

第六届
连续铸钢全国学术会议
论文集

中国金属学会连续铸钢分会

1999. 乌鲁木齐



第六届 连续铸钢全国学术会议 论文集

中国金属学会连续铸钢分会
1999. 乌鲁木齐

前 言

中国金属学会连铸分会自 1995 年 12 月在杭州召开第五届全国连铸学术年会以来,经过全国连铸工作者的努力,我国连铸事业又取得了重大的进展。在钢产量突破一亿 t 大关的基础上,1998 年连铸坯产量达 7730 万 t,连铸比达到 67.6%。几年来,连铸技术又有了很大的进步,特别是高效连铸技术等取得了快速发展。为推动我国的连铸事业不断进步,为了进一步总结经验,提高连铸技术水平,确保实现 2000 年我国连铸比达到 70% 以上这一目标,并生产出更多品种的优质铸坯,我们作为学术团体要发挥自身优势,繁荣学术、加强学术交流、促进技术进步,为此我们同新疆金属学会联合举办第六届全国连铸年会,同时将第六届年会入选的论文编印成册,供连铸科技人员参阅。

本届连铸年会的论文征集工作得到了广大连铸工作者的积极支持,钢铁企业的论文占总数的一半以上,院校和科研设计单位的论文水平亦有提高。本文集收集了评审合格的 70 篇文章,分为六部分,即:连铸工艺技术、生产管理及设计;铸坯品种与质量;高效连铸技术;连铸设备、电气、自动化;电磁搅拌;耐火材料、保护渣。

• 参加论文审核的人员有:(按姓氏笔划)毛 斌、王小明、王中元、王志道、王浦江、叶 枫、卢满涛、史宸兴、吕 鹏、孙兆宽、朱苗勇、许中波、李本海、李百炼、何庆天、杨子祥、余志祥、武增明、周 宏、周川生、张永霖、张永鑫、张如斌、张传家、易本熙、易余哲、袁 炯、殷 皓、夏杰勋、倪满林、康 复、谢 兵、蔡开科、戴新猷、魏祖康。全书编印工作由万体娅、柴桂华负责。在此表示感谢!

本届年会得到了新疆钢铁集团有限责任公司、新疆金属学会和其他赞助单位的大力支持,特此表示衷心的感谢!

连铸分会
一九九九年五月

目 录

一、连铸工艺技术与生产管理

1. 武钢第二炼钢厂技术进步二十年的回顾与展望 刘振清等(1)
2. 厚板钢种与厚板坯连铸机装机技术 杨拉道等(9)
3. 薄带钢坯连铸技术的进展与现状 朱立民(13)
4. 坚持管理与科技相结合发展全连铸生产 李卫东等(18)
5. 强化科学管理和技术进步是水钢扭亏为盈的关键 周金泉等(21)
6. 重钢七厂 CAS—OB 钢包精炼工艺的完善及优化 何维祥等(25)
7. 降低出钢温度连铸实现低过热度浇铸 倪满森(27)
8. 武钢第三炼钢厂生产技术的发展现状 余志祥(31)
9. 连铸过程成分控制实践 李具中(36)
10. 强制生核内冷却连铸新技术的计算机模拟研究 于艳等(40)
11. 连铸结晶器内非金属夹杂物运动行为的计算机模拟 雷 洪等(44)
12. 攀钢板坯连铸结晶器内钢液流动数值模拟 文光华等(48)
13. Ar 气泡在连铸板坯结晶器中的行为 万晓光等(53)
14. 连铸异形坯结晶器内凝固传热研究 温崇哲等(58)
15. 板坯连铸结晶器摩擦力在线监测技术开发研究 姚 曼等(61)
16. 圆坯(方坯)浸入式水口插入深度的水模试验研究 刘俊江等(65)
17. 异型坯连铸二冷区动态控制模型及其仿真研究 梁爱生等(69)
18. 线材水平连铸凝固传热数学模型 陈登福等(73)
19. 小方坯连铸机中间包合理结构水模研究及应用 谢玉红(75)
20. 轴承钢连铸工艺的生产试验研究 陈 敏等(78)
21. 方坯连铸开浇漏钢、接痕漏钢及其防止方法 汤兴隆(83)
22. ZrO_2 — CaO — C 质浸入式水口防止 Al_2O_3 堵塞的机理 姬保坤等(84)
23. 钛微合金化时钢包水口堵塞的研究 苏鹤洲等(87)
24. 小方坯连铸钢采用新型合金脱氧工艺的开发应用 关 勇等(90)
25. 对板坯连铸机机型选择的再思考 马忠仁(94)
26. 攀钢双流板坯连铸机工艺特点 毛敬华等(99)
27. 莱钢炼钢厂大方坯连铸机设计 赵喜悦(103)

二、铸坯品种与质量

28. IF 钢 B 坯增碳研究 董金刚(110)

29. 连铸板坯夹杂分析	张 越(113)
30. 板坯中间裂纹的产生与控制	张 帆(115)
31. 武钢第二炼钢厂提高铸坯质量的技术改造	邓崎琳等(117)
32. 降低宝钢连铸圆(方)坯缩孔缺陷的措施	刘俊江等(122)
33. 0Cr18Ni9 不锈钢连铸板坯的组织结构	翟瑞银等(125)
34. 宝钢边裂、翘皮分析	董金刚(128)
35. 超低头板坯夹杂物来源分析及控制实践	王一洲(132)
36. 对连铸方坯低倍检验中“缩孔”评级的思考	叶 枫(135)
37. 小方坯连铸结晶器对铸坯脱方影响的因素剖析	孔凡杰等(139)
38. 降低连铸板坯内部裂纹的攻关实践	何宇明(142)
39. 连铸板坯内裂成因初探	王良斌(147)
40. 连铸圆坯表面裂纹及产生原因分析	斐敦国等(149)
41. 龙钢 120 方坯脱方成因与对策	马 荣(152)
42. 小方坯连铸 20MnSi 横裂的因素分析	王振民(155)

三、高效连铸技术

43. 高效连铸技术中若干基本问题的讨论	张兴中等(159)
44. 高拉速结晶器内渣金界面行为及卷渣控制研究	雷洪等(162)
45. 杭钢 VAI 高拉速合金钢连铸机设备特点	汪 宁(166)
46. 方坯高效连铸技术的进展	刘 青等(170)
47. 鞍钢六流小方坯高效连铸中间罐结构优化水模型研究	张华书等(177)
48. 新疆八钢小方坯连铸机高效化建设及改造经验	赵 平等(180)
49. 唐钢一炼钢厂易地大修建设高效化连铸机的设计	刘泽发(185)
50. 唐钢方坯连铸设备如何适应向高效连铸发展的探讨	蒋渝生(189)
51. 对莱钢小方坯高效连铸的几点看法	张胜生等(193)

