

高精度 轧制技术

黄庆学 梁爱生 著

冶金工业出版社

TG335

T6335
2002522

高精度轧制技术

黄庆学 梁爱生 著

北 京

冶金工业出版社

2002

内 容 提 要

高精度轧制是现代轧制技术的一个重要发展方向。本书深入系统地介绍了现代高精度轧制技术,包括中厚板、热轧带钢、冷轧带钢、钢管、型线材等钢材生产中,在工艺、设备、控制和检测等诸方面提高产品精度的先进技术;重点介绍了作者多年来关于边界元法在板带材料轧制过程中应用的研究成果。

本书的可读性强,它既适用于从事轧钢生产的工程技术人员以及相关专业的研究人员阅读参考,又可供高等院校相关专业本科生、研究生作为教材或教学参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

高精度轧制技术/黄庆学等著. —北京:冶金工业出版社, 2002. 2

ISBN 7-5024-2998-0

I. 高… II. 黄… III. 轧制—技术 IV. TG335

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 022139 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 张登科 美术编辑 李 心 责任校对 栾雅谦 责任印制 牛晓波
北京鑫正大印刷有限公司印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2002 年 2 月第 1 版, 2002 年 2 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 16.625 印张; 445 千字; 514 页; 1-2000 册

40.00 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

21 世纪世界钢铁工业发展的一个显著特点是钢材市场竞争愈演愈烈,竞争的焦点是钢材的质量高而成本低。钢材应用部门连续化自动化作业的迅猛发展,除要求钢材的性能均匀一致外,还要求钢材尺寸精度高。板带材主要用于冲制各种零部件,因此要求厚度精度高、板形好,以利于提高冲模寿命和冲压材的精度,高精度棒线材可减少加工件的切削量。因此,轧制产品高精度比是轧钢技术发展的重要趋势之一。

国外高精度轧制技术已经达到较高的水平,例如热轧板带材厚度差已达 $\pm 30\mu\text{m}$,冷轧板带厚度差已达 $\pm 5 \sim 10\mu\text{m}$,板形平直度为 $5 \sim 10\text{I}$,棒材直径公差为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。板带和棒材生产均采用液压厚度自动控制(AGC)技术,板形采用板形自动控制(AFC)技术,并相应出现了为提高钢材精度的新工艺、新设备和新技术。轧制产品尺寸精度提高会产生巨大效益,因此,高精度轧制技术将会成为 21 世纪钢铁工业发展的热门技术。

我国不少科研单位、高等院校和钢铁企业对高精度轧制技术做了大量的研究工作,并取得了一些成果,但我国钢铁工业由于整体工艺装备技术落后,高精度轧制技术同国外工业发达国家相比仍存在较大差距,我国尚有 95% 以上的轧机达不到世界先进水平。我国要想由一个钢铁生产大国尽快变成一个钢铁生产强国,必须依靠技术进步,抓住机遇,迎接挑战,在高精度轧制技术方面努力赶上世界先进水平。

本书深入系统地介绍了现代高精度轧制技术,包括中厚板、热轧带钢、冷轧带钢、钢管、型线材等钢材生产中,在工艺、设备、控制和检测诸方面提高产品精度的先进技术;重点介绍了作者多年来关于边界元法在板带材轧制过程中应用的研究成果,同时对太原重型机械学院这些年来有关这方面的研究成果也作了简要介绍。

本书共有 7 章,其中第 1 章~第 4 章由黄庆学教授编写,第 5 章~第 7 章由梁爱生教授编写。

在编写本书过程中引用了有关资料,在此向有关作者表示感谢,同时对燕山大学申光宪教授、肖宏博士,太原重型机械学院杨晓明副教授、张小平教授和研究生袁国、李玉贵、王建梅对本书编写工作的帮助深表感谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中不当之处,望读者批评指正。

