

中国金属学会 冶金科普丛书

● 余志祥 主编

连铸坯热送热装技术

LIANZHUPI RESONG REZHUANG JISHU



冶金工业出版社



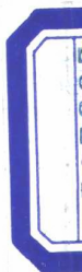
ISBN 7-5024-1967-5



9 787502 419677 >

ISBN 7-5024-1967-5

TF · 564 定价 20.00 元



冶金科普丛书

连铸坯热送热装技术

余志祥 主编

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2002

内 容 简 介

本书为中国金属学会组织编写的“冶金科普丛书”之一。本书共 8 章,第 1 章简单介绍了连铸坯热送热装技术的发展、分类、支撑技术和经济效益评估,第 2、3 章详细介绍了无缺陷连铸坯和高温连铸坯的生产技术,第 4 章介绍了连铸坯运输过程中的保温技术,第 5、6 章重点讲述了适应热送热装的轧制技术和炼钢—轧钢生产一体化,第 7 章介绍了棒线材热送热装技术,第 8 章介绍了我国连铸坯热送热装技术应用实例。

本书可供炼钢厂、轧钢厂工程技术人员、工人、管理人员阅读,也可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

连铸坯热送热装技术/余志祥主编. —北京:冶金工业出版社,2002.5

ISBN 7-5024-1967-5

I. 连… II. 余… III. 连铸坯—铸造—工艺
IV. TG249.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 08259 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 李培禄 美术编辑 李 心 责任校对 杨 力 责任印制 牛晓波
北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2002 年 5 月第 1 版,2002 年 5 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32;8.125 印张;217 千字;248 页;1—3000 册

20.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

本书是中国金属学会组织编写的“冶金科普丛书”之一。

继连续铸钢技术问世以后,连铸坯热送热装和直接轧制成为钢铁生产技术的又一重大进步。在国外,钢铁企业不论是老厂改造还是新厂建设,普遍采用连铸坯热送热装技术和直接轧制技术。我国目前一些钢厂相继进行连铸坯热送热装和直接轧制的实践,并取得了较好的效果。编写本书的目的是希望本书能够对从事连铸坯热送热装工作的同志有所帮助和启发,对各类钢铁企业采用热送热装技术能够起到一定的指导作用,为推动我国连铸坯热送热装技术更快发展做出贡献。

全书共分8章,第1章概要介绍了连铸坯热送热装技术的发展及其流程分类、支撑技术、经济效益评估;第2章论述了无缺陷板坯生产技术,板坯、方坯连铸缺陷及预防措施;第3章介绍了高温连铸坯生产技术,探讨了高速连铸及二次弱冷技术;第4章分析了连铸坯各种输送过程的温降规律以及各种保温技术;第5章论述了适应连铸坯热送热装的轧制技术,并分析了各类钢种热装轧制技术的要点;第6章描述了炼钢—轧钢生产一体化的重要性,分析了影响生产一体化实施的原因以及如何采取措施加以改进;第7章介绍了棒线材热送热装技术;第8章为我国连铸坯热送热装技术的应用实例。

全书由余志祥主编,其中第3章由马勤学撰写,第4章由张毓俊撰写,第5章由蒋扬虎、周有预撰写,第7章由李曼云撰写。蔡开科、贺毓辛、肖治维和张树堂等先生审阅了书稿并提出了宝贵的修改意见。宝钢、韶关钢铁集团公司、三明钢铁厂的同仁提供了他们十分宝贵的实践经验和资料。另外,刘绍嵩、蔡唯成和彭易武分