四、设备与电气自动化

52. 韶钢炼钢厂 4# 连铸机工艺设备的改进	林健云等(196)
53. 非正弦振动波形的开发及应用	李宪奎等(199)
54. 压力水膜结晶器的开发与应用	李本海等(202)
55. 连铸机结晶器铜板电镀镍铁合金技术	刘益民等(205)
56. 连铸坯全自动喷印标记设备	赵鸿生等(211)
57. 宝钢连铸矢量调速控制装置开发	史华明等(213)
58. 关于钢坯连铸机冷却水、雾化空气流量检测和调节仪表选型的探讨	陈宏平(217)
59. 关于连铸机结晶器液面自动检测控制系统的探讨	陈延南等(220)

五、电磁搅拌

- 60. 电磁搅拌对连铸小方坯的质量影响 叶 枫等(224)
- 61. 板坯结晶器全幅三段变磁通量电磁制动钢水流动的分析 毛 斌等(235)
- 62. 钢电磁连续铸造的基础研究 李廷举等(239)
- 63. 方坯电磁连铸系统磁场分布的研究 曾德鸿等(241)

六、耐火材料与保护渣

- 64. 珠钢 CSP 生产线连铸中包工作层材料的选择 许传荣等(249)
- 65. 陕西钢厂合金钢小方坯连铸相关技术进展 吴平绪(252)
- 66. 从定径水口技术的进步看我国连铸的发展 邵毅峰(257)
- 67. 稀土金属及其氧化物对保护渣熔融特性的影响 王 雨等(260)
- 68. 连铸系列保护渣性能优化与成分设计 朱立光等(263)
- 69. 超低碳钢连铸保护渣基本形态的选择 王 谦等(266)
- 70. 连铸保护渣粘度特性及机理研究 朱立光等(270)

一、连铸工艺技术与生产管理

武钢第二炼钢厂技术进步二十年的回顾与展望

刘振清 李凤喜 杨焕祥 喻承欢
武汉钢铁公司第二炼钢厂

1 概述

武钢第二炼钢厂是 70 年代末期建成投产的转炉炼钢厂。主要设备是三座国产公称容量为 50t 的氧气顶吹转炉,设计能力为 150 万 t。三台从德国引进的单流弧形($R = 10.3\text{m}$)板坯连铸机,年生产能力为 150 万 t。考虑到当时从日本引进的硅钢专利规定,高牌号硅钢只能模铸生产,故配备了 20%(30 万 t)用模铸法生产,设计连铸比为 80%(120 万 t)。

为满足武钢 1.7m 轧机对铸坯的质量要求,同时配套引进了一台 KR 铁水脱硫装置和一台 RH 真空精炼装置。随着生产技术和市场对品种、质量的要求,1984 年三座转炉成功地实现了顶底复合吹炼以后,又进行了两次扩容改造,使目前转炉装入量达到 85~90t。另外,又增建了一台弧形板坯连铸机和一台年处理能力为 50 万 t 的 RH 真空处理设备。从而使二炼钢厂基本形成了一条较完整的全连铸生产作业线,为发展我国转炉连铸生产进行着有益的探索。

二炼钢厂投产至今,历时 20 年,产量及质量逐年提高,截至 1998 年 5 月共产钢 3455.45 万 t,其中连铸坯为 3234.45 万 t。从 1983 年以后,随着企业现代化管理水平的提高和技术进

步的加快,十多项新工艺、新技术的推广应用,使生产故障大为减少。同时,又突破了高牌号硅钢连铸的难点。因而于 1985 年 3 月成为我国首家全连铸炼钢厂,年产连铸坯 160.8 万 t,质量合格率由 1980 年的 95.95% 提高到 99.42%;转炉、真空及连铸机生产均超过设计能力,转炉和连铸机被评为冶金部的特等炉和特等机。由于连铸坯质量的改善,基本上实现了铸坯热送热装生产工艺。

实现达产超标和全连铸后,根据武钢公司“两个转变”的精神和走质量效益型发展道路的要求,结合本厂产量继续增加、品种不断扩大、质量要求越来越高的实际,为适应市场竞争发展的需要,我们除进一步完善以连铸为中心,转炉为基础,设备为保证的一整套与生产工艺特点相适应的管理模式,加强思想政治工作,从严治厂,提高人员素质外,就是围绕品种、质量扎扎实实地开展技术进步和技术攻关,锲而不舍、持之以恒。这样,使企业的内涵作用得到了增强,使连铸坯产量以平均每年约 8 万 t 的速度增长,综合质量合格率由 99.42% 提高到 99.77% 以上,钢铁料消耗下降到 1087kg/t,转炉平均炉龄由 806 次提高到 3724 次,连铸品种增加五倍多,达到 200 多个牌号。10 项主要可比技术经济指标在全国十大同类钢厂中,全部进入前三

名,其中4项第一,4项第二,2项第三。历年部分主要技术经济指标变化情况见表1。

表1 1981~1997年主要技术经济指标

指标	单位	1981	1985	1989	1993	1997
转炉钢产量	万 t	90.4	161.2	195	228	230.1
连铸坯产量	万 t	72.1	160.8	195	228	230.1
连铸比	%	79.86	99.76	100	100	100
铸坯合格率	%	95.35	99.42	99.85	99.75	99.77
合格坯收得率	%	95.33	96.59	97.76	98.29	98.24
钢铁料消耗	kg/t	1213	1117.4	1107	1090.4	1088.5
转炉平均炉龄	次	486	806	1487	2266	3724
转炉作业率	%	31.78	48.77	67.38	72.75	72.54
铸机作业率	%	26.91	57.32	66.10	69.40	71.05
真空钢处理比	%		5.09	6.28	22.5	19.28
平均连浇炉数	炉/次	2.48	6.31	6.75	7.87	7.95
铸机漏钢率	%	0.308	0.167	0.094	0.071	0.034
钢水回炉率	%		0.80	0.30	0.32	0.33
工序能耗	标煤 kg/t		50.30	25.50	22.67	22.77

2 全国第一家全连铸炼钢厂的实现

由于连铸具有低成本、高效率、高质量和高成材率等一系列众所公认的优点,因而世界各国大力发展连铸,把提高连铸比,实现全连铸作为钢厂结构优化,增强市场竞争力和提高经济效益的重大工艺技术。它是钢铁生产流程中衔接冶炼和轧钢的中间环节。针对当时的客观条件来说,要实现全连铸,从技术工艺上必须解决三个难点:一是提高转炉冶炼操作水平,为连铸提供质量合格的钢水,重点是要做到“三保一稳定”,即保证钢种成分;保证钢水温度;保证钢水到达连铸的时间;稳定的出钢量。二是解决原设计中占钢产量20%(即年产30万t)的模铸硅钢不能进行连铸的技术难点。三是针对全连铸生产中的薄弱环节——大包及中间包系统出现故障问题组织技术攻关。先后采用了一系列新工艺、新技术措施,使连铸比迅速提高,并于1985年3月实现了全连铸。

