBE高于LET,钢水含(N)量LET少6ppm,耐材消耗LBE为10.61kg/t,LET为8.45kg/t,入炉白云石消耗LET少24%,炉子冶炼时间LET比LBE缩短2 min。此外,LBE的供气通畅性差,特别是炉役后期有的炉次无搅拌作用。而LET不论何炉次和如何维护炉衬,供气元件始终未被遮盖,透气效率100%。

(三) 炉底供气向高压、大气量方向发展

通过生产实践使人们越来越清楚的认识,要想获得高而稳定的复吹效果,必须做到定气量(根据供气模式要求),定供气位置(通过水力模型试验得到的最佳位置)和定供气状态(出口不受结渣、结瘤影响)的所谓三定供气。而氧气复吹法不论采用大氧和小氧基本上都能满足上述要求,因而呈现出氧气复吹法所公认的许多优越性。

如何提高和改善惰性气体复吹法的冶金效果,如何能使惰性气体供气元件也能达到“三定”供气要求,这是近几年普遍关注和进行研究的重要课题。于1985年日本川崎钢铁公司首先宣布已经成功的将高压大幅可调供气元件正式用于生产,取得十分令人满意的效果,并已在千叶和水岛两个钢铁厂的转炉上推广应用。随后不久,在日本引起了是否使用高压供气之争。住友公司开始只承认惰性气体采用提高压力供气是个方向,但却怀疑是否有必要采用高达40~50kg/cm²的供气压力。然而事过不久,于1987年12月竟正式宣布在该公司的和歌山钢铁厂实现采用40kg/cm²的高压复吹。

高压大幅可调供气主要呈现出如下的特点和冶金上的优越性。

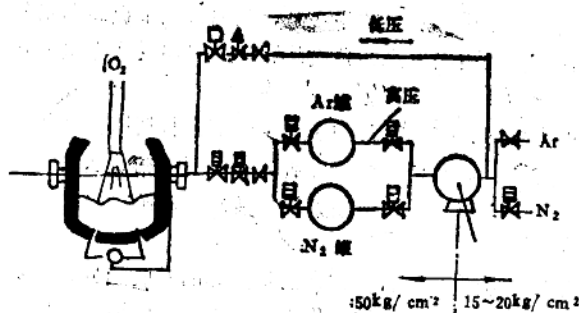


图1 高压大幅可调供气

1. 供气量具有广泛的可调性,可由最小与钢水静压相平衡的流量0.005Nm³/min·t增加到0.2Nm³/min·t,以适应冶炼各种钢种的要求。
2. 终吹前增加底气量可明显降低渣中(T·Fe),如果适当延长终吹前底吹大气量的时间,则还可以使(T·Fe)进一步降低。终点[C]在0.06%左右可使渣中(T·Fe)降低到10%左右。
3. 由于提高终吹前的熔池搅拌力,残[Mn]回收率可以提高约10~15%。
4. 采用高压大气量供气,可以消除炉底粘渣和补炉材料对供气元件的遮盖作用。倒炉

时可见喷嘴数明显增加。当气量增加至 $0.1\text{Nm}^3/\text{min}\cdot\text{t}$ 以上时,可见喷嘴数可达100%。从而通畅性明显得到改善。

5. 不论何种供气元件都会随冶炼炉数的增加受到炉衬的加热而产生热阻滞现象。这种阻滞现象严重时会影响向炉内供气。当采用高压供气之后,这种现象明显减轻,同时由于高的气流速度还会产生对元件耐火材料的冷却作用。

6. 在使用细金属管元件的条件下,瞬间发生断气时,即使发生钢水倒灌,但通过向管内吹入高压气体也可将灌入管内的凝钢吹出,迅速恢复正常的供气状态。

7. 压缩气体从管状元件流出时一般都会出现气泡反坐现象。这种反坐频率随出口压力增加明显减少。当压力达到 $60\text{kg}/\text{cm}^2$ 时,能基本消除反坐。因而,使用高压供气可大大改善这种气泡反坐现象,有利于元件寿命的提高。

