

薄板坯连铸 装备及生产技术

Equipment and Production Technology
for Thin-Slab Continuous Casting

张金柱 潘国平 杨兆林 编著



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

薄板坯连铸装备及生产技术

张金柱 潘国平 杨兆林 编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2007

内 容 提 要

本书系统地总结了薄板坯连铸装备与生产技术的发展历程、取得的经验、关注的重点和发展动向。全书共 10 章, 主要内容为: 薄板坯连铸技术的形成、特点和发展趋势; 不同类型薄板坯连铸生产流程的配置、工艺及装备; 薄板坯连铸核心技术, 如结晶器技术、二冷技术、液心轻压下技术、自动控制系统等; 以及薄板坯连铸生产技术、产品开发和质量控制技术。

本书可供与薄板坯连铸技术相关的生产、科研、设计、管理和教学人员参考、使用。

图书在版编目(CIP)数据

薄板坯连铸装备及生产技术/张金柱, 潘国平, 杨兆林编著. —北京: 冶金工业出版社, 2007. 8

ISBN 978-7-5024-4323-8

I. 薄… II. ①张… ②潘… ③杨… III. ①薄板—板坯—连续铸钢—熔炼设备 ②薄板—板坯—连续铸钢—生产工艺 IV. TF777.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 115279 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 刘小峰 (forrest_liuxf@sohu.com) 美术编辑 黄 锐 李 心

版面设计 张 青 责任校对 卿文春 李文彦 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-5024-4323-8

北京兴顺印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2007 年 8 月第 1 版, 2007 年 8 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 18.25 印张; 441 千字; 279 页; 1-3500 册

48.00 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)

作者简介

潘国平，1949年生，安徽霍丘人。1982年毕业于东北工学院（现东北大学）冶金物理化学专业，工学学士。现为马鞍山钢铁股份有限公司技术中心炼钢高级工程师。

多年来一直从事炼钢、连铸领域科研开发、技术质量管理、技术信息研究和冶金辅料产品研发工作。曾获安徽省、马鞍山市科技进步奖多项。公开发表学术论文 30 余篇。

杨兆林，1967年生，吉林长春人。1988年毕业于安徽大学物理学专业，理学学士，电气工程专业研究生学历。现为马鞍山钢铁股份有限公司高级工程师，马钢技术中心科技信息所所长。

多年来一直从事钢铁领域科研开发、企业信息化和科技信息研究工作。公开发表学术论文 20 余篇。

作者简介

张金柱, 1956年生, 山西原平人。1982年毕业于东北工学院(现东北大学)冶金物理化学专业, 工学学士; 1987年获中国科学院金属研究所金属材料专业硕士学位; 2004年获重庆大学钢铁冶金专业博士学位。现为贵州大学材料科学与冶金工程学院教授, 副院长; 兼任中国金属学会冶金物理化学专业委员会委员, 贵州省金属学会理事。

多年来在炼钢学、冶金过程动力学、金属材料热力学、冶金新技术等技术领域从事研究和教学工作。曾获贵州省科技进步奖二等奖1项, “十五”以来贵州省优秀技术创新项目二等奖1项, 2004年获“贵州省优秀教师”荣誉称号, 2005年获“贵州省省管专家”荣誉称号, 享受国务院政府特殊津贴。发表学术论文50余篇。

前 言

薄板坯连铸是目前钢铁工业应用最广的近终形连铸工艺之一，它的出现使薄板坯连铸连轧技术得到迅速发展。2006年，全世界薄板坯连铸连轧生产线的年生产能力达1亿t。我国已经成为世界上薄板坯连铸连轧生产能力最大的国家，已投产的薄板坯连铸连轧生产线有13条，连铸机27流，年生产能力3500万t以上，占世界同类型连铸产能的30%以上，还有一些生产线在积极筹备中。