2.1 提高转炉冶炼水平的技术进步

2.1.1 为提高钢水质量和稳定成分,1984年三座转炉开发应用了顶底复合吹炼工艺。使转炉炉龄提高了200次,钢铁料消耗降低13.33kg/t钢,合金消耗降低0.84kg/t,优质钢炼成率提高了8%~13.9%。从1985年实现全连铸后,为提高复吹水平,又采用了微机控制供气

系统,实现N₂—Ar切换,改进供气元件。实践表明冶金效果良好,终点含氧量明显降低并稳定。终点渣TFe也减少。同时提高WY08AL炼成率13.4%,硅钢炼成率提高8.8%,钢中夹杂物降低28.35%,[N]、[H]含量也有不同程度降低。

2.1.2 为了降低钢水氧化性,提高合金收得率和减少炉渣对钢及耐材的浸蚀,采用了挡渣出钢技术,使大罐内渣层厚度控制在100mm左右。

2.1.3 采用了镁碳砖综合砌炉技术和激光测厚仪配合应用。同时采取焦油拌镁砂对渣线进行干法喷补,使炉龄不断提高,最高炉龄已达4148次。

2.2 高牌号硅钢连铸技术

原引进日本的取向和无取向硅钢8个品种中,按专利要求有5个高牌号品种只能用模铸生产。要实现全连铸,首先就要解决高牌号硅钢在化学成分的高精度控制问题及连铸坯表面、内部质量缺陷和连铸操作方面的问题。为此主要采用如下技术措施。

2.2.1 冶炼无取向硅钢采用铁水脱硫措施,使铁水[S]≤0.003%。冶炼取向硅钢采用低Mn铁水,同时要求出钢过程中进行底吹氩搅拌。出钢采取双挡渣措施。

2.2.2 为保证成分精度准确和钢水纯净度、温度满足要求,所有硅钢均应经RH真空处理。

2.2.3 在连铸方面严格控制钢水过热度 $\Delta T < 15^\circ\text{C}$,采取“低温快铸”工艺;大包至中间包之间采用氩气保护浇注技术;采用硅钢专用保护渣和保温剂;合适的二冷参数等使高牌号硅钢全部实现全连铸。

2.3 针对实现全连铸的薄弱环节——大包及中间包存在的突出问题组织技术攻关。

2.3.1 大包系统的技术进步

大包是确保转炉和连铸机两大系统正常同步运转的重要设备。由于原设计不合理,使连铸投产后大包漏钢故障经常发生。根据生产统计数据表明,大包系统故障的85%来源于滑动

水口装置及其耐火制品。因此,针对大包系统的主要问题,采用了如下技术进步措施。

(1)采用“501”滑动水口装置

针对控制大包钢流中出现的问题,先后进行了五种形式的改革,即塞棒式变为 290mm 的滑动水口式,又由 290mm 变为 380mm,380mm 变为 420mm,最后发展到今天的 510mm。由于该套滑动水口结构合理、选材恰当、安全可靠,使漏钢率降低了 83.3%。同时,对大罐实行了分级管理,提高了大包周转率,确保红包出钢率 100%,降低了出钢温度,为实现全连铸,提高连浇率创造了重要条件。

(2)引流砂的研制与应用

大包采用滑动水口后,为解决滑动水口钢水自开率低的问题,根据国内资源条件和国外有关资料,研究开发各种原料配比的引流砂,反复试验,最终研制了一种颗粒均匀、流动性好,不易烧结的 WS—1 型大包引流砂,使自开率由 78.5% 提高到 93% 以上。1985 年全面推广应用。

2.3.2 中包系统的技术进步

中间包系统的主要问题是(1)控制中包钢水进入结晶器的塞棒系统故障多,特别是组合式袖砖塞棒机构更是如此。(2)中包浸入式水口在浇铸中发生堵塞,特别是浇含铝量较高的钢种或温度偏低的情况下更为明显。(3)耐火材料寿命较低,不能满足多炉连浇的需要,针对这些问题,我们采用如下技术措施。

(1)采用吹氩整体塞棒

等静压成型的并有抗氧化层的铝碳质吹氩整体塞棒,具有很多优点,诸如可避免或减少棒芯软化、掉棒头、水口堵塞等故障以及耐浸蚀、消耗低、操作简便、安全可靠等,对提高操作的稳定性和净化钢质方面都有明显的效果。1981 年从美国引进了少量此种塞棒,使用效果良好。1983 年试制成功并在生产中试用。

与袖砖组合式塞棒比较,采用吹氩整体塞棒,平均侵蚀量降低了 84.37%,塞棒故障率降低了 73.36%。由于故障减少,相应地提高了浇成率和连铸比约 3%。铸坯中夹杂物含量、

大小和分布,均有明显改善。吹氩整体塞棒于 1984 年 9 月全面用于生产。

(2)扩大中间包容量

中包的设计容量为 6.5t。由于容量小,在换大包过程中必须降低拉速 50% 以上来实现连浇,由此又往往引起水口堵塞;钢水供应或换大包过程稍不顺利即造成连浇中断。此类事故约占事故率的 15%。1984 年 8 月在对原中包小车液压升降能力、支承架倾翻装置进行核算的基础上,将原中包钢壳加宽 300mm,底部斜坡改为水平,由此将其容量扩大至 10.78t,较设计容量增加 65.85%,于 1985 年 3 月全部用于生产。

采用扩大容量的中包后,换大包时可以不降低拉速,减少水口堵塞,为多炉连浇和提高铸坯质量创造了重要条件。经计算,此项改进提高连铸机单位时间的生产能力 4.52t/h。

(3)浸入式水口几何尺寸的改进

原引进的浸入式水口,内径为 $\phi 55\text{mm}$,侧孔倾角向下为 35° ,使用中发现水口堵塞严重,断裂事故率达 5.18%,且钢流在结晶器内穿透深度大,不利于夹杂上浮。1982 年,在水力模型试验的基础上,将内径改为 $\phi 65\text{mm}$,向下倾角改为 15° ,水口制作工艺由泥浆成型改为颗粒浇注成型。改进后的水口故障率降至 1.24%,平均每炉浸蚀量减少 0.6mm,浇 08AL 钢时的水口堵塞率降低了 50%,铸坯夹杂废品也明显下降。

(4)采用“冷中包”浇钢工艺

连铸机投产以来,一直采用“热中包”浇钢工艺,即中包内衬工作层采用 Mg—Cr 涂料,非工作层采用粘土砖砌筑。采用此种工艺存在使用前要高温烘烤,使用后拆除困难,使用次数少,影响连铸生产等缺点。1979 年曾引进少量绝热板进行试验,在此基础上,1984 年开发了“冷中包”浇钢工艺,即非工作层采用整体浇铸成型,工作层采用绝热板砌筑。1985 年 4 月正式用于生产,开浇成功率达到 98.54%,比同期“热中包”浇钢工艺提高了 4.11%;中包系统故障影响率下降,浇铸成功影响率和开浇成功影响率分别下降了 2.52% 和 2.16%;非工作层平

