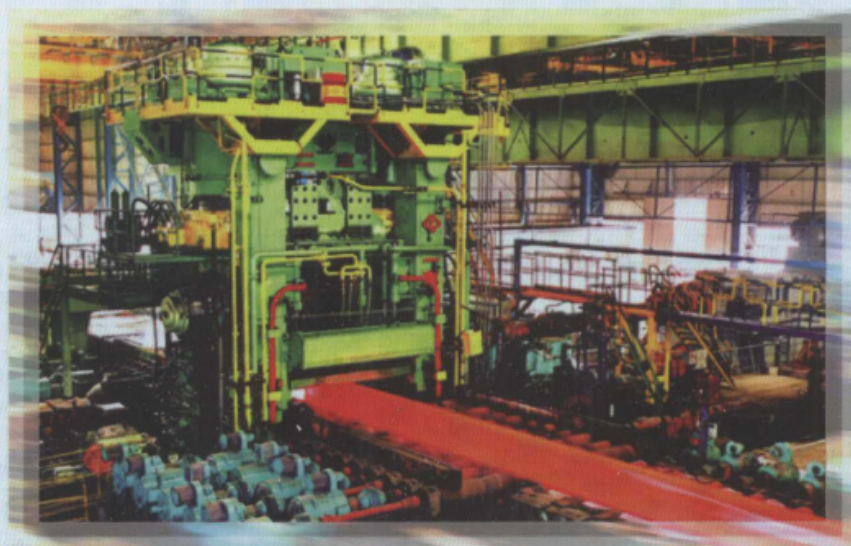


中厚板

生产与质量控制

Production and Quality Control of Plate

崔风平 孙 玮 刘彦春 等编著



冶金工业出版社

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



ISBN 978-7-5024-4584-3



9 787502 445843 >

定价:99.00元

销售分类建议:冶金工程

中厚板生产与质量控制

Production and Quality Control of Plate

崔风平 孙 玮 刘彦春 等编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2008

内 容 摘 要

本书以中厚板生产与质量控制为中心,对中厚板的概念、所用原料、生产过程、工艺流程描述、主要生产设备、生产方法、主要技术、控制方法、新产品开发、钢板力学性能检验与试样分析、钢板主要质量缺陷等方面进行了全面和较深入的论述,丰富了轧制理论与生产实践结合方面的内容。全书力图将中厚板的生产与质量控制所涉及的各个方面有机地结合起来,便于读者系统了解和掌握中厚板生产理论与应用方面的知识,提高对中厚板生产与质量控制的整体认识。

本书共分 18 章,包括概述、中厚板厂生产工艺流程、中厚板厂主要生产设备、中厚板厂平面布置、轧制规程设计、板形控制、厚度自动控制、全自动轧钢功能及其在线应用、钢中合金元素作用、控制轧制与控制冷却、中厚板生产工艺及组织、钢板主要力学与工艺性能的试验、中厚板外观质量检测、新产品的开发、钢板外观的几种主要质量缺陷、中厚板厂的主要技术经济指标、中厚板轧机的发展趋势、迪林根钢铁公司厚板生产厂简介等。

本书可供钢铁企业,特别是中厚板生产方面的技术人员、操作人员、管理人员使用,也可供中厚板加工使用单位、科研院所技术人员和大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中厚板生产与质量控制/崔风平等编著. —北京:冶金工业出版社,
2008. 10

ISBN 978-7-5024-4584-3

I. 中… II. 崔… III. ①中板轧制 ②厚板轧制 IV. TG335.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 153358 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 李培禄 美术编辑 张媛媛 版式设计 张 青

责任校对 侯 璐 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4584-3

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2008 年 10 月第 1 版; 2008 年 10 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 35.75 印张; 866 千字; 553 页; 1-4000 册