我国在引进国外先进的薄板坯连铸技术的同时，坚持创新发展，在生产工艺系统集成创新、品种开发、装备的国产化等方面都取得了显著成绩。在薄板坯连铸完成以引进为主转到学习创新，进而自主研发的关键时期，有必要系统地做一个阶段性的小结，记录薄板坯连铸装备与生产技术的发展历程以及取得的经验，以利于更好地明确和关注薄板坯连铸今后创新发展的重点和方向。

本书在撰写过程中，注重从技术引进、消化吸收、再创新等观点出发，资料基本源自国内外薄板坯连铸装备技术研发、制造及使用厂家的最新公开报道和作者的技术体会，著述的重点是通过分析来自生产、科研一线的最新成果、成功案例、研发动向，期望能为读者归纳和体会薄板坯连铸技术对钢铁工业生产流程变革、产品质量的提高和品种结构优化等方面的相关实践，以有助于形成新的创新动力。同时，力求使本书不仅资料可靠，而且包含对新的技术观点的介绍以及由此引发的思考。

本书可供冶金行业生产企业的工程技术人员和生产骨干、研究院所和设备制造部门的技术人员、冶金和机械学科高年级学生、研究生和青年教师学习参考。

在冶金工业出版社领导和编辑的鼓励下，我们通力合作，完成了本书的编写。在此期间，国内外一些从事薄板坯连铸技术的同行也提供了许多资料和建议，有些已收录书中，这些是本书完成的重要基础。在此对所有为本书做出贡献的人一并致谢！

在本书付梓之际，我们发现薄板坯连铸技术又取得了飞速的进步，不能将新的技术信息及时介绍给读者，深为遗憾。在信息爆炸的时代，一些源信息究竟出自何处，归属何人，一时也是难理清，实属无奈。愿与能阅读本书的人做更多的交流，也算是以书会友吧。

由于水平所限，书中不妥之处，敬请读者指正和谅解。

作 者

2007 年 7 月

目 录

1 概述	1
1.1 薄板坯连铸技术的形成	1
1.1.1 薄板坯连铸技术形成概要	1
1.1.2 薄板坯连铸技术的开发	1
1.1.3 采用不同技术的第一台工业用连铸薄板坯热轧机组	2
1.2 薄板坯连铸的特点	4
1.2.1 薄板坯连铸装备技术的特点	4
1.2.2 薄板坯连铸的工艺技术特点	5
1.2.3 薄板坯连铸生产技术的重点与难点	5
1.3 薄板坯连铸装置的建设	7
1.3.1 薄板坯连铸机组简况	7
1.3.2 薄板坯连铸工程建设特点	8
1.4 薄板坯连铸装备与生产技术发展趋势	10
1.4.1 各种薄板坯连铸工艺装备发展趋势	10
1.4.2 薄板坯连铸技术的进步	10
1.4.3 薄板坯连铸生产技术发展的方向	12
2 薄板坯连铸生产流程的配置	14
2.1 薄板坯连铸在连铸连轧生产流程中的应用	14
2.1.1 薄板坯连铸连轧技术的发展进程	14
2.1.2 薄板坯连铸连轧生产线的优点	16
2.2 薄板坯连铸连轧生产线的配置	16
2.2.1 薄板坯连铸连轧流程	16
2.2.2 薄板坯连铸钢水的冶炼装备	17
2.2.3 薄板坯连铸机与轧机的连接——加热炉	18
2.2.4 典型的薄板坯连铸连轧生产线配置	18
2.3 我国薄板坯连铸连轧工艺的发展	21
2.3.1 研究阶段	21
2.3.2 引进和自主开发阶段	21
2.3.3 我国薄板坯连铸连轧生产线概况	22
3 薄板坯连铸工艺及装备	25
3.1 薄板坯连铸工艺及装备的技术优势	25