均寿命从“热中包”的 6.34 次/包提高到 51.57 次/包;加速了中包的周转,热中包周转一次要 16h,冷中包周转一次仅需 8h。同时还杜绝了中包外壳变形,保证了座砖、浸入式水口装正、装直和水口碗的规则化,大大提高了中包的质量;降低了能耗和耐材消耗,减轻了劳动强度。

(5)快速更换中间包

铸机投产以来,由于一个浇次的最高连浇炉数是以一个中包的耐火材料的使用次数为限。1983 年平均连浇炉数仅 2.47 炉/次,生产能力受到很大限制。在作了详细研究和充分准备的情况下,1980 年开始进行快速更换中间包的试生产,获得成功后,于 1984 年 3 月正式用于生产。

快速更换中间包的关键在于控制铸坯停拉时间,要求控制在 3min 以内,现在一般均可在 2min 内完成此项工作,保证了正常生产。

采用快速更换中间包后,提高了连浇炉数,1984~1985 年提高到 466 炉/次,1987 年进一步提高到 7.06 炉/次,此期间还创造了连浇 117 炉/次的纪录;由于减少了送引锭次数,使铸机作业率从 33.68% 提高到 63.86%;减少金属切损 50% 左右。

3 以品种质量为中心,提高全连铸水平

在 1985 年实现全连铸后,根据我厂产量继续增加,品种钢比例不断扩大和现代化管理水平较低的实际情况,通过以品种质量为中心,建立完善生产管理体系和开展技术进步工作,使全连铸生产水平不断提高。

3.1 以品种质量为中心,促进生产管理工作的现代化

增加品种,提高质量是企业素质的集中表现,是衡量一个企业管理水平、技术装备水平、人员水平和经济效益好坏的综合体现。在生产能力超过设计能力和实现全连铸后,面临下列几个问题。

(1)引进的“一米七”工程热轧生产能力远大于二炼钢厂生产能力,要使热轧优势得到发挥,二炼钢如何尽可能多地提供优质连铸坯?

(2)在产量继续增加的同时,产品结构如何向多品种发展?

(3)宝钢、鞍钢等先进水平的连铸机投产,武钢如何保持连铸先进水平?

(4)国内、外市场对钢材的需求走向多品种、高质量、低成本方面发展,我们如何迎接挑战?

为了解决上述问题,我们重点抓住如下几点。

3.1.1 建立以转炉为基础,连铸为中心的生产管理体系

生产工艺管理的方式是由生产技术水平决定的,而生产技术水平是由生产工艺特点体现出来的。因此,企业的技术装备水平、工艺条件高低、工序的繁简、用户对产品质量要求程度等因素也就决定了生产工艺特点。全连铸生产工艺特点概括起来是

(1)连铸对转炉提供的钢水要求十分严格,要做到“三保一稳定”,即保证钢种成分、保证钢水到站温度、保证既定的出钢时间、稳定出钢量。

(2)由多工序组成的一条连续性的生产工艺作业线,各工序间相互联系,相互制约性很强。

(3)设备及工艺操作比较复杂,设备精度及工艺参数变化对产品质量的影响敏感性强。

(4)现代化的“一米七”轧机对连铸坯的质量要求十分严格。

为了充分适应上述工艺特点,就必须建立以转炉为基础,以连铸为中心的生产体系。从我厂的生产流程来说,主要抓好如下几个环节的工作。

(1)组织提高 KR 脱硫能力的达产攻关,为转炉冶炼品种钢提供优良条件。低硫铁水是保证转炉冶炼工艺操作稳定的基础,也是确保合格钢水质量的前提。KR 脱硫装置引进时设计年处理铁水 50 万 t,由于搅拌头寿命低和设备故障等原因,迟迟不能达产,到 1989 年处理铁水 33.37 万 t。如此数量的低硫铁水,远远满足不了我厂日益增加的品种钢生产的需要。因此,通过多次试验提高搅拌头寿命攻关和设备攻关,使得 1995 年脱硫能力达到设计能力,在此基础上又进行工艺改进,改原来的单罐脱硫

为双罐脱硫,使脱硫产量大幅度提高,1997年突破70万t,1998年上半年已达到42万t,达到80万t能力,超过设计能力的160%,在很大程度上缓解了品种钢生产的原料矛盾。

(2)建立了转炉为连铸服务的生产体系。为了使转炉提供纯净度高,流动性好的钢水,以满足“三保一稳定”的要求,制定《全连铸生产组织管理制度》并不断加以修改和完善。目的在于①协调转炉与连铸生产节奏,提高炉、机生产节奏水平。②保证钢水到吹氩站或RH站的温度合格率,以确保钢水温度满足后工序需要。③建立一个科学的稳定的全连铸生产组织管理体系。在操作工艺上;①抓好装入制度把好原材料关。②规范冶炼操作,稳定终点控制。从而使硅钢内控命中率达到96.78%,重点品种钢内控成分命中率达到97.24%,到站温度合格率达80%,出钢量基本稳定在 $\pm 1t$ 标准内。

(3)充分发挥RH真空处理作用,为连铸生产高质钢创造条件。为此采取如下措施①在确保硅钢生产计划完成的同时,尽最大努力多处理其他品种钢,如CF60、CF80、903等钢;②针对RH装置超负荷运行故障多的特点,加强维护检修,使RH设备故障率在0.5%以下;③提高RH耐火材料使用寿命。因而使经RH真空处理能力不断提高,成为全连铸生产的重要环节。

(4)以连铸为中心协调各工序均衡生产。规定连铸机前各工序的时间节奏和温度等均要按连铸浇铸周期和工艺要求相匹配。为此在连铸系统设立分调度负责与转炉调度和厂部中心调度为生产信息联系及组织各铸机的生产工作,保证了连铸生产工艺的稳定。

由于形成了KR—LD—RH—CC的生产线,建立了上工序为下工序服务,转炉为连铸服务,全厂为连铸和转炉服务的生产管理体系,使连铸生产得到稳定发展。

3.1.2 建立了连铸设备管理体系

众所周知,良好的设备状态是保证正常生产的关键,也是生产优质产品的重要条件。因此,在强化设备管理工作中,首先从领导到每一名职工都强调对设备重要性的认识,并且明确规

定“在生产与设备发生矛盾时,生产必须给设备让路”。在此统一的思想基础上,建立和完善设备维护运行、检修和备件三大质量保证体系,重点抓好如下几点工作。

(1)建立设备维护人员与生产操作工人相结合的设备维护制度,坚决克服生产操作工人只管使用,不管维护,将设备维护的责任完全寄托于设备维护人员的传统习惯。因此,给生产操作工人规定了对操作设备要进行检查确认制度,一旦确认签字后所产生的影响后果则考核操作者。同时明确规定设备清扫、保养、检查的方法和内容。从而使操作工人和设备维护人员共同配合,将设备隐患消除在萌芽状态。