99.00 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

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

《中厚板生产与质量控制》

编写委员会

主 任	王 军				
技术顾问	刘相华	陈启祥	马旺伟	朱伏先	
副 主 任	薄 涛				
主 编	崔风平	孙 玮	刘彦春		
副 主 编	张希元	房 轲	赵 乾		
编写人员	胡贤磊	矫志杰	刘秀梅	衣海龙	田 勇
	钱爱文	李乐钢	陈五升	杨公本	崔德伟
	顾富康	朱碧桃	张英杰	于秀琴	韩学好
	侯日斌	唐 愈	牛 玮	王 利	王明勤
	徐守亮	崔风庆	王 斌	高 玲	刘福义
	刘 莉				

前 言

中厚钢板是国民经济发展所依赖的重要钢铁材料之一，是工业化进程和发展过程中不可缺少的钢铁品种，主要用于建筑工程、机械结构、汽车行业、压力容器、桥梁、锅炉制造、油气输送管线、电厂、核电站、油田等方面。世界钢铁工业的发展历程表明，中厚板的生產水平及材料所具有的水平也是国家钢铁工业及钢铁材料水平的一个重要标志。

中厚钢板生产在钢铁生产行业里，是技术密集度高、质量要求高、生产流程长、工艺和装备复杂、生产组织难度大的制造过程，它的生产与质量控制是互为一体的，在一定程度上，中厚板材生产可以通俗地概括为“要的是品种、看的是质量、比的是装备、拼的是管理”。要满足中厚板多品种、高质量、高技术含量、高附加值的生产要求，了解和掌握中厚板生产方面的理论和管理常识，就必须对中厚板的工艺流程、生产方式、技术装备、力学性能、质量控制等方面的知识和理论有一个全面和系统的认识。本书的编写就是面对中厚板生产技术的不断发展、工艺装备水平快速提高的现状，对当前国内外中厚板的现有状况、发展动态等方面的情况汇总分析后，结合国内几家新建中厚板厂的具体情况，从国内中厚板生产的实际情况出发，对中厚板生产相关方面的知识、理论、生产实践上的认识进行了较系统的论述，旨在为从事中厚板生产、质量管理、加工使用等方面的人员，提供比较全面、系统的中厚板生产、工艺、技术装备方面的理论知识。

本书在章节结构安排上，以中厚板的生产流程为主线，分别对产品的各个工艺流程、主要技术装备、生产线主要工艺装备的布置等进行了较详细的论述。注重理论联系实际，在介绍新技术、新装备、新工艺应用情况的同时，又简要地介绍了有关理论和原理方面的知识，便于读者系统地了解 and 掌握中厚板生产与质量控制等方面的知识和理论。另外，在实物质量的论述上，作

者结合获取的大量实物技术资料进行了深入的对应分析，对质量的表述更加清晰，使读者能够更加直观地认识实物质量。

本书在编写过程中，东北大学轧制技术与连轧自动化国家重点实验室、济南钢铁集团总公司、中国钢铁工业协会轧钢信息网的领导、学者和专家给予了大力支持，得到了鞍钢中厚板厂、舞钢厚板厂、首钢中厚板厂、浦钢中板厂、安钢中板厂等单位的热情帮助，编者表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限，书中存在很多不足之处，敬请读者批评指正。

编 者
2008 年 8 月

目 录

1 概述	1
1.1 中厚板的定义、用途与分类	1
1.2 中厚板的技术条件	2
1.2.1 力学性能	3
1.2.2 工艺性能	3
1.2.3 焊接性能	4
1.2.4 内部组织	4
1.2.5 钢板的表面质量	4
1.2.6 钢板的板形与尺寸偏差（精度）	5
1.2.7 中厚板的交货状态	11
2 中厚板厂生产工艺流程	12
2.1 原料准备	13
2.1.1 原料的化学成分	14
2.1.2 原料的尺寸	14
2.1.3 各种原料的特点	15
2.1.4 连铸坯常见缺陷、产生原因及消除措施	18
2.1.5 洁净钢的生产	35
2.1.6 连铸坯的低倍组织观察与评定	41
2.2 原料的加热	45
2.2.1 加热方式	46
2.2.2 铸坯的热装	47
2.2.3 常见的加热缺陷	48
2.3 高压水除鳞	49
2.4 轧制	50
2.4.1 除鳞阶段	50
2.4.2 粗轧阶段	50
2.4.3 精轧阶段	56
2.4.4 异形钢板的轧制	57
2.4.5 无切边轧制技术	57
2.4.6 差厚（变截面）钢板的轧制	58
2.4.7 平面形状控制技术的发展	60
2.5 冷却	61

