

现代钢铁工业技术

小方坯连铸

1998年再版

王浦江 主编



北京钢铁设计研究总院
中国金属学会连铸分会

小方坯连铸

主 编 王浦江

北京钢铁设计研究总院
中国金属学会连铸分会
一九九八年

序

《小方坯连铸》第一版于1985年出版发行，对普及连铸知识，促进我国连铸技术的发展曾起过积极的作用。

十多年来，世界上连铸技术的发展，达到了更高的水平。连铸新技术和新装备的不断涌现，近终形连铸和高效连铸技术被广泛的采用，1996年世界连铸比已达到77.6%，许多主要产钢国家的连铸比都达到了90%以上。连铸技术的进步，推动了钢厂工艺优化和结构调整。

近十几年，是我国连铸技术迅速发展时期，各钢厂积极采用连铸技术，1981年连铸坯产量和连铸比分别从253万t和7.65%，提高到1996年的5377万t和53.7%，品种不断增加，质量显著提高。建成了一批全连铸及连铸坯热送、热装的车间。特钢连铸也取得了可喜的进步。近终形连铸和高效连铸技术的开发初见成效，并显示了强劲的发展势头。

我国连铸机的装备水平有了长足的进步，积极采用先进技术，提高自动化水平。在引进连铸机的同时，重视学习、消化和创新工作，走引进和研制、创新相结合的道路，制造出一批国产化的连铸机。板坯连铸机的国产化率已达90%以上，小方坯连铸机基本上可以立足国内，连铸机的装备达到了国际80年代水平。

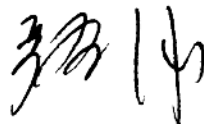
连铸技术的迅速发展，培养了一批研究、设计、制造、生产的工程技术人员和专家，为我国连铸技术进步，作出了积极的贡献。连铸技术的进步和推广，加快了钢厂工艺优化和结构调整的步伐，并将建成一批技术先进、高质量、高生产率和高效益的现代化企业。

我国连铸技术的发展方兴未艾，本世纪末和下世纪初，我国将进入连铸技术快速发展的新时期。为此，重新编写再版《小方坯连铸》一书，以适应连铸发展的新形势。

再版《小方坯连铸》总结了我国近十多年来小方坯连铸技术的进步和经验，反映了国际、国内小方坯连铸技术的新成果。

希望《小方坯连铸》一书的再版，能促进我国连铸技术的发展，为2000年我国连铸比达到70~80%作出贡献。

北京钢铁设计研究总院 院长



目 录

第一章 绪 论	(1)
1.0 国内外连铸技术的发展	(1)
1.1 国外连铸技术的发展	(1)
1.2 我国连铸技术的发展	(5)
2.0 连铸技术的主要优点	(6)
2.1 提高金属收得率	(6)
2.2 节约能源	(6)
2.3 提高铸坯质量	(8)
2.4 有利于实现钢液成型工艺的机械化和自动化	(8)
3.0 连铸机机型及其主要特点	(8)
3.1 机型演变及其分类	(8)
3.2 各种类型连铸机的特点	(9)
3.3 机型对铸坯质量的影响	(10)
4.0 小方坯连铸的发展	(11)
4.1 多流小方坯连铸机	(11)
4.2 刚性引锭杆小方坯连铸机	(12)
4.3 兼用型连铸机	(12)
4.4 小方坯的热送	(12)
4.5 电磁搅拌在小方坯连铸机上的应用	(12)
第二章 小方坯的凝固、传热和质量	(14)
1.0 概 述	(14)
2.0 钢水的结晶和凝固	(14)
2.1 固—液相变的特点	(14)
2.2 晶核的形成	(15)
2.3 晶核的长大	(15)
2.4 小方坯凝固组织	(16)
2.5 凝固组织的控制	(17)
3.0 小方坯在凝固过程的传热	(19)
3.1 连铸坯传热特点	(19)