3.1.1 冶金特征及质量优势	25
3.1.2 各种薄板坯连铸工艺的主要特点和差异性	25
3.2 CSP 连铸机工艺及装备	27
3.2.1 CSP 连铸技术发展概况	27
3.2.2 CSP 技术的发展历程	28
3.2.3 国内外典型的 CSP 生产线工艺装备配置	36
3.2.4 先进的 CSP 连铸装备配置	40
3.3 ISP 连铸机工艺及装备	52
3.3.1 ISP 工艺概况	52
3.3.2 ISP 连铸生产线的特点	53
3.3.3 ISP 连铸的关键技术——铸轧技术	53
3.3.4 典型的 ISP 连铸机装备	54
3.4 FTSRQ 连铸机工艺及装备	57
3.4.1 FTSRQ 工艺概况	57
3.4.2 FTSRQ 连铸机工艺特点	57
3.4.3 典型的 FTSRQ 连铸机装备	59
3.5 CONROLL 连铸机工艺及装备	68
3.5.1 CONROLL 连铸机的工艺特点	68
3.5.2 典型的 CONROLL 连铸机生产线	69
4 薄板坯连铸结晶器及相关技术	74
4.1 薄板坯连铸结晶器的形状	74
4.1.1 不同类型结晶器形状	74
4.1.2 连铸结晶器内腔尺寸的变化	76
4.1.3 结晶器液面波动、振动和润滑	76
4.1.4 中国兰州试验机组的薄板坯连铸结晶器	77
4.2 不同类型薄板坯连铸结晶器的主要特点	77
4.2.1 漏斗形结晶器	77
4.2.2 H ² 结晶器	80
4.2.3 平行板形结晶器	80
4.3 不同类型薄板坯连铸结晶器的比较	81
4.3.1 结晶器内钢液表面积	81
4.3.2 结晶器内的钢液流动	81
4.3.3 结晶器的传热	81
4.3.4 结晶器类型与薄板坯厚度	82
4.3.5 拉坯速度	82
4.3.6 可浇钢种范围	83
4.3.7 结晶器结构	84
4.4 结晶器技术的近期发展	84

4.4.1	结晶器热流技术	84
4.4.2	结晶器长寿技术	89
4.4.3	薄板坯连铸用漏斗形结晶器 (AFM) 研究的新进展	92
4.5	薄板坯连铸结晶器电磁制动 (EMBr) 技术	98
4.5.1	概况	98
4.5.2	电磁制动原理	99
4.5.3	电磁制动的类型	100
4.5.4	冶金效果	101
4.5.5	优化 EMBr 的使用效果	105
4.6	薄板坯连铸结晶器与浸入式水口的一体化设计	106
4.6.1	设计原则	106
4.6.2	结晶器内钢水流场控制	108
4.7	结晶器控制技术	110
4.7.1	结晶器监视技术	110
4.7.2	结晶器自动在线调宽和窄面锥度调节技术	112
4.8	薄板坯连铸结晶器振动机构	117
4.8.1	振动基本参数	117
4.8.2	振动机构组成	117
4.8.3	工作原理	117
4.8.4	运动分析	118
5	薄板坯连铸二冷系统技术	121
5.1	二冷系统凝固传热控制技术	121
5.1.1	薄板坯连铸铸坯凝固传热的基本特征	121
5.1.2	二冷制度	122
5.1.3	二冷水控制方法	123
5.1.4	CSP 薄板坯连铸铸坯凝固传热控制技术特点	123
5.2	CSP 薄板坯连铸机二冷系统的改进	126
5.2.1	概况	126
5.2.2	模型表达方法与条件	127
5.2.3	CSP 薄板坯连铸机二冷系统改进的效果	130
6	薄板坯连铸液心轻压下技术	134
6.1	液心轻压下技术概况	134
6.1.1	液心压下技术原理与效果	134
6.1.2	液心压下的优点及存在的问题	135
6.2	液心轻压下铸坯变形特点	136
6.2.1	液心压下的主要方式	136
6.2.2	液心压下过程中坯壳厚度的变化	136