别为第 5 章、第 6 章提供了宝贵的资料和意见,彭其春做了大量修改校对工作,在此一并表示感谢。

由于编写时间紧,准备仓促,加之水平有限,书中的不足在所难免,诚望各位读者提出宝贵意见,以便今后修改完善。

余志祥

2002 年 1 月

目 录

1 连铸坯热送热装技术概要	(1)
1.1 连铸坯热送热装技术的发展	(1)
1.2 热送热装和直接轧制技术的分类和发展层次	(4)
1.2.1 连铸坯直接轧制	(5)
1.2.2 连铸坯热直接轧制	(6)
1.2.3 连铸坯直接热装轧制	(6)
1.2.4 连铸坯热装轧制	(6)
1.2.5 连铸坯冷装炉加热后轧制	(7)
1.3 实现连铸坯热送热装的支撑技术	(7)
1.3.1 无缺陷连铸坯的生产技术	(7)
1.3.2 高温连铸坯的生产技术	(8)
1.3.3 过程保温及补热、均热技术	(8)
1.3.4 适应不同铸坯热履历的轧制技术	(8)
1.3.5 炼钢—轧钢一体化生产管理技术	(9)
1.4 连铸坯热送热装技术的经济效益评估	(9)
1.4.1 节约能源消耗	(10)
1.4.2 缩短生产周期	(10)
1.4.3 降低氧化铁皮损耗	(13)
1.4.4 改进产品质量,提高金属收得率	(13)
1.4.5 降低生产成本	(14)
2 无缺陷连铸坯的生产技术	(17)
2.1 钢的高温脆化特性	(18)
2.1.1 熔点附近的脆化(第一区脆化)	(20)
2.1.2 γ 区($1200\sim 900^{\circ}\text{C}$)的脆化(第二区脆化)	(21)
2.1.3 γ 低温区以及($\alpha+\gamma$)两相区的脆化	

(第三区脆化)·····	(23)
2.2 连铸过程的凝固与传热·····	(25)
2.2.1 钢水在结晶器内的凝固特征·····	(25)
2.2.2 铸坯在二次冷却区的凝固·····	(35)
2.2.3 连铸坯的凝固组织·····	(36)
2.3 连铸坯在凝固过程中的受力与变形·····	(37)
2.3.1 钢水静压力·····	(37)
2.3.2 结晶器摩擦力·····	(39)
2.3.3 矫直(弯曲)应变与应力·····	(39)
2.3.4 鼓肚·····	(43)
2.3.5 坯壳变形·····	(45)
2.4 板坯连铸的主要缺陷·····	(47)
2.4.1 板坯连铸的表面缺陷·····	(47)
2.4.2 板坯的内部缺陷·····	(60)
2.4.3 板坯的非金属夹杂·····	(65)
2.5 连铸方坯的主要缺陷·····	(67)
2.5.1 形状缺陷·····	(67)
2.5.2 表面缺陷·····	(70)
2.5.3 内部缺陷·····	(79)
2.5.4 非金属夹杂物·····	(81)
2.5.5 中心偏析与中心疏松·····	(82)
2.6 预防连铸坯缺陷的措施和新技术·····	(83)
2.6.1 大包下渣检测·····	(84)
2.6.2 结晶器电磁制动技术·····	(84)
2.6.3 结晶器液面自动控制·····	(85)
2.6.4 压缩铸造技术·····	(85)
2.6.5 电磁搅拌·····	(85)
2.6.6 铸坯质量管理·····	(87)
3 高温连铸坯的生产技术·····	(88)
3.1 高速浇铸·····	(88)

3.1.1	保证浇铸安全的高拉速技术·····	(88)
3.1.2	高拉速时易产生质量问题的对策·····	(99)
3.2	二次冷却的弱冷技术·····	(103)
3.2.1	铸坯在二次冷却区的凝固特征·····	(104)
3.2.2	二次冷却工艺设计原则·····	(105)
3.2.3	几种常用的弱冷方法·····	(108)
3.2.4	二次冷却计算机动态控制·····	(110)
4	连铸坯在运输过程中的保温·····	(112)
4.1	铸坯运输过程的温降规律与实例·····	(113)
4.1.1	辊道运输温降·····	(113)
4.1.2	铸坯堆垛温降·····	(115)
4.1.3	火车运输温降·····	(115)
4.1.4	保温坑温降·····	(117)
4.2	各典型过程的保温技术·····	(119)
4.2.1	板坯连铸机机内保温·····	(119)
4.2.2	切割区域保温及加热·····	(119)
4.2.3	输送辊道保温·····	(122)
4.2.4	火车运输保温·····	(124)
4.2.5	轧制前的铸坯边棱加热·····	(125)
4.2.6	铸坯掉头轧制·····	(126)
5	适应热送热装的轧制技术·····	(128)
5.1	热装与加热·····	(128)
5.1.1	热装铸坯加热工艺应考虑的基本原则·····	(129)
5.1.2	不同热过程铸坯的加热工艺·····	(129)
5.2	热装铸坯的轧制·····	(136)
5.2.1	普通碳素钢铸坯的热装轧制·····	(136)
5.2.2	低碳铝镇静深冲钢铸坯的热装轧制·····	(137)
5.2.3	超深冲钢铸坯的热装轧制·····	(139)
5.2.4	微合金化钢铸坯的热装轧制·····	(142)
5.2.5	低中碳铝镇静钢、碳锰钢和碳—铬—钼	