3.2	连铸过程的热平衡	(19)
3.3	结晶器传热	(20)
3.4	二次冷却区的传热	(34)
3.5	二次冷却制度的制订	(37)
3.6	铸坯冷却控制的冶金原则	(38)
4.0	铸坯质量缺陷及防止措施	(39)
4.1	小方坯质量的特点	(39)
4.2	连铸坯缺陷分类	(40)
4.3	表面缺陷	(40)
4.4	内部缺陷	(44)
4.5	形状缺陷	(49)
第三章 小方坯连铸设备		(50)
1.0	概述	(50)
2.0	钢水处理设备	(50)
2.1	钢包吹氩设备	(51)
2.2	LF 钢包精炼设备	(52)
2.3	喂丝设备	(54)
3.0	钢包回转台	(55)
3.1	钢包回转台的技术要求	(55)
3.2	钢包回转台的类型及特点	(55)
3.3	典型钢包回转台介绍	(57)
4.0	中间罐	(67)
4.1	中间罐的技术要求	(67)
4.2	中间罐结构及参数	(67)
4.3	中间罐内衬	(68)
4.4	中间罐钢流控制装置	(70)
5.0	中间罐车	(71)
5.1	中间罐车的技术要求	(71)
5.2	中间罐车的类型	(71)
5.3	中间罐车的结构及特性	(72)
5.4	中间罐车的设计计算	(78)
6.0	结晶器振动装置	(81)
6.1	结晶器振动装置的技术要求	(81)
6.2	结晶器振动装置的类型及特点	(81)
6.3	几种常见的结晶器振动装置的介绍	(83)
6.4	典型结晶器振动装置介绍	(86)

7.0 小方坯连铸机用结晶器	(90)
7.1 小方坯结晶器的技术要求.....	(90)
7.2 管式弧形结晶器的类型及特点.....	(90)
7.3 结晶器铜管.....	(96)
8.0 浇注平台	(98)
8.1 对浇注平台的技术要求.....	(98)
8.2 浇注平台设计负荷.....	(98)
8.3 浇注平台变形值控制要求.....	(98)
8.4 浇注平台的安装精度.....	(98)
9.0 二冷区铸坯导向装置	(99)
9.1 铸坯导向装置的技术要求.....	(99)
9.2 小方坯连铸机铸坯导向装置的类型和特点.....	(99)
9.3 二次冷却区的冷却系统.....	(101)
10.0 拉坯矫直机	(102)
10.1 拉矫机的技术要求.....	(102)
10.2 拉矫机的类型和特点.....	(102)
10.3 典型五辊拉矫机介绍.....	(108)
11.0 辊道	(114)
11.1 辊道参数的选择.....	(114)
11.2 辊道的组成及结构特点.....	(116)
11.3 辊道的驱动计算.....	(117)
12.0 切割设备	(119)
12.1 切割设备的技术要求.....	(119)
12.2 切割设备的类型及特点.....	(119)
12.3 切割设备的总评价.....	(127)
13.0 引锭杆及引锭杆存放装置	(128)
13.1 引锭杆及其存放装置的技术要求.....	(128)
13.2 引锭杆及其存放装置的类型及特点.....	(129)
14.0 出坯系统	(135)
14.1 升降挡板的固定挡板.....	(135)
14.2 冷床.....	(138)
14.3 移钢机.....	(140)
14.4 铸坯吊具.....	(148)
15.0 液压系统	(150)
15.1 方坯连铸机液压系统概述.....	(150)
15.2 方坯连铸机液压系统的组成及其功能.....	(152)
15.3 方坯连铸机液压系统设计与计算.....	(159)
16.0 小方坯连铸机设备安装及试运转	(166)

16.1	设备安装	(166)
16.2	连铸设备试运转	(178)
第四章 小方坯连铸的工艺和操作		(186)
1.0	浇注温度控制	(186)
1.1	控制浇注温度的重要性	(186)
1.2	连铸生产对注温的要求	(186)
1.3	浇注温度的确定	(187)
1.4	出钢温度的控制	(188)
1.5	钢液温度的调整	(190)
2.0	钢液成分的控制	(193)
2.1	铝含量的控制	(193)
2.2	碳含量及 Mn/S 比的控制	(194)
2.3	挡渣出钢	(194)
3.0	钢流控制	(195)
3.1	钢包到中间罐钢流的控制	(195)
3.2	中间罐到结晶器钢流的控制	(195)
4.0	冷却制度	(198)
4.1	结晶器冷却	(198)
4.2	二次冷却	(198)
5.0	结晶器润滑	(203)
5.1	润滑的冶金功能	(203)
5.2	润滑剂的选择	(204)
5.3	润滑剂的使用	(205)
6.0	拉速控制	(206)
6.1	最大拉速	(206)
6.2	工作拉速	(207)
6.3	结晶器出口处的坯壳厚度	(207)
6.4	拉速控制的操作要点	(207)
7.0	保护浇注	(208)
7.1	概述	(208)
7.2	钢包—中间罐之间的钢流保护	(208)
7.3	中间罐—结晶器之间的钢流保护	(208)
8.0	多炉连浇	(209)
8.1	冶炼要求	(209)
8.2	吹氩调温或钢包炉 (LF)	(209)
8.3	浇注要求	(210)