综上所述可以看出,元件采用高压供气后,不仅可以大幅调节,而且还可以获得相当良好的复吹效果,达到所谓“三定”供气要求。

(四) 供气元件趋向一致化

炉底供气元件从一开始发展,就分为喷嘴型和砖型两大类。喷嘴型基本上是沿用氧气底吹转炉经验发展起来的。砖型则基于钢包吹Ar透气塞经改进发展成的弥散型透气砖。沿着两种不同的发展渠道,随着不断的改进,出现了各种不同形式、各具特点的供气元件。

喷嘴型供气元件始于单管式,由于管口产生不连续的气流运动,常常发生管口粘结和灌钢堵塞,于是又重新回到传统底吹转炉采用的双层套管式喷嘴。通过在外层环缝隙引入速度

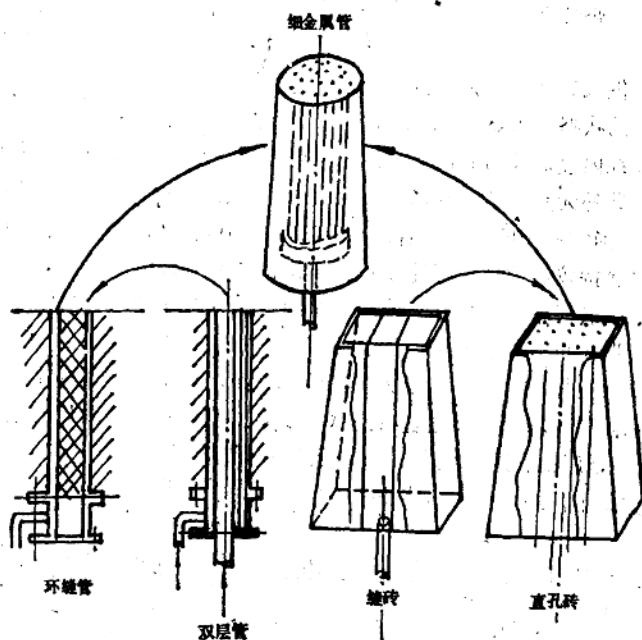


图2 供气元件的演变过程

较高的气流,以使内管得到良好的防粘结保护效果。此种类型至今仍在诸如STB法和氧气复吹法中采用。

双层套管式供气元件的缺点是气量可调范围小,对高碳钢种冶炼的适应性差。于1984年日本神户钢公司开发成功环缝式喷嘴(简称SA喷嘴)。这种喷嘴的最大优点是采用了分散度比较大的薄流股气流,并且气量可调范围大,调节幅度可达10倍。这种喷嘴目前在工业生产中仍有采用,如日铁堺厂等。存在的主要问题是保持套管同心度困难,造成环缝不均匀,影响气流的稳定性。

砖型供气元件最早是采用弥散型砖(砖内微孔呈弥散分布)。这种砖的体积密度较低,加之气体通过树枝状微孔,阻力大,透气量小,对砖产生冲刷,严重影响使用寿命。为解决砖的体积密度,提高耐用性,而发展成缝砖形式。

缝砖式供气元件是由多块耐火砖以不同形式拼凑组合而成,外包不锈钢板。气体经砖体下部气室通过砖缝进入熔池,工作时必须造覆盖渣保护。这种元件存在着供气不稳定,砖缝透气能力受温度(炉役期内温度不断升高)和炉底结渣状态影响等缺点。渣层过厚时会产生气滞,使吹入气体不经熔池即排出。渣层过薄则会降低使用寿命。另外,还时常发生钢板包壳开裂漏气现象。

为克服缝砖元件砖缝不均的缺点,奥钢联开发了直孔型透气砖。气流通过沿砖断面分布的很多贯通孔道,经直孔道进入炉内,不仅气流阻力小,而且可实现细流股稳定分散供气。但仍然存在气流冲刷砖衬,寿命偏低的缺点。

管式喷嘴型供气元件发展成环缝管,砖型供气元件经缝砖发展为多直孔。这种发展过程展现出的整个趋势是发展稳定分散细流供气。在这一新趋势启示下,日本钢管公司于1985年正式开发成功细金属管透气塞供气元件(MHP)。在生产中使用后显示出十分良好的效果。

