

全國連鑄技術研討會

論文集

中國金屬學會
冶金部科學技術司

1984. 11 上海

全国连铸技术研讨会

论文集

中国金属学会
冶金部科技司

一九九四年十一月于上海

前 言

为配合冶金部提出的“要加快连铸,努力争取到本世纪末,连铸比达到70%以上”的目标,进一步贯彻“以连铸为中心、炼钢为基础、设备为保证”及“以全连铸为方向,炼钢、炉外精炼、连铸三位一体组合推进”发展连铸生产技术的方针,中国金属学会与冶金部科技司联合召开了“全国连铸技术研讨会”。此文集是经过专家评审,从钢铁企业、科研院所、高等院校及设计单位征集的论文中,选出120余篇编辑而成的。文集中既有学术论文,同时,从交流和研讨的角度也收入了一些技术(或工作)总结的文章,代表了连铸技术实践的一个方面。

本文集共分六大部分:炉外精炼与中间包冶金;连铸工艺技术、设计及铸坯品种与质量;连铸连轧;连铸设备;连铸技术的发展与生产经验;连铸相关技术(保护渣、连铸用耐火材料、连铸自动化技术)。文集内容丰富,论文涉及面广,从炉外精炼到连铸连轧等,较全面地论述了连铸生产工艺技术、设备及生产管理。此书对了解我国连铸生产的概况,很有参考价值,对我国连铸技术的发展,将有积极的促进作用。

参加本书的主要编审人员有(排名不分先后顺序):蔡开科、易本熙、周积智、施东成、李慧卿、倪伟明、张有礼、刘长新、黄洁、宋青。

在编辑本书时,由于时间仓促和编者水平有限,难免会出现错误,请读者和论文作者谅解。

一九九四年十一月

目 录

· 炉外精炼与中间包冶金

炉外精炼在保证连铸顺行和品种开发中的作用·····	王 平 傅 杰(1)
浅谈炉外精炼技术对连铸技术的促进作用·····	梁文正(5)
邯钢二炼钢炉外精炼方案选择·····	黄玉超(8)
浅探 RH-KTB 技术在鞍钢二东钢生产中的应用与其设计问题·····	王 晋(15)
VD 过程的真空脱硫及其在连铸中的作用·····	易继松 王昌生等(20)
四流连铸中间包水模实验及控流研究·····	柳绮年 周有预等(27)
太钢特殊钢板坯连铸中间包复盖剂的应用·····	侯志平 荣 亮(34)
当代炼钢优化态势与加速我国炼钢生产的优化·····	苏天森(42)
具有加热功能的四流连铸中间包合理结构及挡墙设置的研究·····	
·····	李润生 陈作勇(47)
配合连铸用 LF 型钢包精炼炉·····	韩光明(55)

二 连铸工艺技术、设计及铸坯品种与质量

太钢特殊钢板坯连铸机工艺及铸坯质量的研究·····	陈雪利 邢文彬等(59)
电炉与连铸机实现多炉连浇的匹配方式分析·····	尹 丁(78)
板坯连铸机二次冷却水的控制模型·····	陈素琼 蔡开科(84)
连铸板坯温度场的数值模拟·····	温崇哲 刘庆国(92)
四位一体电炉短流程与设计优化·····	王家龙(98)
重轨钢连铸坯生产工艺—包钢新建大方坯连铸机简介·····	房彩刚 吕湘提(108)
攀钢 1350 毫米板坯连铸机的建设·····	王中元(113)
攀钢板坯连铸机工艺设计及特点·····	丁永立 毛敬华(118)
重钢第七炼钢厂全连铸工艺设计·····	黄永忠(125)
连铸高碳钢方坯的实践·····	张万敏(133)
连铸优质钢的实践研究·····	温德智 黎尚济(138)
小方坯连铸焊丝的试验研究·····	袁兴文 崔淑兰(149)
优质无缝钢管用圆坯的连铸·····	俞 晏(153)
连铸 55SiMnVB 钢的偏析及其力学性能的研究·····	李 刚 魏瑞航等(160)
连铸圆坯表面纵裂的研究·····	陈 超 王智盛(167)
中碳钢连铸板坯表面纵裂的研究·····	叶锦渭 陈亚贤(171)

连铸坯中心裂纹缺陷的形成及预防对策	张志东(179)
16MnR 连铸板坯的凝固组织与质量	李刚 苏刚等(184)
铜管结晶器冷却对小方坯凝固的影响	张世江(189)
钢液过热度控制及对连铸坯质量的影响	鲁开巍(194)
硅铝钡脱氧对连铸钢中夹杂物的影响	王丽萍(199)
连铸操作因素对中板表面大片夹杂物的影响	马智明 陈宏豫等(203)