(2)以降低设备故障为目的岗位点检和专检制度的贯彻执行。狠抓岗位点检规范化,将各主要设备分解落实到各岗位,明确点检内容、项目、检查路线、标准、时间、人员,改变过去维护人员坐在值班室等电话通知才去检查设备运行系统情况的作法。另一方面每月组织一次设备大检查、大评比,通过评比结果,对优秀者奖励,对存在的问题以书面形式反馈到车间班组,限期整改完毕。

(3)认真执行设备定期检修制度。每月的生产计划中都明确规定设备检修项目、内容和要求。为了确保检修质量,规定了一整套验收标准,凡验收签字后,到下一次检修周期内所产生的因检修质量问题而造成的后果一律考核检修单位。在今年的承包责任制中,检修质量作为检修车间的质量否决指标考核,以减少设备非计划检修时间,提高检修质量。

(4)加强备件计划管理,逐步实行备件国产化。连铸设备主要是从西德引进的,为保证备件供应,一方面合理编制备件储备,消耗定额,合理订货进货,开展修旧利废。另一方面,积极配合制造单位进行备件国产化研制试验工作。现除大齿圈、部分轴承、液压泵和电气插件板集成块外,已全部国产化。

(5)大力开展设备薄弱环节攻关有的放矢地解决局部设备故障多,影响全局生产的问题。如:提高转炉风机寿命攻关、连铸格栅板变形攻

关、二冷水自动冲洗改造等等。

由于建立了设备保证体系,使主要设备完好率几年来保持 100%,设备故障时间比 1985 年降低 85% 以上,为连铸正常生产创造了重要条件。

3.2 以品种质量为中心,开展技术进步攻关

在一定的生产条件下,管理水平的提高可以优化产品质量。然而,产品质量的飞跃必须依靠技术进步。所以管理进步和技术进步是推动生产发展的一对轮子,缺一不可。二十年来围绕品种质量在技术工作上做了一系列工作。

3.2.1 开发品种提高质量要解决四大难题

我厂生产的品种钢占公司的 80% 以上,主要用于发展轻工、能源、交通和国防工业。这些品种是国家建设急需而市场短缺的产品。在各单位配合下,通过不断试验、创新,从铁水处理、转炉冶炼到连铸浇钢的技术攻关,初步攻克了四大难题。

(1) 成分命中率

通过严格控制转炉顶底复吹工艺、降低钢水氧化度;采取挡渣操作,减少渣层厚度;根据炉况精确计算合金加入量,选择适宜的加入方式,使冶炼成分命中率确保在 90% 以上。

(2) 钢水纯净度

采取复吹后搅工艺,加上 KR 脱硫、RH 真空处理或大包吹氩、保护浇铸、中包整体塞棒吹氩、中包双隔墙等技术,促使夹杂物上浮,使氧化物夹杂总量控制在 0.008% 以下,硫含量小于 0.010%。

(3) 硫化物夹杂变态处理

采用在结晶器中喂稀土丝的方法,处理低硫钢水。通过控制 LRe/S 比,改善硫化物形态。

(4) 铸坯质量

通过控制合适的连铸温度的同时,对不同品种采用相应的冷却制度和拉速,避开高温脆性区矫直;选用合适的保护渣和连铸工艺参数。从而改善了低合金钢、硅钢及其他专用钢的质量。

3.2.2 开发品种,提高质量的主要技术措施

如前所述,在实现全连铸的技术进步项目中,有部分同时对提高质量发挥了重要作用,如

顶底复合吹炼、挡渣出钢、中包扩容等。除此之外,还应用了下列主要技术措施。

(1) 为了提高 KR 铁水脱硫数量和效果,将单罐脱硫装置改造为双罐脱硫装置,使脱硫能力提高 40%;同时,研究成功了含碳 CaO 基脱硫剂取代 CaC_2 脱硫剂。为适应低碳和超低碳品种钢生产需要,1989 年又研制成功无碳 CaO 基脱硫剂,确保脱硫效率达 92% 以上,脱硫剂耗量进一步降低。

(2) 大包吹氩方法的改造,由原设计的顶吹氩方式改为底吹氩方式,不仅有利于加废钢调温,降低耐火材料消耗,而且使钢水中非金属夹杂物排除率提高 14.16%。

(3) 中间包采用双隔墙,改善了中包内钢水流股形状,延长了钢水在中包内停留时间,促进了夹杂物的分离和上浮,使轧后夹杂废品率由原来的 1.53% 降至 0.67%。

(4) 保护渣的开发应用方面。在科研和生产部门的配合下,除进一步提高原已开发应用的硅钢及低合金钢用粉渣 W-4、W-5、W-2 等牌号外,又成功开发了超低碳、中碳钢用颗粒保护渣 DK-3、DK-2、DK-1 及无碳中包渣 H-1、HP 等。

(5) 无氧化保护浇铸技术。除中间包到结晶器之间采用浸入式水口和保护渣进行密封浇铸外,又研究成功了由大包到中包之间的长水口吹氩保护浇铸装置,并在国内首家采用这一新技术对全部钢种实行无氧化浇钢。采取这一措施后,使各钢种综合夹杂废品率降低了 52.4%。对 08LA 系钢及硅钢的降低幅度更大,分别达到 91.7% 和 85.0%。

(6) 自动辊缝测量仪的应用。铸机状况好坏对铸坯质量的影响十分敏感,特别是辊子开口度和弧度,直接影响中心裂纹和鼓肚,采用自动辊缝测量仪定期检测调整,配合“轻压下”工艺技术的应用,使这些钢坯缺陷基本上得到消除。

(7) 运用硫印检验技术,对铸机状态及铸坯质量进行诊断。我们在科研部门的配合下,制订了硫印检验评级标准,通过每天的硫印检验,运用铸坯凝固理论,推断铸机异常状况发生的

原因及部位,从而及时调整,保证了铸坯质量。

(8)电磁搅拌技术的应用。为了提高硅钢和其他专用钢的质量,1986年和1987年先后从西德和日本引进两台不同形式的电磁搅拌装置,分别安装于1号和3号机的二冷段,通过试生产表明,可提高硅钢等轴晶率40%~60%;消除高牌号硅钢瓦楞状缺陷,实行一次冷轧工艺、减少中心偏析等均有良好的效果。

(9)连铸结晶器中添加稀土丝工艺技术。为了提高钢的纯洁度,控制夹杂物形态及其分布,改善钢的综合性能。根据国内稀土资源丰富的条件,试制成功了无级调速喂丝机。将 $\phi=3.6\sim4.0\text{mm}$ 的稀土丝,按钢中 $[\text{Re}]/[\text{R}]$ 的一定比值确定加入量,连续加入结晶器钢水中。生产实践表明,稀土回收率达80%以上,铸坯等轴晶率增加10%~15%,中心偏析和夹杂物形态有了明显改善,夹杂物含量明显降低。