6.2.3 液心压下时铸坯压下量的控制	138
6.2.4 液心压下控制要点	140
6.3 不同类型薄板坯连铸液心轻压下技术的特点	140
6.3.1 ISP 工艺	140
6.3.2 CSP 工艺	141
6.3.3 FTSC 工艺	146
6.3.4 CPR 工艺	147
6.4 液心轻压下对铸坯质量的影响	147
6.4.1 内部裂纹	147
6.4.2 铸坯组织	148
6.4.3 二次枝晶间距	149
6.4.4 偏析	149
6.4.5 铸坯外形与窄面形状	150
7 薄板坯连铸机的自动控制系统	151
7.1 FTSC 的自动控制系统	151
7.1.1 自动化系统构成	151
7.1.2 PLC 的功能分配及主要控制思想	153
7.1.3 自动化系统的设计特点	155
7.1.4 操作者界面系统	156
7.2 CSP 生产线制造执行系统的功能结构	158
7.2.1 系统概述	159
7.2.2 系统功能结构	160
7.2.3 对业务过程的支持	161
8 薄板坯连铸的生产技术	163
8.1 我国薄板坯连铸生产基本情况	163
8.1.1 国内薄板坯连铸生产的特点	163
8.1.2 薄板坯连铸生产的基本技术要求	164
8.1.3 我国薄板坯连铸生产技术应用研究	165
8.1.4 生产技术上尚待解决的问题	165
8.2 薄板坯连铸钢水供给技术	166
8.2.1 薄板坯连铸的钢水质量	166
8.2.2 钢水有害元素对铸坯质量的影响	168
8.2.3 连铸机前的洁净钢处理工艺	169
8.3 连铸工艺控制技术	170
8.3.1 不同钢种连铸工艺特性及其可浇性	170
8.3.2 难浇钢种的连铸工艺控制要点	172
8.3.3 低碳钢和高碳钢的连铸工艺控制要点	174

8.4 CSP 工艺连铸技术	174
8.4.1 CSP 连铸投产期间生产技术保证值	174
8.4.2 CSP 连铸对钢水供应的基本要求	175
8.4.3 CSP 连铸包晶钢的问题	179
8.4.4 CSP 连铸无缺陷铸坯浇铸工艺	179
8.4.5 CSP 薄板坯连铸生产工艺操作——TKS 的经验	184
8.5 FTSR 工艺连铸技术	188
8.5.1 FTSR 生产的品种和质量情况	188
8.5.2 FTSR 工艺对连铸包晶钢的适应性	189
8.5.3 国内 FTSC 连铸机生产技术	191
8.5.4 FTSC 连铸技术的发展——优质超薄产品	196
8.6 ISP 连铸机的技术改造——南非萨尔达尼亚钢厂的做法	197
8.6.1 技术改造的目的与效果	197
8.6.2 技术改造的措施	198
8.6.3 避免鼓肚发生的措施	201
9 薄板坯连铸产品的生产与开发	203
9.1 薄板坯连铸产品开发的进展	203
9.1.1 薄板坯连铸产品概况	203
9.1.2 薄板坯连铸产品品种结构	203
9.2 国外部分薄板坯连铸厂产品开发	208
9.2.1 意大利特尔尼钢公司 CSP 生产线	208
9.2.2 德国蒂森—克虏伯钢铁公司 CSP 生产线	208
9.2.3 西班牙比斯开联合钢公司 CSP 生产线	208
9.2.4 纽柯公司 CSP 生产线	209
9.3 国内部分薄板坯连铸厂产品开发	209
9.3.1 国内薄板坯连铸产品投产阶段的基本安排	209
9.3.2 国内部分薄板坯连铸生产线产品开发总体情况	210
9.3.3 珠钢 CSP 生产线	211
9.3.4 邯钢 CSP 生产线	212
9.3.5 包钢 CSP 生产线	213
9.3.6 唐钢 FTSC 生产线	214
9.3.7 马钢 CSP 生产线	214
9.3.8 鞍钢 ASP 生产线	217
9.4 薄板坯连铸高强钢品种开发	217
9.4.1 薄板坯连铸生产高强钢产品的优势	217
9.4.2 薄板坯连铸生产高强钢产品的优化设计	217
9.4.3 影响高强钢开发的工艺因素	220
9.4.4 CSP 开发集装箱用高耐候钢的生产实践	222