多细金属管供气元件的问世,可以说是供气元件技术的一个重大进步。气体穿过许多细金属管以分散细流的状态进入熔池。根据气泡泵的原理,不仅可以提高搅拌力,而且可以增加其稳定性。气体流经内表面较为光滑的金属管的内壁,不仅可以减小阻力,并可以完全避免对耐火材料的冲刷。此外无数根插装在母体耐火材料内的金属管,还可以起到对母体耐火材料的冷却和加固作用。通常所用的细金属管内径为1~3 mm。这样细的孔径,不仅承受的钢水静压小,而且可以保持较高的出口流速,对于保持良好的气流出口工况具有一定作用,特别是在新近出现的高压供气中效果更好。采用细金属管供气的气量调节幅度一般可以达到10倍,在高压供气的情况下可以高达20倍。

转炉复吹供气元件在历经8个年头的发展之后,出现了一个很有趣的结果,这就是性质不同的喷嘴型和砖型元件,在经过各自的曲折发展道路之后,最后开始趋向统一。从目前的发展趋势来看,各钢厂都在逐渐放弃原来的管式(氧气复吹法除外)和砖式元件,转而采用细金属管元件。如日本,最早只有日本钢管一家采用,目前住友、神户、新日铁等都已相继开始采用。

细金属管式元件种类不一、结构上也各有差异,正在向更先进的方向发展。

(五) CO新气源展现出良好的发展前景

N_2 气价廉易得,但不宜全程使用。 Ar 气太贵,并且用途越来越广;供应日趋紧张。早在1982年就出现的 CO_2 气源尽管至今仍在工业中采用,但由于它对元件的严重蚀损作用,人们对其使用的兴趣已日趋淡薄。不久前,日本川崎钢铁公司在寻求代替丙烷冷却氧气喷嘴介质时,发现 CO 气不仅有良好保护喷嘴作用,而且冷却能力也很不错。在进一步的研究中表明,由于其在钢水内的溶解速度极慢,在冶金行业上也完全具有与 Ar 气同等的功能,因此认为 CO 气是复吹转炉的一种理想的底吹搅拌气体。

川崎钢铁公司在经过充分试验取得成功的基础上,于1985年,先后将千叶和水岛两个钢铁厂的转炉改成底吹 CO 气。随后不久,日本神户钢公司加古川钢铁厂的转炉在经过充分比较 CO_2 气的缺点之后,也决定采用 CO 气作底吹气体,并于1988年投入工业生产。目前川崎钢铁公司的K-BOP和Q-BOP转炉正在试验,以 CO 代替丙烷气来冷却氧气喷嘴,并已经取得较好效果。

CO 气的物理冷却作用为 Ar 气的1.2倍,并且具有良好的化学冷却和化学保护喷嘴周围耐火材料的作用。含有高浓度 CO 的气体(大于90%)在经喷嘴进入熔池的时候会发生 $2CO \rightarrow C_{\text{固}} + CO_2$ 反应。所产生的这些粉末碳一部分与集聚在喷嘴周围的 FeO 发生 $C_{\text{固}} \rightarrow Fe + CO$ 的还原吸热反应,从而达到冷却和保护喷嘴的作用,另一部分粉末碳被带向钢水与钢水中的 $[O]$ 起反应。

CO 气被用作底吹搅拌气体,使人们最为耽心的就是安全问题。实际上在冶金工厂中,操作工人接触煤气并不稀奇,尤其近年来回收转炉煤气并加以利用的厂家越来越普遍。许多研究反复证明,在混有氧的情况下, CO 气爆炸临界范围是氧含量在12~75%,而用作底气的 CO 浓度达90%以上,所以爆炸的可能性是不大的。人们最为耽心的就是 CO 漏泄中毒。对这点川崎公司采取了如下的安全措施。