著 者

2001 年 10 月



黄庆学，1961年1月生，吉林人，博士、教授。主持国家重点科技攻关项目5项、教育部等省部级重点科技项目各10余项、宝钢等特大型企业重点科技项目20项。获得专利8项。获得机械部、山西省科技进步奖共8项，其中一等奖2项、二等奖3项。在国内外发表相关学术论文60余篇。在有摩擦接触边界元法、接触问题的快速边界元法、有限变形弹塑性接触边界元法及用弹塑性接触边界元法模拟轧制过程、板带精密轧制等方面有较深入的研究。先后获得国家机械工业青年科技专家、山西省“五一”劳动奖章、山西省劳动模范、国家机械工业联合会“九五”机械工业先进科技工作者等荣誉称号。



梁爱生,男,教授,1938年出生于山西襄垣县。1964年毕业于太原重型机械学院轧钢机械专业,毕业后留校从事冶金机械专业的教学和科研工作。先后为本科生和研究生讲授:轧钢主要设备、轧钢辅助设备、炼铁机械、钢铁生产新技术等9门课程,指导硕士研究生多名。完成国家“九五”攻关项目1项,山西省自然基金项目2项,横向合作项目10多项,自己独立研制的组合式剪板机属国内首创。发表论文约30篇,出版教材1部,主编专业书2部,合著专著2部。

目 录

1 绪言	1
1.1 21 世纪钢铁工业的发展特点	1
1.1.1 钢铁工业正在经历激烈的竞争	1
1.1.2 世界钢铁工业更加趋于国际化	2
1.1.3 钢铁技术革命正在加速、扩展和深化	3
1.1.4 全球钢铁工业所有制和产品结构将进行调整	4
1.1.5 钢铁生产的灵活性将进一步加强	5
1.1.6 21 世纪钢铁企业生存和发展的总体战略	6
1.2 走向 21 世纪的我国钢铁工业	8
1.2.1 我国钢铁工业的现状	8
1.2.2 我国“入世”后钢铁工业面临的新形势	9
1.2.3 依靠技术进步,抓住机遇、迎接挑战	11
1.3 国内外高精度轧制技术的现状及其发展	16
1.3.1 热轧板带技术	17
1.3.2 冷轧板带及涂镀层技术	18
1.3.3 型钢轧机技术	19
1.3.4 线材轧机技术	19
1.3.5 无缝管轧制技术	20
2 板厚板形控制	22
2.1 板厚和板形的基本概念	22
2.1.1 板带材几何尺寸精度的表示方法	22
2.1.2 横向厚差与板形的关系	25
2.1.3 平直度表示方法 I 及其与波浪度 λ 的关系	26

2.2	轧件厚度波动的原因及厚度控制的基本原理	26
2.2.1	轧件厚度波动的原因	26
2.2.2	厚度控制的基本原理	29
2.3	板带材平直度缺陷的分析及矫正	31
2.3.1	平直度的基本概念	31
2.3.2	平直度缺陷的分类	32
2.3.3	平直度缺陷分析	32
2.3.4	不平直板带材的矫直	34
2.4	板厚调节方式的发展	35
2.5	动态设定型变刚度厚控方法的效果分析	38
2.5.1	引言	38
2.5.2	动态设定 AGC 测控模型	39
2.5.3	动态设定 AGC 在板带轧机上的应用效果	42
2.6	板形控制方式	46
2.6.1	板形控制的工艺方法	46
2.6.2	板形控制的设备方法	48
2.6.3	各种板形控制技术的比较	63
2.7	板形标准曲线	65
2.7.1	板形标准曲线的概念	65
2.7.2	板形标准曲线的作用和意义	66
2.7.3	板形标准曲线的设定方法	68
2.7.4	选择板形标准曲线的原则	70
2.8	实用板形方程的建立和应用	71
2.8.1	板形方程的建立	71
2.8.2	板形方程在承钢热带厂的应用	77
2.9	几种常用板形及凸度控制数学模型	78
2.9.1	板形及凸度控制模型	78
2.9.2	三种凸度控制模型的特点及相互关系	79
2.10	AFC(自动板形控制)系统及其应用	80
2.10.1	系统的硬件组成	80