9.5 CSP 连铸铌微合金化钢品种优化	223
9.5.1 化学成分设计	223
9.5.2 钢水处理和薄板坯连铸	223
9.5.3 连铸坯热装	224
9.5.4 产品的特点与用途	224
9.5.5 微合金化产品开发存在的问题	224
9.6 生产冷轧原板的相关连铸技术	225
9.6.1 薄板坯连铸工艺生产冷轧原板的技术要求	225
9.6.2 国内外薄板坯连铸生产高品质冷轧原板现状	229
9.7 薄板坯连铸硅钢的生产	232
9.7.1 无取向硅钢生产的基本要求	232
9.7.2 薄板坯连铸连轧生产取向硅钢的优势	232
9.7.3 国内硅钢生产的研发	233
9.8 薄板坯连铸不锈钢技术开发的进展	233
10 连铸薄板坯质量控制	235
10.1 连铸薄板坯的质量要求	235
10.1.1 无缺陷铸坯的质量要求	235
10.1.2 连铸板坯外形尺寸和表面质量的相关标准	236
10.1.3 典型 CSP 产品和传统工艺产品质量比较	236
10.1.4 高级板材对洁净度的要求	238
10.1.5 CSP 薄板坯的铸态组织特征	238
10.2 连铸薄板坯表面质量问题及解决对策	241
10.2.1 横向角裂	241
10.2.2 表面纵向裂纹	242
10.2.3 表面夹渣	248
10.2.4 麻面	249
10.2.5 皮下气泡	249
10.3 连铸薄板坯内部质量	249
10.3.1 凝固特点与混晶	249
10.3.2 内部裂纹	250
10.3.3 热脆	251
10.3.4 偏析	251
10.3.5 夹杂物	252
10.4 国内 CSP 工艺的连铸质量控制	254
10.4.1 薄板坯连铸连轧成品的质量缺陷及相关因素	254
10.4.2 连铸过程薄板坯质量影响因素	255
10.4.3 影响薄板坯质量的其他相关因素控制	258
10.5 CSP 生产质量管理体系——ACB 公司的应用	258

10.5.1 概况	258
10.5.2 生产质量系统	259
10.5.3 引擎平台—— Q_{engine}	260
10.5.4 运行结果	260
10.6 薄板坯连铸用保护渣	262
10.6.1 薄板坯连铸的特点及对保护渣特性的要求	262
10.6.2 薄板坯连铸保护渣的化学成分及理化性能	264
10.6.3 国内外薄板坯连铸用保护渣的开发和应用	265
参考文献	274

1 概 述

1.1 薄板坯连铸技术的形成

1.1.1 薄板坯连铸技术形成概要

薄板坯连铸技术的出现和高速发展基于近代冶金学的研究成果,其中,金属凝固理论的深入研究、钢水炉外精炼功能的设计及各种精炼装置的完善、洁净钢生产技术、压力加工技术的进步等,是推动薄板坯连铸技术形成、完善的根本。

薄板坯连铸技术属于常规连铸与热轧粗轧功能集成的技术开发,是多项工艺集合创新的成果。薄板坯连铸的核心创新点是薄板坯连铸结晶器技术,从理论上讲属于钢水凝固过程的基础研究和控制技术的应用开发。

薄板坯连铸生产线工艺主要有:

CSP 工艺——Compact Strip Production,西马克(SMS)开发;

ISP 工艺——Inline Strip Production,德马克(Demag)和阿维迪(Arvedi)联合开发, Demag 和 SMS 合并后,阿维迪持有 ISP 各项专利,2004 年 7 月,阿维迪和奥钢联签署排他性合同,继续开发 ISP 生产线;

FTSRQ 工艺——Flexible Thin Slab Rolling for Quality,达涅利(Danieli)开发;

QSP 工艺——Quality Strip Production,住友金属(SMI)、住友重机(SHI)开发;