- 1) 建立专门阀门站,并设置良好的通风换气设施,使泄漏的 CO 气随时排走;
- 2) 选用比较严密的仪表阀门,并尽量拉大转炉与阀门间的距离;
- 3) 管路系统装设检测器,随时可以测出室内 CO 气的浓度;
- 4) 采用转炉停吹自动通入 N_2 清洗管路的制度;
- 5) 设置自动联锁,只有当炉内盛有钢水时方能通入 CO 气体。

(六) 双流道氧枪有推广采用势头

双流道氧枪的出现,被认为是继多孔氧枪普及应用之后的又一重要改进。它不仅可以改善炉子的热效率,而且可以促进化渣改善炉子的精炼机能。转炉顶喷煤粉需要双流道枪,转炉底喷粉也同样需要双流道枪,因为如果不能把吹入炉内的 C 燃烧成 CO_2 ,那么收入的热量是有限的。因此认为,不论从补偿炉内热量的角度,还是从改善炉内精炼机能的角度,双流道枪都将会在今后得到越来越广泛的应用。目前,日本、西欧以及苏联等国都在大力研试和发展双流道枪。

就目前情况来看,双流道枪有两种类型的结构。一种是以补偿热量为主,称之为热补偿型,此种类型主副枪孔之间的距离比较大,便于使炉内 CO 气得到较多的燃烧。另一种类型则是以改善反应为主,并兼有二次燃烧炉内 CO 补偿热量的效果。特点是主副枪孔距离较近,枪体构造也比较简单。对热补偿型来说,一般认为副氧孔以 30° 为好,副孔氧流量以占总氧量20%

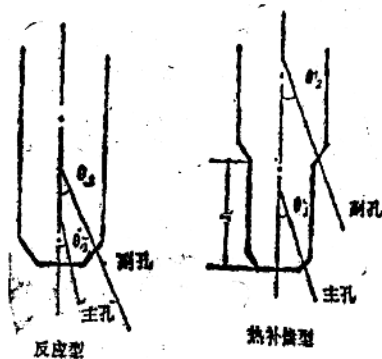


图 3 双流道枪

为宜，主副氧孔间距离依炉子大小不同，波动于200~500mm之间。

(七) 采用以临界〔C〕为基准的供气控制

早期的复吹转炉一般都是采用恒定的底气流量。然而人们很快发现，这种恒定的底气流量如果供气强度过大，则会出现吹炼过程不化渣或者渣子返干现象，特别是在冶炼中高碳钢时更显得严重。于是曾有一个时期在日本竞相研试顶枪喷石灰粉的方法，出现了STB-P、LD-OB-AC、KG-Li等喷石灰粉的复吹法。如果底气流量过小虽然对前期化渣有利，但是会导致后期熔池搅拌力弱，冶金效果低的缺点。于是人们很快认识到要使复吹转炉具有广泛的钢种适应性和充分显示出其冶金效果，按不同吹炼阶段适时的变化底气量是十分重要的。

于是，以透气砖为供气元件的LBE法便显示出它在这方面的突出优越性，以致曾经在一个时期不仅蔓延整个欧洲，而且日本的新日铁公司不惜重金买下在日本的独家使用权。在此背景下，迫使喷嘴供气元件加快了改进步伐，很快实现了大幅可调供气。

基于冶炼工艺要求和供气元件技术的进步，人们相继开始对供气模式的广泛研究，并开始在工业生产中推广采用。目前各厂家都已拥有自己的适于不同钢种（镇静钢、沸腾钢、中、高碳钢等）的各种供气模式。

迄今所用模式大都是吹炼前、中期供 N_2 ，后期切换成Ar等其他气体。所用供气强度有的为两级有的为三级，多数都是在后期改变成较大供气强度。有的为了进一步降低 $(T \cdot Fe)$ 和钢水中的 $[C]$ 、 $[O]$ 含量，还专门采用了后搅拌期。为了能迅速制止住遇然出现的喷溅，有的还专门制定了能根据信息迅速加大气量的紧急模型。

在对这些模型的研究中发现，加大后期供气强度可以明显降低终渣中的 $(T \cdot Fe)$ 和钢水的氧化性。但是如果切换成大气量的时间过晚，即使用高达 $0.2Nm^3/min \cdot t$ 的供气强度，对降低渣中 $(T \cdot Fe)$ 的效果也甚微。于是，便产生了所谓合适的切换大气量的时机问题。