2.5.1 轧制过程中的轧件冷却	61
2.5.2 轧后钢板的加速冷却	63
2.5.3 成品钢板的冷却	64
2.6 矫直、剪切和表面清理	66
2.6.1 矫直	66
2.6.2 剪切	66
2.6.3 表面清理	67
2.7 热处理	67
2.7.1 常化处理	68
2.7.2 回火处理	68
2.7.3 调质处理	68
2.7.4 球化处理	68
2.8 表面标识	69
2.9 钢板的收集与垛放	69
2.9.1 钢板的收集	69
2.9.2 钢板的垛放	69
2.10 钢板的表面检查与修磨	70
2.10.1 技术要求	70
2.10.2 修磨要点	70
2.11 钢板的取样	70
2.11.1 技术要求	70
2.11.2 取样部位	71
2.11.3 取样要求	71
2.12 钢板成品化学成分分析取样	72
2.12.1 成品化学分析	72
2.12.2 取样总则	72
3 中厚板厂主要生产设备	73
3.1 加热炉	73
3.1.1 连续式加热炉	73
3.1.2 室状加热炉	79
3.2 高压水除鳞系统	82
3.2.1 高压水除鳞的原理	82
3.2.2 除鳞位置点的确定	82
3.2.3 高压水除鳞系统的构成	83
3.2.4 高压水除鳞系统的参数确定	83
3.3 轧机	87
3.3.1 二辊可逆式轧机	87
3.3.2 三辊劳特式轧机	87

3.3.3 四辊可逆式轧机	88
3.3.4 万能式轧机	89
3.3.5 轧机主机列	90
3.3.6 四辊中厚板轧机工作机座的结构	96
3.3.7 快速换辊装置	118
3.3.8 轧辊冷却装置	124
3.3.9 旋转辊道、侧导板	125
3.3.10 辊道	126
3.3.11 轧机的主要技术参数	128
3.4 轧后加速冷却系统	128
3.4.1 轧后加速冷却和直接淬火的优点	129
3.4.2 轧后加速冷却系统的要求	130
3.4.3 轧后加速冷却系统的布置	130
3.4.4 几家中厚板厂轧后加速冷却系统的介绍	140
3.4.5 影响冷却系统参数的因素	142
3.4.6 控制冷却系统长度的确定	143
3.5 矫直机	147
3.5.1 压力矫直机	148
3.5.2 热矫直机	148
3.5.3 钢板的矫直	149
3.5.4 钢板矫直机的几种类型	156
3.5.5 矫直机的性能和结构特点	157
3.5.6 辊式矫直机的基本参数	162
3.5.7 宽厚板矫直机技术的发展	163
3.5.8 济钢中厚板厂11辊矫直机的结构特点	164
3.6 冷床	167
3.6.1 冷床的布置形式	168
3.6.2 冷床的结构形式	168
3.6.3 实例介绍	173
3.7 剪切机	175
3.7.1 剪切机的结构与特点	176
3.7.2 钢板切头尾与定尺剪切	200
3.7.3 剪切过程的分析	201
3.8 火焰切割与等离子切割	203
3.8.1 火焰切割	203
3.8.2 等离子切割	204
3.9 无损探伤设备	206
3.9.1 超声波检测原理	206
3.9.2 钢板在线探伤系统	207