9.0 操作故障及处理	(211)
9.1 钢包故障及处理	(211)
9.2 中间罐故障和处理	(213)
9.3 结晶器故障和处理	(214)
9.4 二冷区故障和处理	(216)
9.5 设备冷却水故障和处理	(216)
9.6 拉矫机故障和处理	(216)
9.7 切割装置、辊道、出坯装置和其他设备故障的处理	(216)
9.8 铸坯拉漏和处理	(217)
 第五章 设计参考资料	 (218)
 1.0 连铸设计的前提条件	 (218)
1.1 冶炼条件	(218)
1.2 浇注钢种	(218)
1.3 浇注断面尺寸及定尺要求	(218)
2.0 主要工艺参数的计算与选择	(225)
2.1 拉坯速度	(225)
2.2 流数选择	(230)
2.3 铸坯的液芯长度	(230)
2.4 连铸机的圆弧半径	(231)
2.5 液芯铸坯的弯曲与矫直	(233)
2.6 火焰切割系统的计算	(237)
3.0 连铸机生产能力的计算	(243)
3.1 浇注能力	(243)
3.2 浇注周期	(246)
3.3 连铸机年作业率	(247)
3.4 金属平衡及连铸坯收得率	(247)
3.5 连铸机年产量	(248)
3.6 最高日浇炉数及最高日产量	(248)
4.0 炼钢炉与连铸机的配合	(249)
4.1 电炉与连铸机的配合	(249)
4.2 转炉与连铸机的配合	(250)
5.0 方坯连铸机的工艺布置	(252)
5.1 连铸机总体尺寸	(252)
5.2 连铸机在车间内的布置	(256)
5.3 辅助系统的配置及布置	(256)
6.0 主要消耗指标	(261)

第六章 小方坯连铸机给排水	(262)
1.0 概述	(262)
2.0 小方坯连铸机用水及排水	(262)
2.1 小方坯连铸机用水户	(263)
2.2 小方坯连铸机常用的水质指标含义及作用	(264)
2.3 小方坯连铸机的用水要求	(271)
3.0 小方坯连铸机给排水系统	(273)
3.1 国外若干厂小方坯连铸机循环水系统	(273)
3.2 国内小方坯连铸机循环水系统	(279)
3.3 小方坯连铸机选择给排水系统的因素	(285)
4.0 小方坯连铸冷却水水质处理	(285)
4.1 循环冷却水系统补充水处理	(286)
4.2 循环水水质净化处理	(286)
4.3 循环水水质稳定处理	(286)
4.4 排污水处理	(289)
5.0 水处理设施的计算	(289)
5.1 循环冷却水结垢、腐蚀趋势的判断计算	(289)
5.2 循环水系统补充水量计算	(291)
5.3 循环水系统旁滤水量计算	(292)
5.4 敞开式系统中溶解离子浓度及悬浮物的变化计算	(292)
5.5 密闭式循环水系统计算	(293)
5.6 药剂投配计算	(295)
5.7 过滤器计算	(296)
5.8 物料含湿量计算	(297)
5.9 水处理设施设计中有关参考数据	(298)
5.10 计算常用数据	(298)
6.0 小方坯连铸机给排水系统主要技术经济参考指标	(302)
 第七章 小方坯连铸的“三电”一体化控制系统	 (303)
1.0 概述	(303)
2.0 多级计算机控制的系统结构	(303)
3.0 过程控制级的主要任务	(304)
4.0 连铸过程控制级的基本功能	(305)
4.1 浇铸计划管理	(305)
4.2 过程跟踪	(305)