CONROLL 工艺——奥钢联(VAI)开发。

以上各种工艺在技术发展过程中通过互相借鉴、互相渗透,不断完善优化。各种工艺技术各有所长,有关各方在选择薄板坯连铸工艺时,应综合考虑各种工艺特点,结合企业的实际生产需要,选择不同类型的工艺方案。

1.1.2 薄板坯连铸技术的开发

当传统型板坯连铸技术已基本成熟的时候,人们就开始探讨和研究用更薄的板坯生产薄钢板,目的是使钢水至热轧带卷的生产成本大幅度降低,于是开始了薄板坯连铸技术和带坯连铸技术的研究,并形成了热轧带钢的不同生产工艺。

与传统型板坯连铸相比,薄板坯连铸当初所面对的主要技术课题有以下两项^[1]:

(1) 钢水供给技术,即如何将钢水注入窄的结晶器空隙。当时的解决方案是,根据板坯厚度将其分为 40~70mm 的薄板坯和 80~100mm 的中板坯两类,前者采用了有利于浸入式水口钢水供给的漏斗形结晶器,后者则多采用矩形结晶器。

(2) 确保生产率前提下的高速浇铸技术。因板坯薄,单位时间产坯量低,只有通过增大浇铸速度才能确保生产率。解决的方案是在降低板坯厚度的同时提高浇铸速度,将板坯厚度降低至传统板坯的 1/2~1/4,而使浇铸速度提高 2~4 倍(3~6m/min)。采用的方

法有两种：其中一种与传统连铸完全不同，它采用结晶器和凝固壳没有相对速度的同步结晶器方式；另一种在传统固定结晶器振动方式的基础上采用新的振动模式，提高使用效率。大致上看，日本和美国是采用第一种方法，而欧洲是在第二种方法上进行了开发竞争，并取得了成效^[1]。

1) 同步结晶器方式连铸法的开发。采用结晶器和凝固壳同步移动的同步结晶器方式，并开发到工业用规模试验设备的只有使用浇铸带的方法。当时日本以钢铁企业为主导，以碳素钢为对象，在以下三种方式上进行了研究：

①倾斜双带方式。1982年，日本以50t钢水的规模着手开发。1986年，美国也以32t钢水的规模进行了该方式的开发。

②垂直上宽双带方式。1987年，日本以160t钢水的规模开始试验。

③垂直平行双带方式。1989年，日本以70t钢水的规模进行了开发。

这些方式都达到了板坯厚度30~75mm、浇铸速度6~10m/min的指标，呈现出实用化的可能性，但是，没有能够发挥针对传统法的优越性，也没有达到工业性生产的程度。

2) 固定结晶器方式。与日本不同，欧洲不是以钢铁企业而是以重工业设备企业为主导进行了开发。

①1985年，德国的SMS公司根据浇铸时使凝固壳在结晶器内变形这一创新的构想，设计了漏斗状的结晶器，以碳素钢为对象开始了18t钢水的浇铸试验。结晶器宽度的中央部位向上方展开成漏斗状，结晶器下端为厚40~50mm的矩形。由于浸入式水口埋入结晶器带有展开部分，从而克服了钢水供给困难的问题。

②1987年，德国的MDH公司将结晶器形状做成垂直弯曲型式，采用厚度60~70mm的矩形结晶器，开始了浇铸试验。浸入式水口也相应地超扁平轻薄化。另外，它还具有浇铸途中对铸坯施以压上和轻压下的特点。

③1988年，奥地利的VAI公司采用厚80mm的矩形垂直结晶器，着手不锈钢的浇铸试验。

④1989年，德国的蒂森（Thyssen Stahl）公司与其他公司一起，着手开发直接用1组或2组的轧辊，对出自漏斗状结晶器的铸坯进行强压下试验，创立了成功制得薄板坯的新工艺。

⑤1992年，意大利的达涅利公司以80t钢水规模的试验设备进入了正式开发的阶段。其特点为，结晶器结构类似于漏斗状结晶器，但结晶器下端尚未成矩形，用结晶器后边的扇形区轧辊进行矩形化。