三 连铸连轧

发展连铸连轧中的若干问题	贺毓辛 赵林春 周积智等(209)
薄板坯连铸连轧工艺中连轧的特点	张树堂 杜梅英等(214)
连铸与轧钢紧密结合的发展	王廷溥 刘相华等(219)
薄板坯连铸连轧关键技术探讨	张瑞祥(227)
对连铸薄板坯直接轧制技术的看法	吴隆华 吴增强(234)
薄板坯连铸连轧工艺形式及布置的探讨	明绍玉 张慧(238)
三种薄板坯连铸连轧工艺国外最新发展	刘长新(252)
板带钢连续铸轧及其新进展	刘相华 温景林等(258)
CSP 和 CPR 薄板坯连铸连轧技术的特点	许中波(263)
关于薄板坯连铸连轧厂一建厂决策的回顾与前瞻	梁英生(267)
连铸薄板坯二次冷却及其传热凝固研究	张兴中 倪满森等(272)
浅析两种薄板坯连铸机特点	张玉莲(277)
双辊薄带连铸研究	倪思康(281)
沈阳钢厂连铸连轧生产试验技术分析	李生智 刘景新(285)
我国小型轧机改造的趋势	张文元 由志福等(289)

四 连铸设备

对我国连铸设备制造的展望	西德源(297)
大型板坯连铸机辊列设计中若干问题的探讨	董成茂(302)
重钢七厂板坯连铸机的设计特点与装备	李玉秋(308)
现代大型板坯连铸的特征—武钢三炼钢连铸机剖析	蔡文禧(313)
连铸喷淋冷却结晶器实验研究	薛念福 王元宰等(318)
复合正弦波振动规律的探索	李宪奎 张兴中等(326)
罗可普连铸机结晶器振动机构位移特性的分析	权良柱 陆勤(329)
接近成品形状连铸机的浇注系统	田毅盛(337)
板坯连铸火焰切割机的特点	陈治胜(342)
连铸机中三环减速器的研究设计与应用	陈宗源(346)
链式刚性引锭杆与充气式弹性引锭杆的比较	陈兰洲(352)

对我厂连铸机刚性引锭杆变形分析·····	陈 东 黄建军(356)
方坯连铸拉矫机设备选型的探讨·····	刘 晨(360)
刚性引锭杆方坯连铸机拉矫机的设计特点·····	叶长萱(363)
方坯连铸机拉矫机拉坯阻力矩计算·····	姜时荣 李玉林(366)
液阻理论在拉矫机液压系统中的作用·····	杜 姣(373)
方坯连铸剪切机供油系统选型及阀控技术新进展·····	向 渝(377)
圆坯连铸机液压系统的特点·····	熊明炯(385)
R10.5m 连铸机弧型管状圆坯结晶器国产化研制·····	牟瀚波(388)
高压单线干油润滑系统在板坯连铸机上的应用·····	高文阁 李士学(391)
连铸设备用理想润滑脂·····	陆志中 刘清华等(396)
复合连铸辊生产工艺分析·····	刘仲华(401)
美国林肯焊丝在板坯连铸辊复合堆焊中的应用·····	周寤生(404)
论连铸设备在连铸生产中的地位和作用·····	苏天森(408)

五 连铸技术的发展与生产经验

常规连铸技术的进展·····	康 复(411)
90 年代的板坯连铸机技术特征·····	文石斧(418)
我国特钢连铸建设的回顾与展望·····	刘仁刚(423)
我国连铸大发展面临的形势和若干问题·····	文石斧(426)
短流程与连续化生产时代的到来·····	尹弘斌 金山同(430)
提高连铸生产能力的几点看法·····	裴云毅(431)
高速连铸的几项关键技术·····	王新华 赵 沛等(439)
连铸板坯的角部纵裂漏钢研究·····	杜松林 叶 斌等(450)
浅析超低头板坯连铸机漏钢事故的原因和防止措施·····	常 宏 阎家华等(455)
连铸漏钢机理探讨及防止措施·····	王中元(461)
连铸坯的液芯轧制·····	胡 林 余益生等(468)
磁流体力学技术在连续铸钢中的应用·····	毛 斌 王世郁(474)
武钢第二炼钢厂生产持续稳定协调发展的基本经验·····	杨焕祥(482)
挖掘老设备潜力实现连铸坯一火成材·····	安 凝 侯义生(494)
提高八流小方坯铸机作业率的措施·····	许晓东 李永东等(499)
整改设备、理顺工艺、实现全连铸·····	董树全(505)
通钢 3 号连铸机生产实践·····	韩剑涛(508)
连铸 1Cr18Ni9Ti 不锈钢板坯的生产实践·····	王 伟(514)
全连铸生产的完善与发展·····	温昌才 张敏祥等(518)
抓管理挖潜力向连铸要效益·····	高芳珍 姚民权(523)
连钢转炉炼钢全连铸改造·····	张靖修(526)
开展技术进步深化管理不断挖掘小方坯连铸生产能力·····	黄载富(529)

六 连铸相关技术

保护渣及水处理

- 含钛不锈钢连铸结晶器保护渣的研究..... 王 谦 谢 兵等(533)
- 太钢特殊钢板坯连铸结晶器保护渣的应用..... 韩载华 荣 亮等(539)
- 含钛钢连铸时 Ti 夹杂的行为及与保护渣的作用 谢 兵 王 谦(547)
- 连铸用保护渣的现状与发展..... 朱果灵 席长锁等(552)
- 关于连铸保护渣润滑性能的研究..... 张殿村 冯启成等(558)
- 昆钢连铸机水处理系统的改造及发展..... 李 权(564)