4.3	过程数据收集	(305)
4.4	数据通讯	(305)
4.5	报表管理	(305)
4.6	操作指导	(305)
5.0	连铸过程控制级的过程最佳化功能	(305)
5.1	切割最佳化设定	(306)
5.2	铸坯质量判定	(306)
5.3	二冷水动态控制	(306)
5.4	浇铸速度优化控制	(306)
第八章 小方坯连铸的检测和自动控制		(307)
1.0	概述	(307)
1.1	小方坯连铸过程检测和自动控制的主要内容	(307)
1.2	小方坯连铸仪控自动化的发展	(307)
2.0	吹氩调温站的检测与自动控制	(308)
2.1	喷吹气体热工参数的测量与控制	(308)
2.2	利用控制时钟控制钢液吹氩调温过程	(308)
2.3	利用 PLC 系统控制吹氩调温过程	(309)
3.0	小方坯连铸机的检测与自动控制	(310)
3.1	钢包及中间罐称量装置	(312)
3.2	钢液温度测量	(314)
3.3	结晶器钢液面测量与控制装置	(316)
3.4	铸坯表面温度测量	(323)
3.5	结晶器冷却水的检测和自动控制	(325)
3.6	二冷水的检测和自动控制	(325)
3.7	拉坯长度测量	(327)
第九章 小方坯连铸机的供电和电气控制		(329)
1.0	电气设备的特点	(329)
1.1	连铸工艺对电气设备的要求	(329)
1.2	电动机选型	(329)
1.3	电控设备和生产过程的自动化	(329)
1.4	供配电系统	(330)
1.5	马达控制中心 (MCC) 和控制柜, 操作室及操作点的设置	(330)
2.0	工作方式选择	(333)
3.0	电气传动性能及要求	(335)

3.1	钢包回转台	(335)
3.2	中间罐车	(337)
3.3	结晶器振动装置及结晶器润滑	(338)
3.4	冷却水系统	(338)
3.5	拉矫机及结晶器液面调节	(339)
3.6	剪切装置	(345)
3.7	辊道及出坯系统	(346)
3.8	引锭杆存放和引锭杆跟踪系统	(347)
3.9	蒸汽排除装置	(348)
3.10	液压站	(348)
4.0	基础自动化	(348)
5.0	冷却水供水设施	(351)
 第十章 小方坯连铸的经济评价		 (352)
1.0	连铸经济评价的特点	(352)
2.0	小方坯连铸的绝对效果分析	(352)
2.1	经济评价基础数据	(352)
2.2	经济评价	(353)
3.0	小方坯连铸的相对效果分析	(355)
3.1	经济评价基础数据	(356)
3.2	经济评价	(356)
4.0	两种效益分析对比	(359)

第一章 绪 论

1.0 国内外连铸技术的发展

1.1 国外连铸技术的发展

连续铸钢自问世以来，它便得到迅速的发展。近几年来，虽然钢铁工业不景气。许多国家产量下降，但连铸坯的产量仍在不断地增加，连铸工艺不断完善，技术不断成熟。除此之外，近年来随着炼钢和轧钢技术的进展，钢铁工业结构的变化和对产品规格、质量的新的要求，也都促进了连铸技术的发展。它主要表现在以下几个方面：

1.1.1 超大型炼钢厂的出现以及高生产率的连续热带轧机对连铸技术发展的影响

六十年代中期，相继出现了许多年产超过 500 万吨的大型炼钢厂，这些钢厂采用了生产率极高的大型氧气复吹转炉，有的容量达到 350 t 以上，日产量可达 20 000 t 左右。为此，引起了炼钢与铸锭工序之间的突出矛盾，如果加大钢锭重量，必然增加对初轧机投资，同时浇铸大钢锭也还存在一些难以解决的问题，这就促使优先发展高效率的大型连铸机。包括大型板坯和大型方坯连铸机。现在许多大型钢铁厂，以板材作为主要产品，大部分采用生产效率很高的连续热带和冷带轧机轧制。这种轧机要求较大的钢卷单重(40~60 t)，采用常规和铸锭一开坯工艺是难以满足的，为此，发展了连铸新技术和新工艺。