3.9.3 系统的技术描述	210
3.9.4 济钢 3500mm 中厚板厂超声波在线检测系统介绍	211
3.9.5 国内某 5000mm 厚板厂自动超声波探伤装置	214
3.10 表面标识系统	215
3.10.1 喷印/打印系统的组成	215
3.10.2 边部条形码喷印	222
3.10.3 HMI (钢板运动打印机) 的设置	222
3.10.4 软件	223
3.10.5 系统的总体控制原理	224
3.10.6 系统主要技术参数	224
3.10.7 系统技术要求	226
3.11 钢板热处理设施	226
3.11.1 步进式热处理炉	227
3.11.2 大盘式热处理炉	227
3.11.3 氮气保护无氧化辊底式热处理炉	227
3.11.4 济钢 3500mm 中厚板厂无氧化辊底式热处理炉及生产线介绍	231
3.11.5 国内某厂 5000mm 宽厚板轧机 1 号连续热处理炉概况	246
3.11.6 车底式热处理炉	247
3.11.7 特厚板缓冷坑	254
3.12 成品钢板的收集	255
3.13 钢板表面抛丸处理	256
3.13.1 喷丸设备	256
3.13.2 济钢 3500mm 中厚板厂喷丸处理机	258
3.14 直接淬火设备	260
3.14.1 淬火机设备	261
3.14.2 济钢中厚板厂辊压式淬火机介绍	261
3.14.3 淬火机的操作	265
3.15 常化后的控冷设备	266
3.16 钢板吊运设备	266
3.16.1 吊运工具对钢板外观质量的影响	266
3.16.2 济钢中板厂精整工序电磁挂梁桥式起重机主要技术参数	267
4 中厚板厂的平面布置	269
4.1 单机架轧机布置	269
4.2 双机架轧机布置	271
4.3 炉卷轧机布置	274
4.4 半连续式、3/4 连续式、连续式轧机布置	276
4.5 主体设备的布置原则	276
4.5.1 加热炉之间距离的确定	276

4.5.2	加热炉与轧机之间距离的确定	276
4.5.3	轧机之间距离的确定	277
4.5.4	轧机到轧后钢板加速冷却之间距离的确定	277
4.5.5	钢板加速冷却到矫直机之间距离的确定	278
4.5.6	矫直机到冷床边缘之间距离的确定	278
4.5.7	冷床边缘到剪切机之间距离的确定	278
4.5.8	剪切线的布置	278
5	轧制规程的设计	282
5.1	概述	282
5.2	轧制规程的设计及优化	282
5.2.1	轧制规程的设计原则	282
5.2.2	轧制规程的设计方法	283
5.2.3	轧制规程的设计条件	283
5.2.4	轧制规程的设计程序	285
5.2.5	中厚板轧制规程的优化设计	289
5.2.6	中厚板精轧机轧制规程优化实例	292
5.2.7	轧制规程的几种优化方法	295
6	板形控制	297
6.1	板形定义	297
6.2	板形与横向厚差的关系	297
6.3	影响板形的因素	298
6.3.1	原料断面形状	298
6.3.2	承载辊缝的断面形状	299
6.3.3	压下规程的变化	299
6.4	板形控制方式	299
6.4.1	板形控制的工艺方法	299
6.4.2	板形控制的设备方法	300
6.5	中厚板板形控制技术	307
6.5.1	中厚钢板板形控制内容及指标	308
6.5.2	纵向板厚控制	309
6.5.3	横向板形控制	309
6.5.4	平板板形控制	310
6.5.5	无轴向移动四辊轧机原始辊型的合理确定	311
7	厚度自动控制	314
7.1	概述	314
7.2	自动厚度控制基本原则	315

7.2.1 轧机弹性变形和弹跳方程	315
7.2.2 轧件的塑性变形和轧件塑性方程	317
7.2.3 钢板轧制的弹塑性曲线及应用	317
7.2.4 轧件厚度波动的原因	318
7.3 自动厚度控制的方式	318
7.3.1 压力 AGC	318
7.3.2 BISRA-AGC	318
7.3.3 动态设定型 AGC	320
7.3.4 GM-AGC	320
7.3.5 相对 AGC	321
7.3.6 绝对 AGC	322
7.3.7 AEG AGC 和 RAL AGC	322
7.3.8 压力 AGC 的综合评价	323
7.3.9 反馈 AGC	324
7.3.10 前馈 AGC	325
7.4 AGC 计算机控制系统结构简介	325
7.4.1 AGC 计算机系统简述	325
7.4.2 二级计算机系统	327
7.4.3 人机界面 (HMI)	327
7.5 中厚板轧机压下与厚控改造的主要方式	328
8 全自动轧钢功能及其在线应用	330
8.1 全自动轧钢功能的需求分析	330
8.1.1 规范生产工艺, 提高产品质量	330
8.1.2 通过轧制节奏控制, 提高设备利用率, 增加产量	330
8.1.3 保证平面形状控制、弯辊控制等特殊控制的需要	330
8.2 中厚板轧机全自动轧钢功能介绍	330
8.2.1 全自动轧钢控制的实现	331
8.2.2 全自动轧钢控制的模拟过程	335
8.2.3 轧制节奏控制与时位图	336
8.2.4 轧制节奏控制的应用效果	346
9 钢中合金元素的作用简介	348
9.1 合金元素在钢中的分布与作用	348
9.1.1 合金元素在钢中的分布	348
9.1.2 合金元素与铁和碳的相互作用	348
9.2 合金元素对相变的影响	350
9.2.1 合金元素对 Fe-C 相图的影响	350
9.2.2 合金元素对钢加热转变的影响	351

