



劳动和社会保障部培训就业司推荐
冶金行业职业教育培训规划教材

热连轧带钢生产

RE LIANZHA DAIGANG SHENGCHAN

张景进 主编



冶金工业出版社

76234/L



冶金行业职业教育培训规划教材

炼焦生产技术
炼焦化产回收技术

铁矿粉球团生产
铁矿粉烧结生产
高炉炼铁基础知识
高炉热风炉操作
高炉渣铁处理技术
高炉喷煤技术
高炉冷却与长寿

炼钢基础知识
转炉炼钢生产
电炉炼钢生产
铁水预处理与炉外精炼
连续铸钢生产
转炉炼钢燃气回收与利用

轧钢基础知识
中型型钢生产
高速线材生产
中厚板生产
板带冷轧生产

■ 热连轧带钢生产
管材轧制生产
加热炉基础知识与操作

机械基础知识
冶炼设备维护与检修
轧钢设备维护与检修
冶金厂辅助设备维护与检修
冶金液压设备及其维护
电气设备故障检测与维护
热工仪表及其维护

ISBN 7-5024-3727-4



9 787502 437275 >

销售分类建议：冶金工程

ISBN 7-5024-3727-4

TG·366 定价 35.00 元

劳动和社会保障部培训就业司推荐
冶金行业职业教育培训规划教材

热连轧带钢生产

主 编 张景进
副主编 张 梅 赵 冶

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2005

内 容 提 要

本书为冶金行业职业技能培训教材,是参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求编写的,并经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过。

全书共分10章,主要内容包括板带钢生产工艺及自动控制、轧制及精整设备、厚度和宽度控制、速度控制、张力控制、板形控制、温度控制、轧制线常见操作、组织管理、标准化与标准等。

本书也可作为职业技术学院相关专业的教材,或工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

热连轧带钢生产/张景进主编. —北京:冶金工业出版社,2005.6

冶金行业职业教育培训规划教材

ISBN 7-5024-3727-4

I. 热… II. 张… III. 带钢—热轧—连续轧制—技术培训—教材 IV. TG335.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 013152 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 俞跃春 美术编辑 王耀忠

责任校对 王永欣 李文彦 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

2005年6月第1版,2005年6月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;13.75印张;326千字;201页; 1—3000册

35.00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)

冶金行业职业教育培训规划教材

编辑委员会

主任 王子林 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会
主任委员;唐山钢铁公司 副总经理

曹胜利 冶金工业出版社 社长

副主任 董兆伟 河北工业职业技术学院 院长

鲁启峰 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会
副主任委员;中国钢协职业培训中心 副主任

顾问委员 北京科技大学 曲 英 王筱留 袁 康 施东成

首钢总公司	舒友珍	何智广	宝山钢铁公司	杨敏宏
太原钢铁公司	贾宝林	孟永钢	武汉钢铁公司	孙志桥
马鞍山钢铁公司	王茂龙	陈 宣	本溪钢铁公司	张春雨
唐山钢铁公司	宋润平	冯柄晓	江苏沙钢公司	黄国刚
济南钢铁公司	陈启祥	赵树俭	天津天铁公司	王金铭
南京钢铁联合公司	陈龙宝	朱朝全	钢协培训中心	宋 凯
承德钢铁公司	魏洪如	高 影	济源钢铁公司	靳沁萍
石家庄钢铁公司	侯 敏	冷学中	滦河集团公司	王爱民
首钢迁安钢铁公司	王宝军	王 蕾	河北冶金研究院	彭万树
邯郸钢铁公司	张晓力	李 阳	河北冶金设计院	周建宏
宣化钢铁公司	张聪山	李豪杰	港陆钢铁公司	赵福桐
淮阴钢铁公司	刘 瑾	王灿秀	邯钢衡水薄板厂	魏虎平
邢台钢铁公司	张力达	孙汉勇	半壁店钢铁公司	刘春梅
纵横钢铁公司	王建民	阚永梅	鹿泉钢铁公司	杜会武
河北工业职业技术学院	袁建路	李文兴	河北立国集团	郭志敏
山西工程职业技术学院	王明海	史学红		
冶金工业出版社	宋 良	(010 - 64027900, 3bs@cnmip. com. cn)		