由于连铸的优越性，许多已建的大型初轧机纷纷停产而被连铸所取代，例如新日铁大分厂和八幡厂的初轧机已停产，君津、福山等厂的初轧机也即将停产。

现在，日本五大钢公司的连铸比都超过了 90%，新日铁大分厂和八幡厂的连铸比均为 100%，实现了全连铸。

1.1.2 小型钢厂 (mini 钢厂) 对连铸技术发展的影响

小型钢厂以生产小型材如钢筋、盘条及小型型钢为主，在应付市场变化与大型钢厂的竞争过程中，不但未被挤垮，而且有了不同程度的发展。

在六十年代小方坯连铸机的发展，促进了小型钢厂的发展。以电炉—小方坯连铸机—专用轧机的生产工艺来满足较窄产品规格的小钢厂在与大企业的竞争中又促进了小方坯连铸机的发展。

小型钢厂的共同特点是装备、生产工艺和生产体系均很先进，其中大多数厂家都采用了连铸机，连铸坯直接进入成品轧机，用以生产钢筋、盘条、小型型钢、扁钢等多种产品。以美国为例，1975 年这类厂总计有 66 家，有 43 家采用了全连铸。小方坯连铸机之所以成为小钢厂的支柱，是因为小钢厂在采用连铸工艺后，具有投资省，建设快，金属收得率高，能源消耗低，竞争力强等特点。

1.1.3 连铸技术发展的特征

1) 连铸机数量，连铸坯产量和连铸比增长情况

据统计 1964 年全世界仅有 80 余台连铸机, 生产能力约 700 万 t; 1970 年达到 325 台, 生产能力为 6800 万 t; 而 1982 年世界连铸坯的总产量为 2.36 亿吨, 连铸比为 36.6%。1996 年世界连铸比达到了 77.6%。1996 年世界各国连铸坯产量和连铸比示于表 1-1。

表 1-1 1996 年世界主要产钢国家和地区连铸坯产量和连铸比

序号	国家或地区	连铸坯产量万 t	连铸比%
1	日本	9520	96.4
2	美国 (E)	8830	93.2
3	德国	3810	95.8
4	中国	5377	53.7
5	韩国	3820	98.3
6	意大利	2350	96.6
7	法国	1670	94.6
8	俄罗斯	2010	40.8
9	巴西	1810	71.6
10	英国	1590	88.4
11	加拿大	1430	97
12	西班牙 (9 个月数据)	1160	95.8
13	中国台湾 (E)	1230	99.8
14	土耳其	1240	93
15	比利时	1060	97.8
16	澳大利亚 (E)	830	99.3
17	墨西哥 (E)	1010	76.8
18	南非	750	94.4
19	葡萄牙 (6 个月数据)	82	96.2
20	瑞典	430	88.2

注 (E) 表示估计值

全世界拥有的连铸机台数及流数分类情况见表 1-2。全世界连铸机生产能力增长情况见表 1-3。

表 1-2 全世界正在生产和建设中的各种连铸机台数和流数 (统计至 1993 年)

小方坯连铸机		大方坯连铸机		板坯连铸机		总计	
台数	流数	台数	流数	台数	流数	台数	流数
713	2574	455	1683	403	604	1571	4861

表 1-3 历年世界连铸机生产能力增长表

	连铸坯产量万 t	连铸比 %
1980	19500	27.2
1981	21400	30
1982	22500	39.2
1983	25400	40
1984	31000	44.2
1985	33100	46.7
1986	34400	49.0
1987	37300	51.5
1988	41900	54.5
1989	44100	57.1
1990	45200	59.7
1991	46100	63.5
1992	46600	66.2
1993	49600	70.0
1994	52500	73.5
1995	56000	75.5
1996	577000	77.6

1994 年世界实现全连铸的国家已达 24 个，它们是：

亚洲：伊朗，以色列，卡塔尔，沙特阿拉伯，印度尼西亚，马来西亚，新加坡，泰国。

欧洲：丹麦，爱尔兰，克罗地亚，挪威，瑞士。

北美：古巴，萨尔瓦多，危地马拉，特立尼达和多巴哥。

拉丁美洲：厄瓜多尔，巴拉圭，乌拉圭。

非洲：利比亚，尼日利亚，突尼斯。

大洋洲：新西兰。

2) 连铸钢种不断扩大

尽管连铸的工业化是以不锈钢为开端的，但初期的连铸机还是以生产普碳钢为主。随着连铸技术的发展，工艺的改进、设备的完善，浇铸钢种也迅速扩大。目前用连铸生产的钢种几乎涉及到所有的钢类，可以为各种轧材供坯，例如日本住友金属公司先后建成的，包括板坯、大方坯和小方坯的 6 台连铸机，成功地生产了板、管、线、棒材领域中，从碳素钢至特殊合金钢的几乎全部钢种，生产品种如下：