钢铸坯的热送热装	(145)
6 炼钢—连铸—热轧生产一体化	(149)
6.1 炼钢—连铸—热轧生产一体化管理	(149)
6.1.1 铸坯热送热装一体化生产批量计划和 调度计划	(149)
6.1.2 国内外一体化管理现状	(151)
6.2 影响连铸坯热送热装效果的原因分析	(153)
6.2.1 炼钢、轧钢生产能力不匹配	(154)
6.2.2 轧制宽度与连铸坯宽度的不协调	(155)
6.2.3 炼钢、轧钢计划管理的不同步	(155)
6.2.4 信息传递迟缓	(156)
6.3 实现炼钢、轧钢生产一体化的主要措施	(157)
6.3.1 设计上的合理考虑	(157)
6.3.2 开发优化炼钢、轧钢同步生产的支撑技术	(159)
6.3.3 建立炼钢—轧钢一体化生产管理系统	(171)
7 棒线材热送热装技术	(180)
7.1 棒线材热送热装技术概要	(180)
7.2 棒线材热送热装的条件	(181)
7.3 棒线材热送热装工艺	(183)
7.3.1 连铸机与棒线材轧机生产能力的匹配	(183)
7.3.2 缓冲装置的设置	(184)
7.3.3 冷装台架的设置	(185)
7.3.4 棒线材对加热炉的要求及加热方式	(185)
7.3.5 棒线材热送热装对轧机的要求	(188)
7.3.6 棒线材热送热装的生产管理	(194)
7.4 棒线材热送热装操作	(195)
8 我国连铸坯热送热装技术应用实例	(197)
8.1 宝钢连铸板坯热送热装新工艺	(197)
8.1.1 概述	(197)
8.1.2 宝钢热送热装工艺的方式	(198)

8.1.3	实施热送热装工艺的前提条件及宝钢 实施热送热装的钢种	(200)
8.1.4	热轧钢卷生产工艺全流程	(200)
8.1.5	炼钢及连铸的生产特点	(200)
8.1.6	2050mm 热轧的特点	(202)
8.1.7	计算机系统对热送热装的支持	(202)
8.1.8	解决热送热装工艺关键技术	(203)
8.1.9	连铸坯热送热装计划的编制及生产	(205)
8.1.10	2050mm 连铸坯热送热装实绩	(209)
8.1.11	几点体会	(210)
8.2	韶关钢铁集团公司连铸坯热送热装实践	(210)
8.2.1	前言	(210)
8.2.2	连铸坯热送热装的可行性	(211)
8.2.3	连铸坯热送热装工艺的实施	(213)
8.2.4	全连铸技术的研究	(214)
8.2.5	无缺陷铸坯生产技术的研究	(215)
8.2.6	连铸坯保温技术的研究	(216)
8.2.7	连铸坯热送热装技术实施效果	(218)
8.2.8	经济效益分析	(219)
8.2.9	结论	(221)
8.3	三明钢铁厂连铸方坯热装工艺实践及 经济效益分析	(221)
8.3.1	前言	(221)
8.3.2	棒材连铸方坯热送热装工艺方案	(221)
8.3.3	连铸坯热送热装的各项保障措施	(223)
8.3.4	三明钢铁厂棒材连铸坯热送热装技术 经济效益浅析	(226)
8.3.5	存在的问题及解决办法	(230)
8.3.6	结论	(230)
8.4	武钢连铸坯热送热装的现状与展望	(231)

8.4.1	武钢连铸坯热送热装早期工作及成果	(231)
8.4.2	武钢连铸坯热送热装的现状	(235)
8.4.3	武钢连铸坯热送热装的发展和展望	(236)
8.5	国内几家棒线材热送热装技术应用实例	(238)
8.5.1	苏兴特殊钢合金棒材车间	(238)
8.5.2	兴澄钢铁公司中型车间	(240)
8.5.3	淮阴钢铁公司小型车间	(241)
8.5.4	唐山钢铁公司棒材厂	(243)
参考文献		(244)

1 连铸坯热送热装技术概要

1.1 连铸坯热送热装技术的发展

众所周知,连续铸钢与传统的从钢水至钢坯的生产工艺(即炼钢—注锭—初轧开坯)相比,以其在此过程中减少金属损耗和能源消耗所产生的巨大经济效益,于 20 世纪 60 年代在钢铁工业得到推广与应用。人们继而试图有效地利用连铸坯的显热,实现在炼钢—连铸—轧钢这一过程中更大幅度地节省能源的愿望。特别是在经历了 1973 年和 1979 年的两次世界石油危机之后,节能便成为钢铁工业面临的最重要的课题之一。于是,日本钢管鹤见厂于 1973 年进行连铸坯热装的尝试。随后日本住友鹿岛厂、川崎水岛厂、神户加古川及新日铁大分、堺厂等厂先后开发了连铸坯热送热装技术(见表 1-1)。其中堺厂是世界上第一个实现直接轧制的钢厂(1981 年 7 月)。