序

吴溪淳

改革开放以来,我国经济和社会发展取得了辉煌成就,冶金工业实现了持续、快速、健康发展,钢产量已连续数年位居世界首位。这期间凝结着冶金行业广大职工的智慧 and 心血,包含着千千万万产业工人的汗水和辛劳。实践证明,人才是兴国之本、富民之基和发展之源,是科技创新、经济发展和社会进步的探索者、实践者和推动者。冶金行业中的高技能人才是推动技术创新、实现科技成果转化不可缺少的重要力量,其数量的迅速增长、素质的不断提高与否,关系到冶金行业核心竞争力的强弱。同时,冶金行业作为国家基础产业,拥有数百万从业人员,其综合素质关系到我国产业工人队伍整体素质,关系到工人阶级自身先进性在新的历史条件下的巩固和发展,直接关系到我国综合国力能否不断增强。

强化职业技能培训工作,提高企业核心竞争力,是国民经济可持续发展的重要保障,党中央和国务院给予了高度重视。在2003年的全国人事工作会议上,中央再一次明确了人才立国的发展战略,同时国家已开始着手进行终身学习法的制定调研工作。结合《职业教育法》的颁布实施,职业教育工作将出现长期稳定发展的新局面。

为了搞好冶金行业职工的技能培训工作,河北工业职业技术学院同冶金工业出版社和中国钢协职业培训中心密切协作,联合有关的冶金企业和职业技术学院,编写了这套冶金行业职业教育培训规划教材,并经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,给予推荐。河北工业职业技术学院的各级领导和教师在时间紧、任务重的情况下,克服困难,辛勤工作,在有关单位的工程技术人员和教师的积极参与和大力支持下,出色地完成了前期工作,为冶金行业的职业技能培训工作的顺利进行,打下了坚实的基础。相信本套教材的出版,将为企业生产一线人员的理论水平、操作水平和管理水平的进一步提高,企业核心竞争力的不断增强,起到积极的推进作用。

随着近年来冶金行业的高速发展,职业技能培训工作也取得了巨大的成绩,

大多数企业建立了完善的职工教育培训体系,职工素质不断提高,为我国冶金行业的发展提供了强大的人力资源支持。我个人认为,今后的培训工作重点,应注意继续加强职业技能培训工作者的队伍建设,继续丰富教材品种,加强对高技能人才培养,进一步加强岗前培训,加强企业间、国际间的合作,开辟新的局面。

展望未来,任重而道远。希望各冶金企业与相关院校、出版部门进一步开拓思路,加强合作,全面提升从业人员的素质,要在冶金企业的职工队伍中培养一批刻苦学习、岗位成才的带头人,培养一批推动技术创新、实现科技成果转化的带头人,培养一批提高生产效率、提升产品质量的带头人;不断创新,不断发展,力争使我国冶金行业职业技能培训工作跨上一个新台阶,为冶金行业持续、稳定、健康发展,做出新的贡献!

前 言

本书是按照劳动和社会保障部的规划,受中国钢铁工业协会和冶金工业出版社的委托,在编委会的组织安排下,参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求编写的。书稿经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,由劳动和社会保障部培训就业司推荐作为冶金行业职业技能培训教材。

作为职业技能培训教材,本书力求紧密结合现场实践,注意学以致用,体现以岗位技能为目标的特点,各章节内容选材均来自工程实际,在叙述和表达方式上力求做到深入浅出,直观易懂,能使读者触类旁通。

本书主要用作热连轧带钢厂粗轧、精轧、卷取、精整操作台上操作人员的培训教材,也可作为职业技术学院教学用书,对专业技术人员也有一定的参考价值。有关原料加热及加热炉方面的知识,请参阅《加热炉基础知识与操作》。

本书由河北工业职业技术学院张景进任主编,河北科技大学张梅、河北工业职业技术学院赵冶任副主编,参加编写的还有河北工业职业技术学院的陈涛、关昕、张欣杰、李永刚、高云飞、陈敏。邯钢钢铁集团有限责任公司技术中心的唐恒国、吝章国主审。