连铸用耐火材料

- 连铸用耐火材料..... 邢守渭(566)
- 连铸用功能耐火材料的发展概况..... 桂明玺(577)
- 国产浸入式水口和长水口的使用和提高..... 裴云毅 牟济宁(583)
- 连铸钢包用耐火材料现状和发展趋势..... 袁公权 梁治清等(591)
- 连铸用耐火材料的使用、开发与管理 徐小雷 朱向东(591)
- 连铸预热中间包用镁质绝热板的研制与应用..... 郭玉英(598)
- 连铸水口密封剂的研究与应用..... 文光华 何俊范等(608)
- 连铸中间包用 DZ 型硅质绝热板研究与应用 王丕轩 许晓东(612)
- 连铸用铝炭质制品的生产工艺及有关设计问题..... 欧亚光(615)
- 连铸中间包采用整体永久衬的实践与体会..... 陈伯瑜 刘新文(619)
- 国内外连铸耐火材料发展情况..... 周川生(623)
- 连续铸锭中间包用塞头砖使用研究..... 谭宝林(627)

连铸自动化

- 发展连铸自动化为钢铁工业结构优化作贡献..... 马竹梧 杨 涤(633)
- 连铸二次冷却区铸坯表面在线测温系统研制应用..... 胡现槐(640)
- 连铸二冷水控制系统改造..... 苏安徽(645)
- 连铸采用集散系统实现二冷水调节系统最佳水量控制探讨..... 曾繁兴(649)
- 连铸钢包浇铸后期下渣显示控制技术..... 于学斌 邱玲慧等(655)
- 小方坯连铸机结晶器钢水液位复合型自动控制系统..... 龙厚富(660)
- 铸坯表面温度测量技术在连铸传热计算机仿真中的应用..... 雷新泉 雷 曼(666)
- 钢水连铸过程控制技术..... 刘丽娟 孔金满(669)
- 武钢三炼钢大型板坯连铸机基础自动化综述..... 曹国栋 吕向九(675)
- 包钢连铸计算机自动化系统浅谈..... 武志鹏(682)
- N-90 系统在攀钢连铸机的应用 付吉国(687)
- 计算机系统支持的宝钢热轧质量管理体系..... 王洪水(693)
- 连铸机拉矫机全交流传动前馈控制的理论探索..... 颜立平(699)

炉外精炼在保证连铸顺行和品种开发中的作用

王 平 傅 杰

(北京科技大学)

从整个世界钢铁工业的角度来看,经过二十多年的发展,连铸已经成为今天进行钢水浇铸的主要手段。我国的连铸比近年来迅速提高,已经达到近 40%。本文将讨论炉外精炼对保证连铸顺行和品种开发的作用。

1. 钢水品质对连铸的影响^[1-4]

这里所说的钢水品质是指钢水的温度、气体含量、杂质含量、夹杂物含量。

1.1 温度的影响

连铸时一般要求钢水的温度波动为 $\pm 5^{\circ}\text{C}$,过高的连铸温度可以产生以下问题:

- (1) 坯壳减薄,高温强度下降,产生纵向裂纹;
 - (2) 液芯长度增加,中心疏松严重,甚至产生“搭桥”现象,使补缩困难而产生中心缩孔;
 - (3) 降低拉坯速度;
- 过低的浇铸温度可能会使浇铸中断。

1.2 钢水中的气体对连铸的影响

- (1) 产生表面气泡和皮下气泡;
- (2) 造成双浇;
- (3) 在铸坯晶界中产生 AlN 沉淀,增加裂纹的敏感性。

1.3 夹杂物和杂质对连铸的影响

- (1) 钢水中的 Al_2O_3 可以堵塞水口;
- (2) S、P 可以在铸坯中产生中心偏析;
- (3) 当碳含量在 0.14%—0.22% 之间时,锰硫比过低时可以引起纵裂;
- (4) 钢水脱氧不良可以引起表面气孔和夹渣;
- (5) 夹杂物在弧形铸坯的内表面富集。

2. 主要的炉外精炼设备的功能

综上所述,为了保证连铸时多炉连浇和铸坯质量,必须保证钢水有合适的温度和高的

纯净度,并在确定的时间向连铸机输送温度合适的钢水。

2.1 LF 炉的基本功能

(1)加热:基本设计要求是最低有用功率可以保证钢包中的钢水温度恒定,最高加热速度为 $3-6^{\circ}\text{C}/\text{min}$,一般的加热速度为 $2-3^{\circ}\text{C}/\text{min}$,实施大电流、短电弧操作^[5,6]。以降低耐火材料指数。

(2)搅拌和渣精炼:可以在 LF 炉内将钢水的总氧量降低到 15ppm 至 10ppm,硫含量达到 30ppm,可以使钢水在 2min 左右的时间使钢水的成分均匀一致。

由于钢水可以完全脱氧,因此可以获得高的合金收得率,可以准确地调整合金成份。LF 炉与其他真空设备配合可以使钢水脱气。

2.2 RH 的功能^[7,8]

(1)基本功能:脱碳和脱氧。基本设计要求是使钢水在 3min 内进行一次循环,三次循环完成脱气。脱气时的真空度为 67Pa。完成脱气后进行有关操作需 10min,即在 20min 内完成一次处理,与转炉节奏匹配。可以容易地使钢水脱氢至 1ppm;可以使经过铁水预处理脱硫至 20ppm 的钢水脱氮至 10-20ppm 的水平^[9];可以进行所谓的“RH 轻处理”使钢水脱氧至溶解氧量很低的程度再加铝脱氧,使铝的收得率稳定;可以通过循环使钢水成份和温度均匀;可以使加铝脱氧的钢水的总氧量降到 10ppm 以下;脱氧后的钢水合金成份微调可以得到十分满意的调整结果。