2.10.2	系统的软件组成	81
2.10.3	我国某厂引进 AFC 的消化和应用情况	83
2.10.4	板形目标设定曲线在 AFC 系统中的作用	85
2.11	新型板形测控方法及应用	86
2.11.1	引言	86
2.11.2	对现行板形控制方法的分析	88
2.11.3	新型板形测控方法(板形计法)模型的建立	90
2.11.4	板形测控矢量模型	91
2.12	板厚板形综合调节	95
2.12.1	概述	95
2.12.2	DC 轧机的基本原理	98
2.12.3	DC 轧机的主要特点	101
2.13	板形和厚度控制的一体化实现	102
2.13.1	板形和凸度控制的特点	102
2.13.2	高精度在线控制板形和凸度的条件	103
2.13.3	高精度板形和厚度一体化控制的实现	104
2.14	板带材轧制动态理论的发展和应用	105
2.14.1	板带轧制动态理论的研究现状	105
2.14.2	板带轧制动态理论的实际应用	108
2.15	板形模糊控制技术的发展	110
2.15.1	模糊控制的发展及在板形控制中的导入	111
2.15.2	模糊逻辑在板形控制中的应用	111
2.16	宽度自动控制技术	117
2.16.1	传统热轧带钢生产的宽度控制	117
2.16.2	轧制过程的宽度自动控制	119
2.16.3	薄带坯连铸连轧的宽度控制	121
2.17	轧制理论的研究是实现高精度轧制技术的基础	123
3	用边界元法对板带轧制过程进行的高精度数值模拟	127
3.1	当前轧制理论研究的进展情况	127

3.2	边界元法简介	128
3.3	板带轧制过程的高精度数值模拟	131
3.3.1	有摩擦弹性接触问题的边界元法	132
3.3.2	求解接触问题的快速边界元法	138
3.3.3	用逆向边界元法分析接触问题	143
3.3.4	弹塑性问题的边界元法	148
3.3.5	有摩擦弹塑性接触问题的边界元法	163
3.3.6	弹塑性有限形变问题的边界元法	166
3.3.7	弹塑性有限形变接触问题的边界元法	180
3.3.8	高精度轧制接触模型	187
4	中厚板高精度轧制技术	192
4.1	中厚板轧机及轧制技术的发展	192
4.1.1	中厚板轧机的发展	192
4.1.2	宽厚板轧制技术的发展概况	195
4.1.3	宽厚板轧机及主要技术装备	197
4.1.4	厚板轧制技术发展方向	204
4.2	奥钢联中厚板轧机技术	205
4.2.1	引言	205
4.2.2	HYDROPLATE 技术包	206
4.2.3	预平整机和 ADCO 技术	209
4.2.4	全辊缝控制热平整机和平整模型	212
4.3	厚钢板轧制技术的发展	213
4.3.1	厚钢板操作技术概况	214
4.3.2	厚钢板生产的技术动向	216
4.4	BM—II 型中厚板轧机厚度控制系统	218
4.4.1	轧机的工艺参数与技术特性	219
4.4.2	计算机 AGC 系统	220
4.4.3	厚控系统的技术特点	222
4.4.4	系统的主要功能与技术指标	224

4.4.5	基本控制方法	225
4.5	首钢中厚板轧机 AGC 计算机控制系统	227
4.5.1	轧制工艺参数	227
4.5.2	计算机系统硬件配制	227
4.5.3	传感器及伺服阀的配制	228
4.5.4	轧辊压靠弹跳方程	230
4.5.5	AGC 系统	232
4.6	中厚板板形控制技术	235
4.6.1	概述	235
4.6.2	中厚钢板板形控制内容及指标	235
4.6.3	纵向板厚控制	237
4.6.4	横向板形控制	238
4.6.5	平板板形控制	240
4.6.6	中厚板检测技术	241
4.6.7	今后的展望	242
5	带钢高精度轧制技术	243
5.1	热轧除鳞技术	243
5.1.1	热轧氧化铁皮的产生	243
5.1.2	薄板坯连铸连轧中的除鳞技术	246
5.2	热带轧机无头轧制生产技术	253
5.2.1	简介	253
5.2.2	无头轧制的目的	254
5.2.3	热带无头轧制的主要技术	255
5.2.4	无头轧制工艺的应用效果	265
5.3	动态修正轧机弹跳值提高热轧带钢头尾厚度精度	266
5.3.1	数据采集及滤波处理	266
5.3.2	弹性曲线的回归模型及其分析	268
5.3.3	动态修正轧机弹跳值和讨论	270
5.4	超薄热轧带钢生产新技术	272