开始，有人主张按吹炼时间百分数来决定切换大气量的时间。后来又有人主张根据钢水 $[C]$ 含量达到0.7%之前，进行短时间中等程度搅拌，随后换成大气量搅拌至终点。最近的研究认为，要获得满意的终渣 $(T \cdot Fe)$ 含量和低的钢水氧化性，应该以临界 $[C]^*$ 来作为切换标准（所谓临界 $[C]^*$ 系指吹入氧气由氧化碳开始转向氧化铁时的熔池 $[C]$ 含量）。在到达临界

$[C]^*$ 之前切换成大气量, 到达临界 $[C]^*$ 后继续用大气量直至终点。与此同时, 顶枪供氧量要相应的适当减少。必要时在临界 $[C]^*$ 之后加入约2.0kg焦炭/t钢, 以进一步降低渣的氧化性。采用上述的操作模式在供气强度达 $0.2\text{Nm}^3/\text{min}\cdot\text{t}$ 的情况下, 一般都可以将终渣(T·Fe)降至10%以下。日本现在正在进行预测临界 $[C]^*$ 的研究工作, 以便更准确的掌握切换时间。

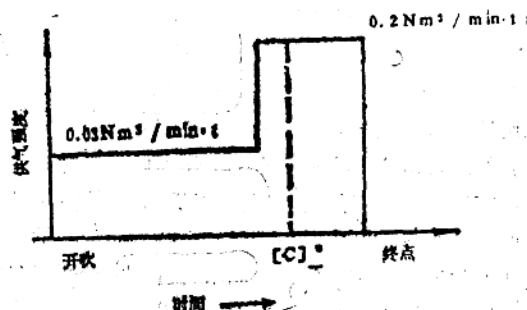


图4 依临界 $[C]^*$ 为基准的供气模式

(八) 铁水预处理的发展趋势

铁水三脱处理已得到世界范围的广为重视。日本各大公司纷纷建立起三脱处理铁水系统。新日铁君津、大分两厂已基本实现全量铁水处理。其他几家公司中有不少厂的月处理量已超过15万吨。西欧、北美都开始采用。就连南朝鲜的光阳厂也采用了铁水三脱处理。

在工业生产中是否应大力发展铁水三脱尚存有争议。有人认为这种技术只适合于转炉冶炼低磷钢和某些质量要求比较严格的高纯度钢。近来认为适合于生产含中高锰的钢种。总之还有相当一部分人对转炉吹炼三脱铁水所显示的优越性持观望态度。引起人们疑虑的最主要的问题是热量问题。最近一个时期以来, 围绕此问题所取得的可喜进展正在打消这些疑虑。未来的趋势很可能是向着全量铁水处理方向发展。

不久前日本住友公司开发成功用部分气体氧代替固体氧(从矿石中进入的氧), 把三脱处理技术大大向前推进了一步。采用部分气体氧可以有效的控制处理终了的铁水温度, 使后一步炼钢有了保证。这一技术目前已开始在日本几家公司得到推广。日本钢管福山厂的实践经验表明, 经处理后的铁水温度平均保持在 1330°C 左右。在平均入(转)炉温度为 1275°C 的情况下, 不仅不会存在炼钢所需的热量问题, 而且还可以向炉内加入大约20kg/t锰矿。由于

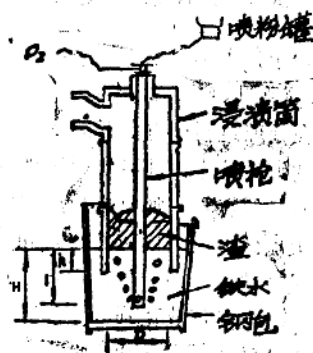


图5 大分厂新型铁水处理装置

随着铁水预处理技术的发展,使人们越来越感到在混铁车内处理铁水已经无法满足要求。这不仅是形状不合理,反应效率低,而且倒渣和处理残铁也有一定困难(川崎采用倒入小罐用外加热的办法保持液体状态)。特别经处理后的铁水温度和成分的波动太大,而且也较难实现处理工艺的自动化。除此之外,还有容积效率低的问题。用来进行铁水处理的混铁车的容积利用率一般也只有60%左右,加上处理工作需占用时间,以及内衬寿命低需要经常维护修砌等造成混铁车数量明显增多,维修管理费用增加。因此,近期以来,在日本开始转向用开口罐和专用炉来处理铁水。