(1) 中厚板，包括结构钢、抗大气腐蚀钢、锅炉及压力容器钢、高碳钢等。

(2) 热轧薄板，包括一般及深冲用钢，汽车结构用钢，抗大气腐蚀钢、煤气罐用钢、高碳钢等。

(3) 冷轧薄板，包括一般及深冲用钢板及镀锡和镀锌板。

(4) 钢管，包括管线用钢管，石油工业用钢管，一般及机械结构用管，压力钢管等。

(5) 线材及棒材，包括弹簧及钢丝绳钢，一般及机械用钢、铬钢、铬钼钢、冷锻钢等。

(6) 不锈钢，包括奥氏体类，铁素体及部分马氏体类。

合金钢厂的合金钢连铸得到迅速发展,这是由于连铸产品内部质量较好,洁净度高,成分均匀,更容易达到合金钢的质量要求。德国克虏伯齐根厂,连铸机半径为9 m的方坯连铸机,成功地生产了所有的特殊结构钢,包括淬火钢,可热处理钢、弹簧钢和少量轴承钢,不锈钢等。

印度比哈尔合金钢厂采用连铸法生产的各种合金钢,由于凝固组织好,成分均匀,钢的淬透性好,波动小,完全满足印度汽车工业、轴承厂、无缝钢管厂的要求。

概括起来,能够连铸的钢种按化学成分及用途分类,可包括碳素钢、低合金钢、高合金钢(主要为不锈钢)、硅钢、弹簧钢、还有少量轴承钢、工具钢、易切屑钢等。按轧材分有钢板钢(包括热轧板、冷轧板、中厚板)、线材、棒材、钢轨钢和型钢。按脱氧制度分,绝大部分为硅镇静钢和硅铝镇静钢,铝镇静钢和代替沸腾钢的吕班德钢。

随着炼钢技术的发展(例如真空技术、钢液吹氩、喷吹等)和进一步完善(例如保护浇注、电磁搅拌技术等),铸坯的表面,内部缺陷进一步减少,连铸的钢种将会进一步扩大。

3) 连铸新技术,新工艺开发和研究日趋完善

(1) 近终形连铸技术得到进一步发展

——薄板坯连铸连轧技术是用连铸机,浇成50~100 mm厚的连铸坯热送加(均)热炉,然后通过4~6架大压下量轧机直接轧制成最小厚度约1.2 mm的热轧带卷。该工艺以最短的工艺流程,在一条连续的作业线上直接生产带卷的高新技术,具有能耗低,金属收得率高、劳力省,投资少等一系列优点。继美国纽科公司、西马克公司的世界第一 CSP 生产线于1989年投产以来已有16条这样的生产线投产或正在建设中。德马克公司的ISP薄板坯连铸连轧生产线也早已投产,另外奥钢联和达涅利公司的薄板坯连铸技术也有了长足的发展,围绕薄板坯连铸技术还重点研究开发了以下技术。

- 生产无缺陷连铸坯技术
- 带液芯或不带液芯的压下技术
- 薄板坯浇注用的保护渣
- 薄板坯浇注用的耐火材料
- 连铸—连轧生产工艺的匹配和衔接等

——薄带浇注即将形成规模生产

此次技术是建立在更高新技术的基础上,它的成功开发取消了热轧阶段,可以直接浇铸成薄带,其经济效益更为可观。所以许多国家争相开发。日本新日铁开发了辊式薄带生产技术,直接浇铸2~5 mm×760~1330 mm薄带,该生产线将于1997年7月投产,设计能力:月产3.5万t。法国和德国联合开发的带钢生产线,生产最小2 mm×865 mm极薄带钢也将于1997年投产,用于生产不锈钢和其它钢种,铸速达36~90 m/min。

(2) 等离子中间罐加热技术得到发展

中间罐等离子加热技术自90年代初投入工业化生产以来,显示出很大的优越性,因而近年来得到迅速发展。目前用得较为广泛且成熟的是美国PEC公司、英国TRD公司的中间罐等离子加热技术,美国PEC公司的中间罐等离子加热设备已投产或正在建设中的有多台,其中美国2台、日本1台、德国1台、中国5台,中国台湾1台等。英国TRG公司的中间罐等离子加热设备也有多台,在世界范围内运用。