9.2.3 合金元素对奥氏体冷却转变的影响	351
9.3 合金元素对钢强韧性的影响	354
9.3.1 强化途径	354
9.3.2 韧化途径	356
9.4 中厚板常用的微合金元素	357
9.4.1 铌、钒、钛合金元素在钢中的作用	357
9.4.2 铜、铝、镍、铬、钼在钢中的作用	359
9.4.3 非金属元素硼、磷在钢中的作用	360
10 控制轧制与控制冷却	361
10.1 控制轧制与控制冷却工艺概述	361
10.1.1 控制轧制与控制冷却工艺的发展和特点	361
10.1.2 微合金元素及其在控轧控冷工艺中的作用	366
10.2 奥氏体区控制轧制	372
10.3 奥氏体未再结晶区控制轧制	376
10.3.1 奥氏体未再结晶区轧制时组织和性能的变化	376
10.3.2 变形带的形成和作用	378
10.4 ($\gamma + \alpha$) 两相区控制轧制	383
10.4.1 ($\gamma + \alpha$) 两相区控制轧制时钢材强韧性能的变化	384
10.4.2 ($\gamma + \alpha$) 两相区轧制时显微组织的变化	388
10.5 控制轧制和控制冷却工艺参数控制原则	390
10.5.1 轧制制度的控制	390
10.5.2 冷却制度的控制	394
11 中厚板组织性能及生产工艺	397
11.1 中厚钢板的组织性能特征	397
11.1.1 奥氏体	397
11.1.2 渗碳体	398
11.1.3 铁素体-珠光体钢 (P + F)	398
11.1.4 贝氏体钢	400
11.1.5 超低碳贝氏体钢 (ULCB)	402
11.1.6 针状铁素体钢 (AF)	403
11.1.7 马氏体钢	404
11.1.8 双相钢	405
11.2 工艺参数对钢板组织性能的影响	405
11.2.1 JFE 钢厂 BHS500 超低碳桥梁钢板的研制	406
11.2.2 500MPa 级超低碳贝氏体钢的特征	407
11.2.3 开发钢种的性能	408
11.3 典型钢种的组织及生产工艺	411

11.3.1	普通碳素结构钢板的生产工艺及组织	411
11.3.2	低合金结构钢板的生产工艺及组织	411
11.3.3	工程机械用钢生产工艺及组织	414
11.3.4	管线钢的生产工艺及组织	415
11.3.5	船板的生产工艺及组织	417
11.3.6	桥梁用钢板生产工艺及组织	419
11.3.7	高层建筑用钢	420
11.3.8	锅炉容器钢板的生产工艺及组织	421
11.3.9	双相钢的生产工艺及组织	422
12	钢板主要力学与工艺性能的试验	424
12.1	金属常温拉伸试验	424
12.1.1	拉伸曲线及应力	424
12.1.2	拉伸性能	425
12.2	拉伸用试样	428
12.2.1	取样部位	428
12.2.2	取样数量	429
12.2.3	样坯的切取和试样制备的方法	429
12.3	拉伸试验前的准备工作	432
12.3.1	试样的检查与标距标记的刻划	432
12.3.2	试样的测量精度	432
12.3.3	试样原始截面积 S_0 的测定	433
12.3.4	原始标距 L_0 的标记精确度	433
12.3.5	平行长度的测量	433
12.3.6	试验室的温度	433
12.3.7	试验速度	433
12.3.8	试样的夹持方法	434
12.4	屈服强度的测定方法	434
12.4.1	屈服点	434
12.4.2	屈服性能的测试方法	435
12.4.3	影响屈服的主要因素	437
12.5	抗拉强度的测定方法	437
12.5.1	抗拉强度	437
12.5.2	抗拉强度的测定方法	438
12.6	伸长率 δ 的测定	439
12.6.1	直接测量方法	439
12.6.2	位移方法	439
12.6.3	断后伸长率的符号	440
12.7	断面收缩率 ψ 的测定	440