5.5	日本超薄热轧带钢的生产	275
5.5.1	简介	275
5.5.2	超薄热带的轧制特征及设备与控制技术特点	275
5.5.3	超薄热带的质量	277
5.6	热连轧机组板形预设策略与模型	278
5.6.1	热轧板形的生成	278
5.6.2	热轧板形控制策略	279
5.6.3	基于凸度传递的热轧板形预设控制模型	280
5.7	特薄规格热轧带钢生产现状和前景	283
5.7.1	生产薄规格热轧带钢的意义	283
5.7.2	生产薄规格热轧带钢的成套技术正在形成	284
5.7.3	发展前景	287
5.8	宽带钢冷轧机的发展	288
5.8.1	宽带钢冷轧机的较大发展	288
5.8.2	宽带钢冷轧机的类型及发展趋势	289
5.8.3	单机架可逆式冷轧机有较大发展	291
5.8.4	随着用户对冷轧带钢质量和产品的精度要求不断提高 出现了多种新型轧机	293
5.8.5	展望	294
5.9	大力发展高精度冷轧带钢	296
5.9.1	引言	296
5.9.2	高精度冷轧带钢的应用	297
5.9.3	生产高精度冷轧带钢的技术关键	301
5.10	十二辊冷轧机灵活的凸度控制系统	301
5.10.1	带有组合式支撑辊的十二辊多辊轧机	301
5.10.2	主要技术条件	303
5.10.3	轧机的紧凑式设计	303
5.10.4	自动化	303
5.10.5	中枢网络系统	304
5.10.6	AFC 和 AGC	304

5.11	十二辊可逆式冷轧机板形控制	305
5.11.1	辊系结构	305
5.11.2	板形控制模式	305
5.11.3	板形自动控制过程	309
5.11.4	十二辊轧机板形控制的特点	312
5.12	二十辊森吉米尔式轧机板形控制	312
5.13	西马克、德马克开发的冷轧新技术	314
5.13.1	冷轧机技术	315
5.13.2	TKS冷连轧机	316
5.13.3	边部减薄控制法	317
5.13.4	新的自动化系统	317
5.14	SDI 紧凑式冷轧机	318
5.15	宝钢冷轧板形的系统控制	319
5.15.1	系统控制冷轧板形质量	319
5.15.2	优化酸洗拉矫工艺参数,改善热轧带钢平直度	320
5.15.3	完善轧机板形控制系统	321
5.15.4	下游机组的板形控制	322
5.16	高精度四辊液压精轧机组	323
5.16.1	引言	323
5.16.2	机组的主要性能参数	323
5.16.3	机组的主要技术特点	325
5.16.4	采用的新技术和新装置	326
5.17	精密镀铜钢带性能分析与应用	331
5.17.1	引言	331
5.17.2	镀铜钢带材质的选择	332
5.17.3	镀铜钢带尺寸公差及形状	334
5.17.4	镀铜钢带镀层厚度及表面质量	335
5.17.5	镀铜钢带的性能	335
5.17.6	镀铜钢带的晶粒度与显微组织	336
5.17.7	双层卷焊管的技术性能	337