(2)RH 的扩展功能:增加向真空室吹氧功能可以使钢水深脱碳,生产极低碳钢以及 IF 钢。方法有:

RH-OB:在真空室的侧壁安装一支氧枪,向真空室的钢水表面吹氧脱碳并减缓钢水降温速度。在钢水加入一定量的铝可以使钢水快速升温。

RH-KTB:在真空室的顶部安装一支氧枪,向真空室的钢水表面吹氧,使真空室的 CO 产生二次燃烧。这种方法除了可以生产极低碳钢之外,还可以降低转炉的出钢温度,加快脱碳速度。

RH-OB-FD:在真空室的侧壁安装一支埋入钢水的喷嘴向钢水内喷入氧气、油和氩气,达到脱碳和减缓降温速度的目的。

RH-OB/PB:在 RH-OB 的基础上,同时在 RH 上升嘴下方的钢水中插入一支喷枪,对钢水进行强化脱硫处理,同时达到较好的脱氧效果。

RH-PB:RH 处理时进行喷粉处理。

RH 顶喷粉:在 RH 真空室的顶部安装一支喷枪,在 RH 处理的同时进行喷粉处理。喷粉脱硫可以使钢水的硫含量达到 ppm 级的水平。

2.3 VD 的功能

(1)脱气和真空碳脱氧:这一点已经十分明确,无需赘述。

(2)脱硫功能:VD 的脱硫功能不是被广泛认识。经过 LF 处理的电弧炉钢水,再经过 VD 处理,可以使钢水中的硫含量达到 20ppm 的水平,本文作者与合作者已经在低合金钢的 EAF-LF-VD 获得批量处理结果。获得这种结果的技术关键是控制钢水的溶解氧含量低于 1ppm,这一点可以通过保证钢水的铝含量大于 0.02%、保证精炼用炉渣的高碱度和极低的氧化性来实现。在 LF 处理过程中由于良好的还原条件和良好的惰性气体搅

拌条件,可以使钢水中的硫含量达到 30ppm 的水平,而在 VD 处理过程中,由于真空的作用提高了碳的脱氧能力,钢水中的碳控制了钢水中的溶解氧含量,使之低于 0.5ppm 的水平。钢水中硫含量与溶解氧含量的比值为 30,VD 处理前溶解氧很低,加上 LF 炉的精炼渣已经得到充分的还原,这都为 VD 处理过程进一步脱硫创造了条件。

以上是热力学条件,从动力学上看,VD 处理过程中钢水所受到的搅拌功率是:

$$\epsilon = \frac{6.18 \times 10^{-3} T_2}{M} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} + \ln \frac{P_2}{P_1} \right) Q$$

其中: ϵ 搅拌功率, W/t;

P_2 真空室压力, Pa;

M 钢水质量, t;

P_1 钢包底部压力, Pa;

T_2 搅拌气体温度, K;

Q 搅拌气体流量 NI/min

T_1 钢水温度, K;

处理时真空度由大气压力变为 100Pa 以下,在同样的气体流量之下可以使搅拌功能增加近十倍,为 VD 的深脱硫创造了良好的动力学条件,容易达到 ppm 级硫含量。但是在过高的搅拌功率之下可能使炉渣卷入钢水,强化了脱硫却恶化了脱氧。本文作者在炉外精炼的实践发现这个问题。因此进行 VD 精炼时必须注意脱硫时强搅拌的脱氧时的弱搅拌,使 VD 同时得到好的脱硫和脱氧效果。得到这种效果的途径是实现计算机对搅拌功率的控制。

可以说,采用 LF+VD 工艺路线是在无喷粉脱硫措施的前提下实现 20ppm 超低硫操作的可行路线,这一点在进行炉外精炼工艺布置时应引起重视。但是 RH 欲获得如此的低硫含量必须有铁水预处理或钢水喷粉措施。

2.4 喷粉处理

喷粉处理的功能在铁水预处理中用于脱硫或脱磷,在炉外精炼过程中用于深脱硫处理,同时可以加快脱氧。但是不可以用于轴承钢等高碳的、需要高的疲劳寿命钢种的处理^[1]。其它问题众所周知。常用的方法称 TN 法。

2.5 CAS 和 CAS-OB

CAS 处理时可以减轻氧化渣对钢水成分的影响,对合金收得率的提高有一定的作用。CAS-OB 可以对钢水进行挽救性的升温,采用铝热法可使钢水升温速度达到 8—10℃/min。显然对合金含量较高的品种这种方法是不适宜的。

2.6 喂线

喂入合金线或铝线可以达到提高收得率的效果。喂入 SiCa 线可以使钢水中 Al_2O_3 变成熔点较低的钙铝酸盐夹杂物,使钢中的 S 变成 CaS 提高浇铸性能,提高结构钢的加工和使用性能。但是对于碳含量高于 0.7% 的钢种不能进行钙处理。喂线也称 WF。

3. 合理的炉外精炼设备配置的成功范例

例 1 日本大同公司 1982 年投资 5 亿日元,在 EF—RH—CC 流程中增建 LF,使月产量由 3.9 万吨增加到 5.4 万吨^[10];