(10)WAL—Ⅲ型铝线机加铝工艺的应用。转炉出钢后,向大包钢水中加铝脱氧和调整加铝量的操作方法,对钢质量和生产成本影响很大。为提高AL的收得率和酸溶铝的命中率,改善钢水质量。试研成功了设计合理、结构简单、使用方便的铝线加铝机,并在生产中推广应用。与沉箱法加AL比较,使08AL钢的酸溶铝命中率提高3.8%~7.0%,节铝27.6%。铝线加入速度从1~5m/s可调,可手动或自动操作,加AL量可直接显示和自动打印。

(11)连铸轻压下技术的应用。连铸坯中心线裂纹和中心偏析是板坯常见缺陷。为了改善中心偏析,消除中心线裂纹,除对钢水成分、温度和冷却强度进行合理控制外,采取合适的轻压下控制参数。可以使铸坯中心线裂纹发生率降低67%;中心偏析程度明显改善。B类中心偏析比普通法降低54%,C类中心偏析提高18.62%,特别是1.0级以下的中心偏析提高3.7倍。

(12)节能型连铸气雾喷嘴的研制与应用。为了适应高质量、多品种的生产要求,满足连铸坯热送热装工艺需要。成功地开发了节能型气雾喷嘴,该种喷嘴结构突破了内混式喷嘴结构的格局,由传统的垂直相交式或斜交式改为引

射式。使喷嘴性能更稳定,水流密度分布更均匀,冷却效率更好。经使用表明,比原气雾喷嘴节气60%;铸坯表面温度波动在10℃以内;综合质量合格率提高0.13%;而且喷嘴数量由原来10种/套减少到3种/套。已取得国家专利。

(13)异钢种连浇技术的开发。在采用快速更换中间包实现同钢种连浇的基础上,又根据品种钢多的市场需要,在国内率先成功地开发了不同钢种的连浇技术。研究了不同连接件的可靠性和对混合坯长度上化学成分的影响程度。达到了保证混合长度少于700mm的连接件的结构形式。目前该项目工艺已在提高连浇炉数和保证品种质量方面发挥了重要作用。

(14)钢包罩式升温精炼工艺技术的开发。为了改善全连铸生产组织,减少低温回炉钢水,提高成分命中率,在1988年实现简易钢包罩式升温装置处理钢水的基础上,于1993年又进行改进设计,现已投入生产,该装置具有升温 and 精炼功能。生产实践证明,平均升温速度6~8℃/min,微调成分准确,合金收得率高(锰为97%,铝为45.74%,钛为64.94%)。

(15)为了适应扩大品种,提高质量,增加效益的需要,于1995年后还完成了引进中间包等离子加热技术,结晶器液面控制和中间包滑动水口装置的试验工作。目前正在针对出现的问题和国产化备品备件进行研究,争取尽快推广应用。

另外,在炉外精炼方面针对2号RH真空处理的薄弱环节组织达产攻关。真空插入管使用寿命由49.9次提高到60.1次,年处理量已超过设计水平达到了51万t。同时,针对原使用的电极加热系统存在的电极断裂钢水增碳和能源消耗高等缺点,改造为煤气在线加热系统。经生产使用表明,可提高超低碳钢炼成率15.7%,且安全可靠。1号RH真空装置多功能改造工作也已完成,最近月处理能力已达设计目标,正在为高牌号硅钢等生产处理工艺进行探索。

4 目前存在的问题及展望

4.1 存在的主要问题

武钢二炼钢厂20年的奋斗历程,是一部艰

苦创业、技术创新和管理进步的历史,她的各项全国先进技术经济指标,为武钢走质量效益型发展道路,乃至对带动全国转炉连铸厂的发展都做出了较大的贡献。然而,世界炼钢技术正在日新月异的向前发展,钢铁企业间的竞争更加激烈,质量品种的不断追求和成本的不断降低,是企业永恒的主题。因此,技术创新、工艺改进、设备更新是现代钢铁企业发展的必由之路。武钢二炼钢厂虽然在这20年中不断地进行了必要的技术创新和技术改造,但与世界和国内先进企业比较,还有许多问题需要解决。

4.1.1 炼钢主原料条件的改造配套迫在眉睫。现在市场的竞争,顾客对品种规格、钢材质量提出了更高的要求。而作为炼钢主原料的铁水,在先进的工业化国家,目前基本上是全部铁水经过预脱硫等处理。二炼钢目前仅有年处理70万t铁水的能力,不足钢产量的1/3,这与武钢把二炼钢厂作为品种开发与生产基地的要求相差甚远。

4.1.2 转炉冶炼周期与连铸浇钢周期不匹配,生产组织上无法固定转炉与连铸的匹配关系,给生产调度组织工作和工序操作稳定性加大难度,对钢水和铸坯质量也造成不利影响。

4.1.3 连铸机的机型落后和装备老化,限制了超纯净钢和无缺陷铸坯的生产。

4.2 今后展望

以上三大主要问题,只有通过不断进行技术进步和技术改造才能加以解决。

4.2.1 铁水脱硫技术改造

(1)增建一个喷吹脱硫站,年处理铁水能力可达160万t,加上原KR脱硫站,使铁水达到全脱硫,以满足占目前产量的80%以上的品种钢生产需要。

(2)用高炉罐直接脱硫,直接入转炉的技术攻关,降低公司综合能耗,为全脱硫后保证转炉铁水入炉温度创造条件,稳定和提高转炉操作指标,降低钢铁料消耗,提高废钢比。

(3)为提高脱硫效率,降低渣量和脱硫剂耗

量,探索 $\text{CaO} + \text{Mg}$ 作脱硫剂的技术工艺。

4.2.2 连铸机高效化改造。主要技术有

(1)采用钢包下渣检测系统,减少钢渣进入中包。同时为全程保护浇注创造条件。

(2)采用30t大容量中包并设隔墙,使工作液面深度达1m,且采取工作层碱性料喷涂技术,提高钢水纯净度。

(3)结晶器长度加长至900mm,格栅改足辊,同时结晶器铜板镀层,改善铸坯质量。

(4)采用直弧型连续弯曲、连续矫直或多点弯曲、多点矫直铸机,使夹杂物充分上浮,减少应变,改善铸坯质量。

(5)结晶器采用电磁搅拌(带制动)技术和液面自搅技术,提高板坯表面及内部质量。

(6)采用结晶器液压振动,可在线调整振幅、振频和振动曲线的振动系统,以达到改善铸坯表面质量的目的。

(7)二冷由全水冷却改为气雾冷却,并可根据钢种工艺需要对二冷参数进行动态控制。

(8)连铸自动化控制采用二级控制,即基础自动化和过程计算机控制,预留三级管理机接口。

4.1.3 转炉冶炼和炉外精炼技术

(1)进一步进行转炉计算机控制炼钢技术的开发和应用,稳定和提高转炉冶炼水平,提高钢水质量。

(2)实施转炉溅渣护炉技术,大幅度提高转炉炉龄,提高转炉作业率,降低炉衬砖和补炉料消耗。

(3)RH真空精炼功能的开发,特别是KTB/WPB技术的推广应用。①RH升温规律的研究试验,降低出钢温度的范围;②RH最佳脱碳工艺研究;③喷粉脱硫及顶吹氧工艺技术的开发与创新;④KTB/WPB对耐材的影响及吹氧枪国产化研制等。