本书在编写过程中参考了多种相关书籍、资料,在此,对其作者一并表示由衷的感谢。

由于水平所限,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者
2004年12月

目 录

1 板带钢生产工艺及自动控制	1
1.1 板带钢的分类及用途	1
1.2 板带钢技术要求	1
1.3 热连轧带钢生产工艺流程	2
1.4 带钢热连轧机自动化发展概况	3
1.4.1 综述	3
1.4.2 带钢热轧计算机控制功能	5
1.4.3 我国热轧带钢计算机控制系统	7
1.5 计算机对轧制过程控制的基本内容	7
1.5.1 3/4 连续式热连轧机设备布置	7
1.5.2 加热区的自动化过程	8
1.5.3 粗轧区的自动化过程	9
1.5.4 精轧区的自动化过程	10
1.5.5 层流冷却和卷取区的自动化过程	12
1.6 控制系统的类型	12
1.6.1 开式控制	13
1.6.2 闭式控制	13
1.6.3 半闭式控制	13
1.6.4 复式控制	14
1.7 各种检测仪表	14
1.7.1 温度测量仪表	14
1.7.2 轧制压力测量仪表	15
1.7.3 测厚仪	15
1.7.4 辊缝测量仪表	15
1.7.5 轧件位置检测器	16
1.7.6 宽度测量仪表	16
1.7.7 平直度测量装置	16
1.7.8 凸度测量装置	16
1.8 数学模型及其自学习	16
1.8.1 数学模型	16
1.8.2 模型系数自学习	17
复习思考题	19
2 轧制及精整设备	20

2.1 粗轧机组	20
2.1.1 概述	20
2.1.2 粗轧机的布置	20
2.1.3 粗轧机设备	23
2.2 精轧机组	29
2.2.1 概述	29
2.2.2 精轧机组布置	30
2.2.3 精轧机组设备	31
2.2.4 精轧机组板形控制	37
2.3 辊道及带钢冷却装置	38
2.3.1 概述	38
2.3.2 辊道的作用和布置形式	38
2.3.3 结构和传动方式	39
2.3.4 辊道速度的确定和控制	41
2.3.5 带钢冷却装置	42
2.4 卷取机	44
2.4.1 概述	44
2.4.2 卷取机设备	45
2.4.3 卷取机的控制	48
2.5 精整工序	48
2.5.1 概述	48
2.5.2 横剪机组	49
2.5.3 纵剪机组	51
2.5.4 平整机组	51
复习思考题	53
3 厚度和宽度控制	54
3.1 概述	54
3.2 厚度设定	54
3.2.1 粗轧压下规程制定	54
3.2.2 精轧压下规程制定	56
3.2.3 精轧厚度设定	59
3.2.4 粗轧厚度设定	63
3.3 板带钢厚度波动的原因及其厚度的变化规律	64
3.3.1 板带钢厚度波动的原因	64
3.3.2 轧制过程中厚度变化的基本规律	65
3.4 厚度自动控制的基本形式及其控制原理	67
3.4.1 用测厚仪测厚的反馈式厚度自动控制系统	67
3.4.2 厚度计式的厚度自动控制系统	69

3.4.3	前馈式厚度自动控制系统	70
3.4.4	张力式厚度自动控制系统	72
3.4.5	液压式厚度自动控制系统	73
3.5	带钢热连轧精轧机组中的厚度自动控制	77
3.5.1	厚度锁定方法	77
3.5.2	偏心控制	78
3.5.3	X射线厚度监控	78
3.5.4	张力微调的运算	79
3.5.5	速度补偿的计算	79
3.5.6	带钢尾部补偿值的计算	80
3.5.7	自动复位	81
3.6	粗轧立辊开口度设定——宽度设定	81
3.7	宽度自动控制 AWC	84
3.7.1	板宽变动的的原因	84
3.7.2	几种基本的宽度控制方式	85
	复习思考题	86
4	速度控制	87
4.1	电动机调速原理	87
4.1.1	直流电动机的机械特性方程式	87
4.1.2	直流电动机的调速原理	88
4.1.3	速度和电流双闭环直流调速系统	89
4.1.4	交流电动机的调速原理	90
4.1.5	变频器的基本类型	92
4.1.6	交-直-交变频器	92
4.1.7	交-交变频器	95
4.1.8	脉宽调制型(PWM)变频器	96
4.2	秒流量方程	100
4.3	对主传动速度制度的要求	100
4.4	主速度系统	104
4.4.1	主速度整定	104
4.4.2	主速度调节	105
4.5	精轧机组速度的设定	105
4.5.1	速度设定方式	105
4.5.2	减速开始机架的确定	108
	复习思考题	109
5	张力控制	110
5.1	概述	110