例 2 伯利恒钢公司斯蒂尔顿厂利用钢包处理站对钢水的温度进行目标控制,连浇

炉数最高达 109 炉；

例 3 1987 年蒂森公司奥伯豪森厂为了提高质量、降低成本、建造了钢包炉，达到了使电弧炉出钢温度降低 100℃、缩短冶炼周期、降低电耗和电极消耗并使炉外精炼顺行的结果。

例 4 德国乔治马林公司的工艺流程为：转炉挡渣出钢—LF—VD—CC，生产的品种为轴承钢、弹簧钢、热成形工具钢^[11]。

例 5 蒂森公司的工艺路线为：高炉—铁水预处理—转炉—RH 或 RH—OB，生产的品种有汽车外壳钢板、硅钢、抗 HIC 钢板、轨钢、型钢、厚板、深冲板、轴承钢、涂层板等^[12]。

例 6 神户的工艺流程为：高炉—铁水预处理（三脱）—转炉—ASEA—SKF—喷粉，生产的品种有机器用结构钢、易切削钢、轴承钢（不喷粉）、低合金钢^[13,14]。

例 7 英国鲍特—泰波特钢厂用转炉与 CAS—OB 配合，生产汽车用钢和啤酒罐用钢。其中一些钢种的碳含量小于 0.008%。挽救了 2% 的低温炉号。

上述例子可以说明以下问题：

(1) 在炼钢炉与连铸机之间设置炉外精炼设备降低了消耗，提高了生产率，保证了连铸过程的顺行；

(2) 炉外精炼设备是转炉与连铸流程品种开发的必要条件。

对于(1)我国有关人士已经给予比较充分的注意；对于(2)给予的注意程度是不够的，我国利用转炉流程冶炼特殊钢几乎是空白。在日本 50% 以上的特殊钢是由转炉流程生产的。在北美和西欧，转炉都配备炉外精炼设备。利用转炉流程增加一道炉外精炼工序使工艺更加灵活，使产品附加值增加带来的效益也是可观的。

4. 合理的炉外精炼设备的配置

4.1 转炉流程

高炉—铁水预处理+转炉+LF+RH(RH—OB)+FW+CC 具备生产包括不锈钢在内的所有钢种的能力，保证连铸顺利；在上述流程中附加 CAS(CAS—OB)可以使工艺流程灵活，对品质要求比较低的钢种可以使用 CAS—OB 对钢水进行加热及合金化；使用铁水预处理—转炉—LF 可以满足一般无需脱气钢种的品质和保证连铸的需要；如果在上述流程中的进行 LF—TN—LF—RH—WF 即可满足极低硫钢的需要以及连铸对钢水温度和成分的要求，对降低转炉出钢温度具有重要作用。

高炉—转炉—TN—CC 在德国是一条广泛使用的高质量低碳钢种生产流程。

4.2 电炉流程

(1) EAF—LF—VD—WF—CC 可以满足低氧钢、低硫钢、低气体钢的要求，对连铸的顺行和产品质量起充分的保证作用；

(2) EAF—LF—RH—FD—CC 除了不能满足极低硫要求外，作用同(1)，但脱气效果更好一些。为了实现极低硫钢的生产，应在这条工艺路线的 LF 处理后加入一个 TN 处理。

(3) EAF—LF—WF—CC

可以满足不要求脱气钢种的需要。可以达到很高的脱氧和脱硫要求。满足连铸对温度和夹杂物的要求。

对于轴承钢不能进行 WF 处理。不锈钢的炉外精炼问题无需讨论。从保证绝大部分钢种的多炉连浇来说,LF 和 WF 是必不可少的。

参 考 文 献

- [1] 马廷温主编,《电弧炉炼钢学》,冶金工业出版社,1989 年
- [2] 马廷温,王平,《钢铁研究学报》,4(1992)增刊,75
- [3] 马廷温,王平,《特殊钢》,1994 第 2 期,1
- [4] 王平,傅杰,《特殊钢》,1993 年 8 月,1
- [5] 阎峰,孔祥茂,《超高功率电弧炉及相关技术》,冶金工业部情报研究所,79
- [6] 刘运兴,《电弧炉——炉外精炼技术》,第 2 辑,211
- [7] 桑原达朗,《铁と钢》,1987,第 16 期,2159
- [8] Hermann P. Stahl u. Eisen,107(1987),No19
- [9] Rudolf B.,Steel Research,58(1987),432
- [10] Toshio Kishida,Steel Times,1983,12(5),10
- [11] Hofer F.,MPT 1990(3),22
- [12] Hermann P.,MPT,1988(6),14
- [13] 大西 泰,《铁と钢》,1987,73(3),111
- [14] 藤本英明,《铁と钢》1988,74(10),74

浅谈炉外精炼技术对连铸技术的促进作用

梁文玉

(包头钢铁设计研究院)