5.17.8 精密镀铜钢带的应用	338
5.18 冷轧带材前张力分布及横向厚差与板形关系	339
5.18.1 引言	339
5.18.2 板形与前张力、横向厚差的关系	339
5.19 双阶梯支撑辊在四机架冷连轧机上的应用	343
5.19.1 双阶梯支撑辊主要参数的确定	343
5.19.2 双阶梯支撑辊实验方案	346
5.19.3 试验结果	347
5.20 K-WRS 轧机的开发和发展	348
5.21 动态形状轧辊	349
5.21.1 什么是 DSR	350
5.21.2 动态形状轧辊的特点	351
5.22 先进的轧制技术	353
5.22.1 超高张力轧制	353
5.22.2 复合矫直轧制和复合成型轧制	354
5.22.3 改善表层的半熔融和熔融轧制	355
5.22.4 多自由度非对称轧制	356
6 其他高精度轧制技术	358
6.1 日本钢管的尺寸精度控制	358
6.1.1 自动轧管机组钢管尺寸精度控制	358
6.1.2 连续式轧管机组钢管尺寸精度控制	359
6.2 轿车用精密钢管	364
6.2.1 精密钢管与汽车工业	364
6.2.2 轿车用精密钢管的技术要求	365
6.2.3 生产工艺特点	365
6.2.4 典型品种介绍	367
6.2.5 我国汽车用精密钢管的发展	369
6.3 高精度冷拔钢管	371
6.3.1 日本片仓钢管公司简况	371

6.3.2 我国高精度冷拔管生产现状	373
6.4 生产高精度冷拔钢管的工艺措施	375
6.4.1 工艺措施	376
6.4.2 产品技术指标	377
6.5 我国缸筒用冷拔高精度钢管生产现状	378
6.5.1 我国缸筒用冷拔高精度钢管生产的发展	378
6.5.2 冷拔高精度钢管在缸筒制造中的优势	380
6.5.3 完善工艺及进一步提高产品质量	382
6.6 精密细直径不锈钢焊管设备的研制	385
6.6.1 纵剪机组	385
6.6.2 成型定径机组	385
6.6.3 定尺切断设备	387
6.7 小直径精密焊管技术	387
6.7.1 小直径精密焊管的应用	387
6.7.2 精密电焊管的生产方法及工艺	388
6.8 低粗糙度的 St35 钢冷轧精密管生产工艺改进	389
6.8.1 产品技术要求	389
6.8.2 生产工艺	390
6.8.3 产品质量	390
6.9 新型高精度管材矫直机	391
6.9.1 十一辊高精度管材矫直机	392
6.9.2 复合辊框架矫直机	393
6.10 无头轧制技术广泛应用于棒线材轧机	396
6.10.1 世界首套条钢线材无头轧制设备	396
6.10.2 EWR 法	400
6.11 生产长条材用的高精度轧制系统	403
6.11.1 引言	403
6.11.2 高精度轧制系统	404
6.11.3 系统设计	406
6.11.4 轧辊孔型设计	407

6.11.5	轧机机架设备	407
6.11.6	轧辊辊型方式	408
6.12	世界线材轧机建设态势	408
6.12.1	发达国家新建成线材轧机数量不多, 但技术上有所突破	409
6.12.2	发展中国家纷纷新建线材轧机以适应各国 经济发展的需要	411
6.12.3	前景	412
6.13	马钢 H 型钢万能轧机液压自动辊缝控制系统	413
6.13.1	马钢 H 型钢轧机概况	413
6.13.2	控制原理	414
6.14	GBJ 型高精度合金钢棒材矫直机	421
6.15	高精度棒线材轧机	424
6.15.1	棒材 Tekisun 轧机	424
6.15.2	线材 Tekisun 轧机	426
6.16	棒材连轧机的微张力控制	429
6.16.1	微张力控制系统的组成	429
6.16.2	微张力自动控制过程	430
6.16.3	引入变参数及系数的重要性	431
6.16.4	微张力控制中的速度级联系统	432
6.16.5	微张力控制中 R 系数自适应控制分析	432
6.17	攀钢开发高速铁路钢轨的对策	434
6.17.1	高速铁路对钢轨的要求	435
6.17.2	攀钢钢轨质量现状	436
6.17.3	攀钢开发高速铁路钢轨的对策	438
6.18	高精度重轨定径的实验研究	441
6.18.1	重轨定径精轧实验	442
6.18.2	ANSYS 软件对重轨定径变形的分析	443