图 6 新的铁水处理流程

利用底吹炉处理铁水的尝试在川崎钢铁公司也取得了很好的效果。处理炉容量为 235t。装入铁水的成分为 4.5% C, 0.2% Si, 0.4% Mn, 0.14% P, 0.02% S, T=1370°C。

经由炉底喷入 CaO 20kg/t, CaF_2 3kg/t, 铁矿 28kg/t, 并吹入氧气约 $6\text{Nm}^3/\text{t}$ 。处理后的铁水成分为, 3.7% C, 0.3% Mn, 0.01% P, 0.01% S, 痕量的Si, $T=1370^\circ\text{C}$ 。所得炉渣成分为, (T·Fe) 4%, CaO 53%, SiO_2 16%, P_2O_5 7.5%, S 0.3%。可以看出处理前后温度不变, 并取得较好的脱P脱S效果。

鉴于开口罐处理和炉内处理具有很多优于混铁车之处, 预料今后将有可能得到发展。特别是针对我国众多的开口形铁水罐和小型转炉的实际情况, 该经验是很有意义的。

(九) 转炉加锰矿吹炼三脱铁水

迄今为止, 转炉发展所走过的历程绝大部分努力都是花在发展炉内精炼、追求精炼操作本身的最佳化上。转炉复吹技术的问世和铁水处理技术的大发展, 促使转炉精炼向着分离炉内冶炼机能、发展炉外精炼的方向发展。采用最佳的冶炼工艺便成为当今转炉重要的发展趋势。与此同时, 转炉复吹技术的推广应用也要求进一步发挥熔池搅拌的特长、提供更好和更为稳定的冶金效果。在此情况下, 转炉少渣吹炼三脱铁水便成为举世瞩目的技术开发课题。目前在日本这项技术已经取得了可喜的进展。转炉吹炼三脱铁水可以获得 $S, P < 0.01\%$ 、 $[N] < 7\text{ppm}$ 、 $[H] < 2\text{ppm}$ 的高纯净钢水, 并且经济指标也可得到明显改善。根据住友金属工业公司的报导, 可节省石灰 30kg/t, 白云石 4kg/t, 铁的收得率约可提高 2%, 炉气可多回收 $17\text{Nm}^3/\text{t}$, 冶炼时间(加料→出钢)缩短50%。

近个时期以来, 日本各大公司都开始大力进行往炉内加入锰矿以代替锰铁的试验。为了取得高的锰矿还原效果和高的锰的回收率, 减少渣量, 提高后期熔池搅拌力, 控制炉渣氧化性是十分重要的前提。采取已经开发出的较为合适的底吹供气模式和相对应的顶枪供氧制度, 可以不用加锰铁直接炼出含[Mn]高达1.6%的钢种。锰矿中Mn的回收率大于70%。可以很有把握地把渣中(T·Fe)控制在10%以下。

大力发展在转炉内加锰矿代替锰铁的技术使转炉复吹效果又得到进一步提高, 不仅可以节约大量锰铁, 而且也使铁的收得率得到进一步提高。这是转炉少渣精炼技术的一个新的重要发展趋势。

(十) 结 语

在转炉复吹历经8年的大发展之后, 展现出若干新的发展势头。这些势头归结起来主要是, 复吹方法出现孰好之争, 大气量高压炉底供气, 供气元件的趋于一致化。CO气源的出现和发展。双流道氧枪的逐步推广, 以临界[C]*为基准的供气模式的改革, 铁水处理技术的飞速进展以及转炉加锰矿用三脱铁水炼钢等。所有这些新的发展趋势, 都很值得我们关注, 并应在推广和发展我国复吹技术中加以借鉴和应用。