炉外精炼发展至今其方法已有近百种,根据其发展趋势以及与炼钢炉、连铸机的配合上来考虑,常用的精炼方法列于表 1 中,该表也示出了二次精炼所带来的经济效益。

如何配置炉外精炼装置是涉及整个炼钢工艺和产品大纲的问题,一般说根据所冶炼的钢种及其冶金要求和最终产品的质量要求结合熔炼设备性能及原料条件、连铸机型及铸坯断面、连铸以后的铸坯处理及轧制工艺来综合考虑,从整个工艺流程上合理配置。即选择合适的炉外精炼设备是扩大品种、降低成本、优化冶炼工艺、保证连铸顺行、确保最终产品质量的重要过程。

就炉外精炼设备的选型来讲和连铸机的关系并不十分紧密,它仅是为连铸机提供成份合格、温度合格和有节奏地提供洁净的钢水。但从连铸机的高生产率和高质量铸坯的生产而言二次精炼是一个起主要作用的部分,如前所述这个阶段将冶炼和铸造联系起来,而且在浇注和轧制中确保无故障并控制后续加工。参看近年来精炼连铸车间的建设不难看出炉外精炼和连铸机的相互关系。

1. 采用炉外精炼的工艺,扩大了连铸的钢种范围。

引入炉外精炼技术,使过去难以冶炼或高成本冶炼的钢种不仅较易地冶炼,而且成本也有所下降。这就为连铸机浇注这些钢种创造了必要的钢水条件,加上二次精炼钢水的高清洁度和精确的温度时间控制和连铸技术本身的发展使得连铸钢种不断扩大。

2. 由于炉外精炼工艺的引入,确保了接近最终产品形状连铸技术的发展。

连铸技术正朝着能够通过连铸机铸造出接近最终产品形状铸坯,因此用连铸坯经热加工制成的产品的压缩比大为缩小。如长形产品的压缩比目前最大为10而最小为3然而如用200mm厚连铸板坯生产热带材时的延伸则接近100左右。由于压缩比的减小,因而不可能保证钢中夹杂物在轧制中破裂分散,必须依靠炉外精炼处理使脱氧产物减至最小并且改变其形态,确保钢水的洁净度,从前道工序上最大限度地减少铸坯内部和表面质量缺陷,使得通过小的压缩比就可轧制出满足质量要求的产品。

3. 通过有效的调温手段和钢水的精炼,可降低中间包钢水的过热度,有效地改善了铸坯的内部质量和表面质量。这方面对高碳钢大方坯及大圆坯连铸机和生产线材的小方坯连铸机减小碳偏析很重要。

4. 钢水的二次精炼确保了钢水的质量,从而使铸坯的热装和直接轧制成为可能。

铸坯的热装和直接轧制的前提条件是连铸机必须生产出无缺陷的铸坯,使未经修整或未经检验的铸坯进行热装和直接轧制,这方面除了依靠铸机本身的技术改进外,炉外精炼起着举足轻重的作用。薄板坯连铸连轧就是例子。

5. 炉外精炼提供高质量的清洁钢水,是超低头板坯连铸机生产顺行的前提。

浇注高度8~3米的超低头板坯连铸机与浇注高度为15~10米的连铸机相比投资降低80~70%左右,从原材料到成品的生产成本也降低了,表面质量和内部质量有所提高。然而如果没有钢水二次精炼设备的支持,超低头连铸板坯内弧夹杂物聚集更为严重。

6. 特定的钢包精炼设备,可作为炼钢炉与连铸机的有效缓冲设备。

现代炼钢技术的发展不仅要求熔炼设备均衡地有节奏地生产,而且连铸生产同样要求均衡而有节奏地生产,然而实际生产中,或是熔炼设备与连铸机在时间上不完全匹配,或是由于各种原因打乱生产的均衡和节奏,采用如LF炉这样的精炼设备可以缓冲熔炼炉与连铸机之间的时间配合不协调或者不均衡的节奏调整到新的平衡上来。另一方面使用这种设备也可使不同炉子熔炼的钢水并在一起进行连铸成为可能。

7. 炉外精炼手段的利用提高了连浇炉次之间的铸坯性能再现性。

精炼设备的利用不仅使得各连浇炉次之间的钢水化学成份再现性提高,而且化学成份控制在较窄的范围内,浇注温度的波动也减小到最低,这就体现了铸坯质量的均一性。对用户来说获得机械性能均匀连铸产品是非常有益的。

8. 炉外精炼设备的配置有利于提高连铸机的计算机控制。

表 1 主要炉外精炼法及功能、原材料和能量的节省

	● 效果好、主要应用 效果较好、次要应用	不 用 真 空							使 用 真 空					
		钢 包	CAS	CAS OB	喷 粉	喂 线	吹 氩	钢 流 脱 气	钢 包 真 空 脱 气	真 空 电 弧 加 热 法	钢 包 中 真 空 氧 气 脱 碳 真 空 氧 气 脱 碳 转 炉	循 环 真 空 脱 气 法 分 批 真 空 脱 气 法	吹 氩 脱 碳 或 加 热 RH DH	LF 与 VD 结 合 的 处 理 法
		LF	CAS	CAS OB	TN SL	WF	吹 氩	SD	VD	VAD	VOD VODC	RH DH	RH OB DH OB	LF, VD
应用范围														
普钢		300 ^t	300 ^t	310 ^t	300 ^t				300 ^t			45/350 ^t	300 ^t	300 ^t
特殊钢		40/300 ^t							15/100 ^t	30/150 ^t	15/80 ^t 20/100 ^t			5/250
质 量 改 进	合金化控制成份	●	●	●					●	●	●	●	●	●
	去夹杂	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●
	夹杂形态控制				●	●								
	脱碳				●				●	●	●	●	●	●
	脱硫	●			●				●	●	●			●
	脱氧							●	●	●	●	●	●	●
	脱氮								●	●	●			●
	脱磷	●			●							●	●	●
	脱氧	●							●	●		●		●
	超低磷			●						●				●
操 作 优 点	精确温度	●								●				●
	缓冲作用	●								●	●		●	●
	简化熔炼系统	●								●	●	●	●	●
	增加生产能力	●								●	●			●
	钢水收集	●								●				●
	加热	●		●						●	●		●	●
节 能 和 原 材 料	高质量钢	●		●						●	●	●	●	●
	廉价的碱性材料						●				●			●
	节约合金材料	●	●	●					●	●	●	●	●	●
	减少耐火材料量	●								●	●			●
	电极消耗低									●				●
	能量输入少	●								●				●