通过上述技术改造和技术进步,为武钢产品结构优化和超纯净钢的生产打下可靠基础。我们相信,二炼钢厂将能生产出世界一流质量的连铸坯,全连铸生产技术经济指标将赶上世界先进水平,武钢的市场竞争能力将进一步提高。

厚板钢种与厚板坯连铸机装机技术

杨拉道
西安重型机械研究所

康 复 裴云毅
上海宝钢集团公司

1 概述

以厚板钢种为对象的厚板坯连铸机生产的板坯大多供给厚板轧机,产品涉及的工业生产领域较广。主要生产用于油气输送管、桥梁、造船、高、低温压力容器、锅炉、采油平台、工程机械、建筑、工具、车辆等多种用途的钢板,其中大多为低合金高强度钢,还有一些特殊用途钢。

大多数厚板钢种对材料的常温、低温机械性能(包括屈服极限 σ_s ($\sigma_{0.2}$)、强度极限 σ_b 、冲击韧性 α_k)、焊接性能,抗大气和海水腐蚀性能,抗分层撕裂性能、耐磨性等要求较严,由于实际使用和市场竞争的原因,这种要求越来越高。就油气输送管钢(通常也称管线钢或 X 系列钢)来讲,已经由过去的 X60、X70 发展到 X100,相当于最低屈服极限 $\sigma_{0.2}$ 为 70kgf/mm^2 ,而且国外目前正在研究开发 X120,相当于最低屈服限 84kgf/mm^2 。

2 连铸机生产厚板钢时容易出现的质量缺陷

2.1 各种因素引起的板坯中心疏松和中心偏析

中心疏松和中心偏析是厚板钢种最突出最严重的质量缺陷,主要由以下三方面原因造成。

(1)钢液中各种溶解物浓度的提高,使其分布在两相界上。

(2)凝固末期熔质富集的钢液的流动(包括凝固收缩和辊间鼓肚),使得碳、锰、硫、磷等元素在钢中的聚集(不均匀分布)是产生偏析的主要原因。

(3)浇注参数诸如中间罐钢水过热度、板坯宽度及浇注长度也对铸坯的偏析产生影响。

中心偏析结合各类夹杂物的存在,严重地恶化了钢的冲击韧性特别是低温冲击韧性。

偏析的钢板因偏析带硬度高又影响了其端部被使用时的焊接性能,使焊接部位(热影响区)冲击韧性更加恶化,甚至出现焊接裂纹。中心疏松和偏析严重时便形成中心线裂纹,直接影响铸坯的合格率。对氢致裂纹敏感的钢种,中心偏析更为有害。

2.2 氢致裂纹的产生

自从 1972 年发生海下油管断裂事故以来,对 H_2S 溶液引起的氢致裂纹(Hydrogen induced cracking,简称 HIC)的形成、扩展机理及防止措施已经很清楚了。对管线钢,碳含量、杂夹物(特别是 MnS)及其偏析是引起 HIC 形成和扩展的主要因素,HIC 沿偏析带产生。它的主要形成过程是钢板表面的腐蚀反应造成氢的渗透,在氢原子形成氢气的场所,产生裂纹,然后进一步扩展。而研究表明,二次冷却区电磁搅拌扩大了等轴晶区对 HIC 也有不利影响,管线钢最容易产生氢致开裂和硫化物应力腐蚀开裂(Sulphocompound stress cracking,简称 SSC)。

2.3 碳含量对表面裂纹和内部裂纹的影响

厚板钢的含碳量大多在 $0.02\% \sim 0.2\%$ 之间,而这一区域的碳含量对板坯表面裂纹特别是表面横向裂纹和内部裂纹有影响,特别是碳含量为 $0.1\% \sim 0.2\%$ 时,影响更为显著。

2.4 合金元素的影响

厚板钢含有氮、钒、铌、铜、镍、铝等元素,这些元素对板坯的表面裂纹也很敏感。而铌钒钢的高温脆化温度低于其他钢,在高温脆化点钢的延伸率大大低于其他钢种。另外低合金高强

度钢中还往往存在(有些钢种普遍存在)表面看不到的皮下纵裂纹、横裂纹和星形裂纹。

2.5 纵向裂纹

对于 $0.08\% \leq [C] \leq 0.16\%$ (宝钢的实践是 $0.09\% \leq [C] \leq 0.14\%$,特别是 $[C] = 0.12\%$ 的中碳钢,因为它有很大的凝固收缩系数,因此在结晶器里有不均匀凝固的倾向,很容易在板坯表面产生纵向裂纹。而且在拉速越高时,纵向裂纹产生率越高。

2.6 有害气体

对厚板钢种来说, $[S]$ 、 $[P]$ 、 $[O]$ 、 $[N]$ 、 $[H]$ 等元素除元素 $[P]$ 在特定钢种中保持一定含量外,其余均对板坯质量有影响,特别是 $[S]$ 。

2.7 角部裂纹

对二冷水、高温脆化温度、振痕深度、综合应变、拉速波动、液面波动及连铸机对弧精度敏感的铌、钒钢种易引起角部横裂和皮下横裂。

3 厚板坯连铸机本身特点

3.1 轻压下的迫切性

成熟的生产经验告诉人们,为了克服板坯中心偏析,厚板坯连铸机采用凝固末端轻压下势在必行。

3.2 凝固方面的变化

由于各钢种凝固本身的规律及二冷水的强弱变化,厚板钢种在板坯表面温度设定高于钢的脆化温度时凝固系数偏低,如X系列钢种,按照国外轻压下的实际位置,推算得到的凝固系数在 $23.5 \sim 25\text{mm}/\text{min}^{0.5}$ 之间。而日本钢管6号机在浇注铝碳镇静钢时,用机长推算得到的凝固系数在 $27.1 \sim 27.9\text{mm}/\text{min}^{0.5}$ 之间。

另外,因板坯厚度、宽度均大,比表面积(单位重量铸坯的表面积)小,则钢水在结晶器里的凝固系数比小断面铸坯有所减小。

3.3 连铸机的高度

厚板坯连铸机所浇钢种对裂纹的敏感性较大,板坯厚度大,两相界应变在相同曲率半径时也较大,因此,连铸机的主半径较大,弯曲、矫直点的数目应有一个适当的协调,以保证铸坯在弯曲和矫直时两相界应变达到最低,根除内裂