除欧洲以外，住友金属工业株式会社于1989年，以厚90~120mm的板坯为对象，在50t钢水规模的试验设备上着手高速浇铸试验。结晶器形状是与VAI公司相同的矩形垂直型，其特点是结晶器长度较短，为900~950mm。

1.1.3 采用不同技术的第一台工业用连铸薄板坯热轧机组

世界上用不同技术开发的工业用薄板坯连铸1号机及其相关热轧设备的概要如表1-1所示。另外，VAI公司工业用机的板坯厚至100~150mm，浇铸速度较低，为1.8~3.0m/min，在表1-1中未列入。

表 1-1 采用不同技术的第一台工业用薄板坯热轧机组的主要参数^[1]

技 术		CSP	ISP	QSP	DSPC
厂家地点（国家）		纽柯公司/克劳福兹维尔（美国）	阿维迪钢管公司（意大利）	北极星钢公司/Delta（美国）	阿尔戈玛钢公司/Sault-Sainte-Marie（加拿大）
投产日期		1989-07	1992-01	1996-11	1997-08
钢 种		碳素钢	碳素钢、不锈钢	碳素钢	碳素钢
连铸机	制 造 商	SMS	MDH	SMI/SHI	Danieli
	机 型	垂直—弯曲型	弧 型	垂直—弯曲型	垂直—弯曲型
	流 数	1	1	1	2
	板坯尺寸/mm	50 ×（950 ~ 1375）	60 ×（650 ~ 1330）	90 ×（900 ~ 1565）	90 ×（800 ~ 1640）
	结晶器形状	垂直漏斗形	垂直漏斗形	垂直平直形	垂直漏斗形
	结晶器长度/mm	1100	1000	950	1200
	中间包容量/t	17	20	27	50
	弯曲半径/m	3.0	5.2	3.5	5.0
	铸机长度/m	5.8		15.7	
	最大浇铸速度/m·min ⁻¹	5.5	5.0	5.0	5.0
	液心压下	无	有	无	有
带钢热轧	板坯切割前的轧制	无	有（4 辊轧机×3）	无	无
	加热炉	隧道式	感应加热器	隧道式	隧道式
	粗轧机	0	0	2	1
	带坯卷取箱	无	有	无	无
	精轧机	5	5（←4）	6	6
带钢规格/mm		1.8 ~ 12.7	碳素钢 1.2 ~ 12.0 不锈钢 2.0 ~ 22.0	1.4 ~ 15.0	1.0 ~ 16.0

注：SMI 为住友金属工业株式会社；SHI 为住友重工株式会社；Danieli 为达涅利冶金研究中心。

DSPC 为 Direct Strip Production Complex 的缩写。

世界最早的工业用薄板坯连铸机组由 SMS 公司开发，于 1989 年在美国的纽柯公司（Nucor Steel）完成组装。从连铸至热轧的生产工艺如图 1-1a 所示。整套设备由连铸机—隧道炉—精轧机组成，隧道炉大致占据了工艺线约 300m 全长中的一半。由于连铸机的基本思想是在垂直部分完成凝固，机高较大，约为 10m。

于 1992 年由 MDH 公司开发的工业用机组，安装在意大利的阿维迪（Arvedi）钢管公司。工艺路线如图 1-1b 所示，由连铸机—未完全凝固铸坯的压下装置（以下简称为 LCR——液心压下装置）—凝固后未切断铸坯的轧制机组—带坯卷取箱—精轧机组成。该工艺的最大特征在于，对出自连铸机的未切断铸坯进行与浇铸速度同步的低速轧制。另外，由于采用了带坯卷取箱，全工艺流程较短，约为 180m。

此后，以这两种工艺为原型，例如在浇铸板坯为 70 ~ 100mm 相对较厚的场合，如图 1-1c 所示，也出现了在隧道炉和精轧机之间，加入 1 ~ 2 座粗轧机和带坯卷取箱的工艺。