炉外精炼设备的投入不仅使熔炼设备生产单一化提高了炉子的生产率,而且,因为到达连铸机钢水的成份温度及时间的命中率提高、再现性增强,利于连铸机的计算机自动控制。操作人员可在任何时候求得一炉钢水从出钢到钢包处理终了的重要数据,包括钢包处理的周期和预定的钢包到达连铸的时间、温度、成份等,这样确保熔炼及钢包精炼和连铸连成一个良好的整体以实现工艺过程控制。计算机控制质量的另一方面是包括熔炼、钢包精炼、连铸坯浇注直至完全凝固的质量跟踪系统。

9. 合适的二次精炼可有效地解决浇注水口堵塞的问题。

众所周知由于钢中 Al_2O_3 的沉积会造成小断面水口的堵塞,选用喂入 Si-Ca 丝和调整钢水中铝含量的方法可以解决这类问题。然而薄板坯连铸由于浇注板型的关系,其浸入式水口同钢流内接触表面积比标准的圆形或椭圆形水口内接触面积大约 2.5 倍,故必须避免氧化铝在水口内的沉积,并非所有产品都以采用硅钙处理来避免水口堵塞,必须依靠钢包处理来提高钢的洁净度和防止钢水的二次氧化。同样的钢包处理也可用于小方坯连铸机定径水口的浇注堵塞问题。

综上所述炉外精炼不仅有效地确保了铸坯质量和连铸生产的顺行,而且也有力地支

持了连铸新技术的发展和优化了炼钢轧制工艺。近年来二次冶金对连铸生产的重要性以及在钢铁联合企业和地方小型钢厂中的应用不断增加,对生产成份、温度、时间高度控制和连浇铸坯质量稳定和再现性要求高的各种洁净钢来说,它已成为必不可少的先决条件和生产手段。精炼联结着熔炼阶段和浇注工序,并确保无故障地控制后续连铸连轧阶段的生产,是有效的低成本高效益的生产手段。

参 考 资 料

- [1]《钢的二次精炼》Vacumatal 公司
- [2]《连铸》中国金属学会连铸学会,94 年 1 期
- [3]《冶金设备和技术》1991、1990、1988、1994。

邯钢二炼钢炉外精炼方案选择

黄 玉 超

(邯郸钢铁总厂)

摘要:本文概述了炉外精炼的必要性和功能,进而提出了邯钢二炼钢炉外精炼的选择和当前应当准备的前提工作。

关键词:炉外精炼 方案选择

1. 概 述

我厂自八十年代初就开始在转炉炉后相继建成了六台在线钢包顶吹(氩气)气装置,对供给连铸的钢水,基本上进行了吹气处理。据统计,一钢 92 年钢包吹气率为 58.6%,93 年上半年为 73.2%。去年二炼钢与钢研所共同开发实验了 15t 顶吹转炉钢包喂线技术,并取得了初步的效果。

2. 炉外精炼功能的选择

2.1 升温功能

二钢钢包温降大,五台铸机规格和对钢水温度的要求各不相同,钢水温度合格率低,温度不合造成回炉比例大,应当考虑精炼装置的升温功能。

二钢 92 年平均出钢量为 20.669 吨,钢包热容量小,散热快,温度损失大。据二钢技术科 88 年 11 月实测 48 炉供方坯和板坯连铸的钢水温降数据,出钢后钢包内钢水平均降温速度达 2.71℃/分。钢包原始条件不同,波动范围在 2.57~3.07℃/分之间,这比大型钢包的温降速度要高出 4 倍以上。

现有的五台连铸机,规格各不相同,对钢水温度要求也各异。连浇时,小方坯连铸要求钢包达到连铸平台温度 1610~1630℃,超低头板坯为 1590~1610℃相差 20℃。实行全连铸后,已将低温钢水改浇模注的“后路”堵死,低温钢水只能回炉,这不但增加了炼钢和调度的难度,而且也迫使转炉出高温钢,这是钢水温度合格率低的一个重要原因。高温钢水的不正常循环给连铸操作带来许多问题,如中包加废钢降温,甚至发生漏包、连铸拉漏等事故。

据统计二钢 91 年温度不合格造成 >10t 的回炉为 126 炉,占回炉总数的 21.1%,92 年温度不合格回炉 200 炉,占回炉总炉数的 27.9%,今年上半年 61 炉,占回炉总炉数的 14.5%,近年来温度不合格回炉占回炉总数的比例远远高于其它原因造成的回炉。