采用中间罐等离子加热技术后,可能使中间罐钢水温度,严格控制在目标值±5℃,当采用连续测量时可控制在±2℃,这样可以实现“等温”浇注,用极低的过热度浇铸,从而

改善了铸坯质量,有利于提高拉速,增加产量,由于可以挽救低温钢水,也提高了金属收得率,同时还可以降低初炼炉出钢温度,也带来了一系列好处。用等离子加热的方法与其它补热方法比较,结构比较简单,易于在现有连铸机上增设加热装置,所以得到较为广泛的发展。

(3) 高拉速连铸技术的发展

为了提高方坯连铸机的生产能力,减少流数,减少投资,不少厂家把眼光放在方坯连铸高拉速技术的开发上,现已初见成效,预计今后会有更大的发展。

日本住友重机公司和共英钢厂联合开发特殊形状结晶器和结晶器下方高速喷雾冷却装置,使 130×130 方坯的拉速达到 4.5 m/min ,比传统连铸机快 $30\%\sim 40\%$ 。意大利达涅利公司研制的自适应式结晶器,其目的是减少空隙,提高结晶器传热效果,它是通过提高结晶器冷却水压力,提高水的流速来实现的,从而使 $130\times 130\text{ mm}^2$ 的方坯拉速达到 4.3 m/min ,进一步将提高到 6 m/min 。康卡斯特公司和奥钢联公司也正在分别推广采用凸状内壁和抛物线内壁的结晶器(Convexmold和Diamold)以提高连铸机的拉速。德马克公司也研制了抛物线结晶器,并为波兰提供了该项技术,将于1997以投产。奥钢联公司在美国伯明翰厂的一台连铸机 $115\times 115\text{ mm}^2$ 方坯,最高拉速达 5.2 m/min , $140\times 140\text{ mm}^2$ 方坯最高拉速达 3.9 m/min ,另一台连铸机 $155\times 155\text{ mm}^2$ 方坯,拉速达 2.5 m/min 。

(4) 结晶器电磁制动技术的发展

结晶器电磁制动技术是在结晶器内施加一个与铸流方向垂直的静态磁场,使从中间罐流向结晶器的钢水通过静磁场的作用得到控制,流速降低,从而减少了钢渣卷入,减少了夹杂、表面裂纹,同时使弯月面钢水波动减少,提高了弯月面的温度,使保护渣吸收夹杂的能力提高。减少了对板坯窄面的冲击,防止了再熔化,因而减少了漏钢的发生,ABB公司在这个领域的研究走在前列。该技术在川崎水岛厂采用后,水口流出的钢水流速降低 50% ,结晶器制动技术,目前在薄板坯连铸上已广泛运用。

方坯连铸机的电磁搅拌技术,也得到了新发展,如搅拌线圈的安装位置,磁屏蔽技术的运用,也开发了电磁制动技术,是在M-EMS上方增加一个附加的小制动线圈,或者在流股出口设置恒定磁场,控制出口钢水流动,降低冲击深度,以利夹杂上浮,同时提高了热区温度,有利于下面钢水过热度尽快消失。

1.2 我国连铸技术的发展

1.2.1 我国连铸发展情况

我国从1955年开始进行连铸的试验工作。1958年在唐山钢厂建成了第一台工业生产的立式连铸机,1964年又在重庆钢铁公司建成一台弧形连铸机。我国连铸至今已有40余年历史,1996年全国共有连铸机299台,设计能力 6681.4 万 t/a ,生产各种类型连铸坯 5377 万 t/a ,连铸比达 53.7% ,全国实现全连铸的单位达59个。

1974年我国从西德施罗曼-西马克和德马克公司引进三套弧形板坯连铸机,安装在武汉钢铁公司第二炼钢厂,并于1977年投产。继武钢二炼钢厂板坯连铸机投产后,宝钢、鞍钢等厂又引进和与国外合作制造了多台大型板坯连铸机,天津钢厂、邯郸钢厂又引进了中型断面超低头板坯连铸技术,在消化国外技术的基础上,我国也自行设计,制造了大、中型板坯连铸机,舞阳、上钢三厂的 $300\times 1900-2000$ 的板坯连铸机的设计制造和顺利投产,标志着我国板坯连铸技术的新发展。