表 1-1 日本一些钢厂实行热装工艺或热送轧制工艺的情况

公司和厂名	连铸机及铸坯尺寸	热装或热送状况
新日本钢铁公司 大分厂	5 台弧形板坯连铸机, 板坯尺寸 280mm × 1800mm	1980 年底实行热装工艺, 形成 2 条 30 万 t/月的连续作 业线。1981 年热送率达 85% ~90%
新日本钢铁公司 堺厂	双流多半径弧形连铸 机,板坯尺寸 250mm × (580~1320)mm	1981 年 7 月开始实行板坯 热送轧制。到 1984 年 7 月 底,热送量达 200 万 t。1984 年 1~6 月平均热送率达 80%。
住友金属工业公 司鹿岛厂	3 台板坯连铸机,板坯 尺寸 (223~300) mm × (950~2100)mm	1976 年开始热装,1982 年 6 月热装量达 16 万 t

续表 1-1

公司和厂名	连铸机及铸坯尺寸	热装或热送状况
川崎钢铁公司水岛厂	3 台板坯连铸机, 板坯尺寸 (190 ~ 300) mm × (950 ~ 2100) mm	1977 年 6 月开始实行热装
日本钢管公司福山厂三炼钢	4 流方坯连铸机(可浇铸工字钢坯)	1981 年 5 月投产, 7 月开始热装
日本钢管公司京浜厂	5 号圆坯连铸机, 圆坯直径 170mm、210mm、230mm	1982 年 12 月投产, 热送圆坯到轧管车间直接轧制
日本东伸钢公司姬路厂	8 流小方坯连铸机, 小方坯尺寸 135 ~ 150mm	1976 年投产, 1979 年 8 月开始热装小方坯, 热装平均温度 560℃

欧洲的热送热装技术始于 70 年代末和 80 年代初, 如 1980 年德国克勒克纳公司不莱梅厂开始连铸坯热装实践, 至 1984 年热装数量已达 200 万 t 以上; 1981 年法国索拉克两台板坯连铸机开始热送, 至 1983 年热装率已达 25%。80 年代中期, 德国、法国、比利时、奥地利、美国等国家的钢厂迅速发展连铸坯热送热装技术, 且达到越来越完善的地步(见表 1-2), 如法国索拉克厂两台板坯连铸机至 1988 年已实现 80% 的直接轧制。而 1991 年意大利 ABS 的“黑匣子”棒材厂实现紧凑式连铸方坯热直接轧制更是一个典型例子。而 90 年代以来, 随着薄板坯连铸连轧及其他近终形连铸技术的飞快发展, 将连铸坯热送热装技术推向一个新的集约化生产阶段。

80 年代连铸坯热送热装技术在日本得以更迅速的发展。至 1983 年, 日本全国连铸热送热装比已达 58%。1995 年, 日本全国连铸坯热装率和直接轧制率超过 70%。

表 1-2 欧美部分钢厂热送热装工艺情况

公司和厂名	连铸坯及铸坯规格	热装或热送状况
德国克勒克纳公司 不莱梅厂	一台双流弧形板坯连铸机 169mm×900mm~310mm×2150mm	1973 年投产,1980 年改造后开始热装板坯,热装温度平均 500℃。到 1984 年初热装 200 多万吨板坯
法国索拉克公司 佛罗伦季厂	两台弧形板坯连铸机 (190~250)mm×(620~1860)mm	1981 年初开始热装加热炉,1983 年热装率达 25%,热装温度 500~600℃。1988 年实现 80%直接轧制,67%热装
比利时考克里尔公司 Chertal 厂	一台双流弧形板坯连铸机 160mm×700mm~215mm×2200mm	1989 年热装比超过 65%
奥地利林茨厂	三台立弯式板坯连铸机(170~300)mm×(740~1650)mm	热送温度 900℃,设有 600℃的保温坑
意大利塔兰托厂	一台双流弧形板坯连铸机 240mm×(650~1350)mm	实现 100%的热直接轧制
美国钢公司大湖分厂	一台单流弧形板坯连铸机 (241~305)mm×(2489~2642)mm	连铸机与轧钢车间(距离 3200m)采用专用保温车厢,热装率达 50%以上
加拿大多法斯科厂	一台双流板坯连铸机 254mm×(740~1600)mm	实现了 80%热直接轧制