产生的根源。因此厚板坯连铸机的高度在所浇板坯的厚度相同时不但不会低于薄板钢种连铸机,而且还会有所增加。

由于厚板坯连铸机高度高一些,则钢水静压力必然大一些,铸坯厚度、宽度又大,弯曲、矫直力大,再加上要进行凝固末端的轻压下,这样对连铸机铸坯诱导辊子的直径、辊子型式、排列均有一定要求,对设备的刚度和强度提出了新的要求。

3.4 板坯的保温与缓冷

某些厚板钢种的板坯对冷却速度比较敏感,需要采取一定的保温冷却和保温热装热送措施。

3.5 板坯断面变化范围大

板坯厚度、宽度及钢种范围大,则对拉坯速度、一次冷却、二次冷却提出了相应的要求。而且输送辊道和后部设备的精整能力均应与之相适应。

3.6 产品批量较小

厚板钢种大多为工业生产用钢,与日用消费品用的薄板钢种相比,批量较小,连铸生产时,多炉连浇的炉数偏低。因此要提高产量,就需要减少连铸机的非作业时间,提高浇注速度和作业率。

4 厚板连铸机对所浇钢水的质量要求

厚板钢种对钢水的成分要求极为严格,对有些元素,有害气体、夹杂物的存在比较敏感。特别是要求极其严格的特殊质量级钢类之一的管线用钢。

管线钢属高级纯净钢,虽可以采用平炉、转炉、电炉冶炼,而高炉加转炉的生产工艺能够避免大量使用废钢的电炉生产时某些有害元素(如 $[As]$ 、 $[Sn]$ 、 $[Pb]$ 、 $[Sb]$ 、 $[Bi]$)的进入,是生产高纯净钢的优越工艺,但一般均采用冶炼前的铁水预处理脱 $[P]$ 、 $[S]$ 、扒渣,钢包喷粉,钢包吹氩,钢包真空脱气等许多钢水前处理措施。连铸时又必须防止钢水二次氧化,使钢水处理后的残留夹杂物进一步上浮,必要时喂稀土或钙丝对某些夹杂物进行球化。

5 厚板连铸机的装机技术

5.1 针对中心偏析与中心疏松的装机技术

如图1所示,其中对扇形段电磁搅拌目前出现了新的认识和观点,主要认为电磁搅拌使等轴晶区域加宽对板坯的机械性能不产生影响,相反,等轴晶发达的区域还容易引起氢致裂纹。

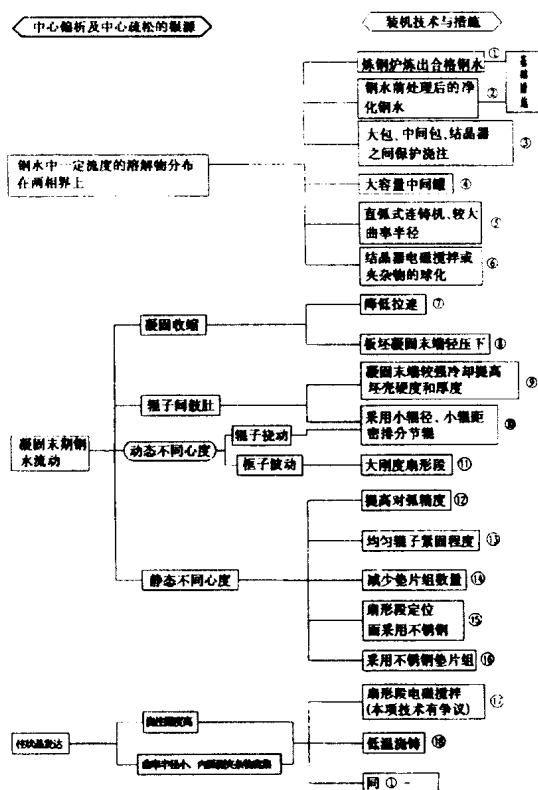


图1 针对中心偏析与中心疏松的装机技术

过去一直被认为是大方坯连铸机的专有技术—结晶器电磁搅拌,在新日铁厚板坯连铸机上应用的结果令人满意,主要优点是浇注高强度钢时,钢水中气体和夹杂物能够上浮,提高液面的稳定性防止保护渣卷入,使结晶器中钢水温度均匀,从而使坯壳厚度均匀,减少纵裂。对这项技术也有持不同观点,认为结晶器电磁搅拌对板坯质量不产生影响。

为了使钢水中夹杂物充分上浮,厚板坯直弧形连铸机直线段长度由过去大多被认为的

2.5m左右提高到3m左右,如日本钢管6号机(3m),神户制钢加谷川4号机第2流(2.95m),住友金属鹿岛3号机(3m),川崎制铁水岛4号机(3m)。

对厚板坯凝固收缩进行补偿的板坯凝固末端轻压下技术是厚板坯连铸机必不可少的一项技术。经过十多年的试验摸索,凝固末端静态轻压下技术已经成熟应用,而且对中心疏松和中心偏析起着关键的决定性作用。目前新日铁室兰厂、君津厂,日本钢管的京滨厂、福山厂,住友金属鹿岛厂,德国 Dillinger 厂, Thyssen 公司,美国惠林匹兹堡厂,加拿大 IPSCO 公司等均成功应用。而奥钢联、西马克德马克还设计开发了将来能够在拉速变化时跟踪凝固终点的液压夹紧式动态轻压下扇形段。

抑制辊间鼓肚避免中心偏析的小辊径、小辊距密排分节辊、大刚性扇形段是进行轻压下的必备条件。加谷川及日本钢管轻压下扇形段辊径只有200多mm,非驱动辊全部为3分节辊,驱动辊为4分节辊。

5.2 提高厚板坯表面质量的技术

(1) 液压振动和谐振结晶器

液压振动装置于80年代初期在日本钢管京滨2号试验样机上开始试验并于1985年应用在福山5号机上,后来又应用到6号机上,为短臂四连杆式。主要目的是浇注过程中动态控制振幅、频率及波形(如调整结晶器上升与下降的时间)。当高速浇注时,结晶器上升时间延长,下降时间相对缩短,负滑动时间相对减少,低熔点保护渣分布下流速度加快,从而降低了因拉速提高而使结晶器铜板和坯壳之间摩擦力增加的幅度。据报道,结晶器总摩擦力可减少25%~30%。另外负滑动时间缩短能使板坯振痕变浅,控制了横向裂纹产生的根源。

奥钢联和日立造船也开发了双缸对称驱动的液压振动装置,奥钢联的液压振动装置应用在林茨钢厂、日本中山钢厂等,而新一代的分离式对称振动台架液压振动装置应用于巴西和中国安阳钢厂。日立造船的液压振动装置应用于川崎制铁水岛4号机上,采用步进缸控制。