钢水温度合格率低,不能适应连铸正常浇钢的要求,致使板坯内部裂纹和内在质量恶化,甚至造成事故或轧钢退废。今年 6 月 3 日至 5 日对超低头板坯拉钢 120 炉统计,温度合格率为 72.5%,其中高温比达 12%,温度波动范围 78℃,工序能力指数很低。数据统计见表 1。

表 1 超级低头板坯连铸钢水温度实测统计
(钢包到连铸平台温度)

炉数	目标值 ℃	实测值* ℃	标准偏差 (	高温钢比 %
120	1600℃	$\frac{1598.05}{1560-1638}$	19.98	12

* ,分子为平均值,分母为波动范围。

炉统计分析,结果如表 2。

表 2 钢液成份分析

	炉数	成份 %				
		C	Si	Mn	P	S
平均值	100	0.149	0.23	0.16	0.023	0.024
波动范围	100	0.06—0.26	0.15—0.30	0.30—0.64	0.013—0.045	0.012—0.040
标准偏差	100	0.045	0.063	0.061	0.063	0.0057

93 年 6 月 3 日至 5 日对供超低头板坯连铸钢水 123 炉的成份统计如表 3。

表 3 钢水成份

	炉数	成份 %				
		C	Si	Mn	P	S
平均值	123	0.143		0.154		0.026
波动范围	123	0.06—0.29		0.25—0.67		0.012—0.048
标准偏差	123	0.046		0.067		0.0064

如能选择具有升温功能的精炼钢装置,将防止高温出钢的非正常循环,提高钢水温度合格率,减少回炉,稳定连铸操作,降低消耗,提高质量和产量。

2.2 微调成份的功能

89 年 12 月我厂钢研所曾对超低头板坯连铸钢水熔炼成分进行了 100

由表 2、表 3 可见,钢水成份散差大,造成连浇炉与炉之间过渡坯成份失控,连浇炉之间成份波动大,直接影响连铸操作的稳定性和品种的扩大,致使品种钢成份命中率,今年上半年冶炼 65 钢绳钢 16293t,成份命中率为 86.78%,为提高成份命中率,增加适销对路的品种钢,有必要选择微调成份的功能。

表 4 钢中大型夹杂物含量(mg/10kg)及粒度分级

试样号	取 样 位 置	电 解 钢 样 重 (g)			夹 杂 物 粒 度 分 布 (mg)						夹杂物 含量 mg/ 10kg
		原样 重	残样 重	电解 净重	夹杂物 总重量 (mg)	$\geq 500\mu$	$\geq 400\mu$	150~ 400 μ	100~ 150 μ	50~ 100 μ	
11	钢包	1425	90	1335	121.3		5.8	10.7	23.6	21.2	908.6
21	中间包 (前期)	1420	80	1340	24.5		1.5	3.3	3.2	16.5	182.7
22	中间包 (中期)	1370	220	1150	9.2			$\geq 200\mu$ 1.7		50— 200 μ 7.5	80
23	中间包 (后期)	1000	215	785	4.7						59.8
01	铸坯 (头)	3660	1500	2160	70	32.8	400— 500 μ 8.9	2.8	1.7	23.8	324.1
05	铸坯 (中)	3720	1000	2720	43.7	6 7 粒	2.8	2.3	38.6		160.4
09	铸坯 (尾)	3630	1500	2130	21		6.6	280— 400 μ 5.8	100— 280 μ 1.9	6.7	98.6

2.3 夹杂物含量高,性能合格率低,要有净化钢液的功能

83 年 10 月我厂曾与东北工学院合作对二钢小方坯连铸工艺进行鉴定,通过浓差电池定氧测定吹氩后,钢中含氧量[O]的平均值为 118ppm,波动范围较大,在 80~168ppm 之间。现在条件无大变化,估计[O]含量不会降低。

90 年鞍钢钢研所对我厂 16Mn 品种钢 6 块样品采用 MS-46 型电子探针进行钢中夹杂物的定性定量分析表明,六块样品中均发现不均匀分布的 90—150 μ 的大颗粒夹杂物,成份主要为硅铝酸盐,还都含有呈灰色的 MnS 夹杂。

91 年我厂钢研所对二钢供小方坯的钢水采用大样电解法定量分析钢中大型夹杂物含量及粒度分级,结果如表 4。

由表 4 可见,二钢钢包钢水中大型夹杂物含量为 908.6mg/10kg,比首钢实验厂的钢水高 1.5 倍以上,钢坯中夹杂物含量波动在 98.6—324.1mg/10kg 之间,平均为 194.4mg/10kg,夹杂物粒径大于 50 μ 的夹杂称为大型夹杂物,存在于钢中相当于孔洞,破坏了钢基体的连续性,严重危害钢的强度和塑性,是造成性能不合的重要原因之一。脱氧产物、钢包包衬浸蚀物和转炉渣的卷入,不能有效从钢液排出是夹杂的主要来源。

今年上半年,我厂冶炼 16Mn 低合金钢的性能合格率为 94.59%,中板钢板性能合格率为 93.78%,除轧钢工艺和成份外,钢水大型夹杂物含量高,清洁度低,且夹杂分布不均