我国成功应用连铸板坯热送热装技术较早的是武汉钢铁公司第二炼钢厂和热轧厂,其实践开始于硅钢的正常生产,至 1984 年,热送比已扩大到 85%。最近 10 年来,我国各钢厂热送热装技术已有不同程度的发展,如鞍山钢铁公司、上海第三钢铁厂、上海第

五钢铁厂、韶关钢铁集团有限公司、三明钢铁厂、沈阳钢厂、莱芜钢厂等许多钢厂,特别是宝山钢铁公司,目前已把连铸坯热送热装工艺纳入了正常生产。但总的来说,我国连铸坯热送热装技术的研究与应用尚处于较低水平,而管理方面的问题更为突出,因此提高连铸坯热送热装水平仍是我国冶金工业的发展方向之一。

1.2 热送热装和直接轧制技术的分类和发展层次

由于连铸坯热送热装和直接轧制技术是正在发展中的新技术,因此国内外文献缺乏明确界定其概念和分类的方法,本文参考有关文献综合认为按温度曲线从冶金学特点并考虑工艺流程来解释其概念和分类较为合理。其概念和分类见图 1-1 和表 1-3、表 1-4。

表 1-3 连铸坯热送热装和直接轧制概念及发展层次

形式	名 称	热送热装温度	工艺流程特征	发展层次与年代
I	连铸坯 直接轧制 (CC—DR)	1100℃	输送过程中边角 补热和均热后直接 轧制	高 90 年代
II	连铸坯热装 直接轧制 (CC—HDR)	$A_3 \sim 1100^\circ\text{C}$	输送过程中补热 和均热后直接轧制	80 年代
III	连铸坯直 接热装轧制 (CC—DHCR)	$A_1 \sim A_3$	热坯直接装加热 炉加热后轧制	70 年代
IV	连铸坯 热装轧制 (CC—HCR)	$400^\circ\text{C} \sim A_1$	热坯经保温缓冲 装加热炉加热后轧 制	60 年代
V	连铸坯冷装炉 加热后轧制 (CC—CCR)	室温		低

表 1-4 连铸坯热送热装和直接轧制工艺流程特征

形式 名 称		工 艺 流 程				
		连铸	冷却、板坯库	过程补热或均热	保温缓冲	加热炉 轧制
I	CC—DR	○		○		○
II	CC—HDR	○		○		○
III	CC—DHCR	○				○
IV	CC—HCR	○			○	○
V	CC—CCR	○	○			○

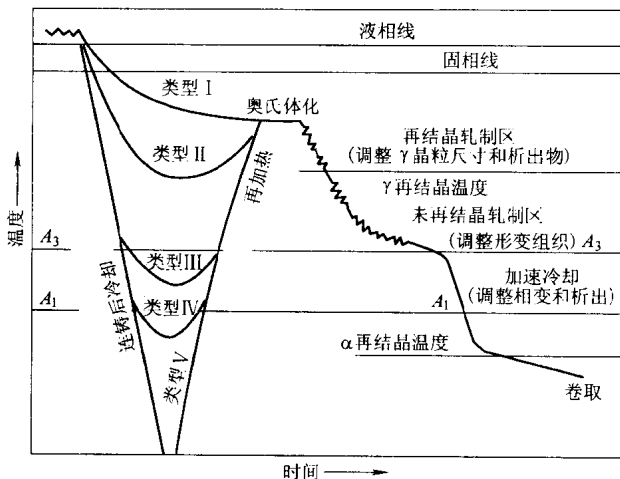


图 1-1 连铸坯热送热装和直接轧制分类示意图

按照图 1-1 和表 1-3、表 1-4 可作如下分类特点表述。

1.2.1 连铸坯直接轧制

连铸坯直接轧制简称 CC—DR (Continuous Casting—Direct Rolling), 分类为 I 型。连铸坯在 1100℃ 条件下不经加热炉, 在输送过程中通过边角补热装置直接送轧机轧制。从金属学角度看, 铸坯轧前没有经过 $\gamma \rightarrow \alpha \rightarrow \gamma$ 相变再结晶过程, 仍保留铸态粗大的奥氏体晶, 微量元素铌、钒等没有常规冷装炉的析出、再溶解过程, 这就需要开发新的轧制工艺来得到晶粒细化的组织, 这对微合金化钢来说, 则能更充分发挥铌等微合金化元素的作用。