12.7.1 圆形试样截面的测量	440
12.7.2 矩形试样截面的测量	440
12.8 数值修约及结果处理	441
12.8.1 数值修约	441
12.8.2 试验结果	442
12.9 拉伸试样断口分析	442
12.9.1 钢板拉伸试样出现分层	443
12.9.2 试验断口的形态	446
12.9.3 典型的试样断口的图示	449
12.10 冷弯试验	449
12.10.1 试验原理	449
12.10.2 试样制备	450
12.10.3 试样的形状和尺寸	450
12.10.4 试验设备	450
12.10.5 试验步骤	451
12.10.6 试验结果评价	452
12.10.7 影响弯曲试验结果的主要因素	454
12.11 冲击试验	454
12.11.1 金属夏比冲击试验的主要用途	454
12.11.2 夏比冲击试验原理	455
12.11.3 冲击样坯的切取	456
12.11.4 夏比冲击试样的类型	456
12.11.5 缺口的加工	457
12.11.6 冲击试样的缺口	458
12.11.7 脆性断面率的测定	458
12.11.8 冲击试验的影响因素	458
12.11.9 冲击试验功有效位数	459
12.11.10 冲击功的表示	459
12.11.11 试样结果对比	459
12.12 硬度试验	460
12.12.1 布氏硬度试验	461
12.12.2 洛氏硬度试验	465
13 新产品的开发	473
13.1 新产品的定义	473
13.2 新产品开发遵循的原则	473
13.3 新产品的开发趋势	474
13.3.1 钢铁材料发展趋势	474
13.3.2 中厚板新产品开发趋势	475

13.3.3	当前几个主要钢种的发展趋势	478
13.3.4	经济效益	482
13.4	新产品开发工具	482
13.4.1	新产品开发的软件	482
13.4.2	新产品开发的硬件	483
13.5	新产品开发的步骤	489
13.6	新产品开发与生产的技术保障	491
13.6.1	坯料的质量保证	491
13.6.2	坯料的加热	492
13.6.3	能力强大、装备先进的轧机	492
13.6.4	功能先进的冷却系统	493
13.6.5	完善的热处理系统的设施	493
14	中厚板外观质量检测	494
14.1	钢板厚度(宽度)的检测	494
14.1.1	接触式测厚仪	494
14.1.2	非接触式测厚仪	494
14.1.3	宽度测量	497
14.2	钢板外形的测量(平直度、矩形化)	498
14.2.1	平直度检测	498
14.2.2	平面形状检测	499
14.3	钢板表面缺陷的检测	500
15	钢板外观的几种主要质量缺陷	502
15.1	钢板表面裂纹	502
15.1.1	钢板表面纵裂纹	502
15.1.2	钢板表面横裂纹	504
15.1.3	钢板表面龟裂	506
15.1.4	钢板表面微裂纹	506
15.1.5	钢板表面皴裂	508
15.1.6	钢板表面发裂	508
15.1.7	钢板表面星裂	509
15.1.8	钢板表面带状裂纹	510
15.2	钢板表面夹杂(渣)	512
15.2.1	褐色非金属夹杂(红锈)	512
15.2.2	白色非金属夹杂	513
15.2.3	黑色夹杂	513
15.2.4	钢板表面条形夹杂(渣)	514
15.2.5	钢板表面金属夹杂	515