5.2	张力的作用	110
5.3	无活套微张力控制	110
5.3.1	双机架连轧微张力控制	110
5.3.2	多机架连轧微张力控制	112
5.4	热连轧机的活套控制系统	113
5.4.1	精轧机组连轧的基本过程	113
5.4.2	机架间活套量的计算及其变化规律	116
5.4.3	控制活套所需的力矩	117
5.4.4	活套支持器的基本设定	119
5.5	卷取机张力控制	120
5.5.1	间接法控制张力的基本原理	120
5.5.2	直接法控制张力的基本原理	122
	复习思考题	122
6	板形控制	123
6.1	板形及良好板形条件	123
6.2	板形的表示方法	125
6.3	影响辊缝形状的因素	126
6.3.1	轧辊的热凸度	126
6.3.2	轧辊挠度	127
6.3.3	轧辊的磨损	129
6.3.4	原始凸度	129
6.3.5	CVC 轧机	129
6.3.6	PC 轧机	129
6.3.7	HC 轧机	130
6.3.8	弯辊装置	130
6.4	板形设定模型	130
6.5	静态负荷分配法计算轧机预设定值	131
6.6	动态负荷分配	133
6.7	自动板形控制系统	133
6.7.1	FF-ASC	133
6.7.2	FB-ASC	133
	复习思考题	134
7	温度控制	135
7.1	轧制过程中温度变化的基本规律	135
7.1.1	轧制过程中的辐射传热	135
7.1.2	轧制过程中的对流传热	136
7.1.3	轧制过程中的传导传热	137

7.1.4 轧制过程中的塑性变形热和摩擦热	138
7.2 热连轧过程中的温降方程	138
7.2.1 带钢在辊道上运送时的温降方程	139
7.2.2 高压水除鳞情况下的温降方程	140
7.2.3 带钢在低压喷水冷却时的温降方程	140
7.2.4 带钢在精轧机组中的温降方程	141
7.3 终轧温度的控制	144
7.3.1 带钢头部终轧温度的控制	144
7.3.2 带钢全长终轧温度的控制	145
7.4 带钢卷取温度的控制	146
7.4.1 带钢卷取温度控制的目的	146
7.4.2 冷却装置的特点	146
7.4.3 卷取温度控制的基本思想和数学模型的基本结构	147
7.4.4 带钢卷取温度控制的几种控制模型和控制方法	149
复习思考题	152
8 轧制线常见操作	153
8.1 位置自动控制	153
8.1.1 概念、应用及控制过程	153
8.1.2 提高位置控制精度和可靠性的措施	153
8.1.3 APC 装置的调零	154
8.2 粗精轧机组操作	155
8.2.1 导卫装置	155
8.2.2 轧机调整	155
8.2.3 换辊操作	156
8.3 层冷、卷取机组	158
8.3.1 卷取温度控制	158
8.3.2 卷形控制	159
8.3.3 卷取机操作调整	161
8.3.4 卷取机参数设定	161
8.4 矫直	163
8.4.1 矫直原理	163
8.4.2 矫直原理的实际应用	167
8.5 轧件剪切	167
8.5.1 轧件剪切过程分析	167
8.5.2 剪切机重合量、侧向间隙的确定	169
8.5.3 剪切作业评价	169
8.6 纵剪机组有关操作设定值	171
8.6.1 开卷作业设定标准	172

8.6.2	纵剪设定标准	172
8.6.3	张力垫木更换标准	173
8.6.4	纵切剪刀轴组装标准	173
8.7	平整机组的有关作业设定值	174
8.7.1	开卷作业设定标准	175
8.7.2	平整作业标准	175
8.7.3	卷取作业标准	176
	复习思考题	176
9	组织管理	178
9.1	板坯选择	178
9.1.1	板坯尺寸选择	178
9.1.2	对板坯的质量要求	179
9.2	轧制单位的编制原则	179
9.2.1	确定轧制单位中的主轧材(重点质量保证产品)	179
9.2.2	在轧制单位的开始阶段,安排一定量的烫辊材	179
9.2.3	过渡材	180
9.2.4	轧辊利用材	180
9.2.5	宽度、厚度过渡原则	180
9.2.6	质量保证原则	181
9.2.7	生产管理原则	181
9.2.8	编制轧制单位时应考虑的问题	181
9.2.9	编制轧制单位的事例	182
9.3	主要技术经济指标	182
9.3.1	轧制线的生产能力	182
9.3.2	日历作业率与有效作业率	183
9.3.3	成材率与合格率	184
9.3.4	轧辊、燃料、电力的单位消耗	185
9.4	表面缺陷	186
9.5	设备管理	188
9.5.1	设备管理的组织机构	188
9.5.2	设备管理的内容	189
	复习思考题	192
10	标准化与标准	193
10.1	标准化概念	193
10.1.1	标准	193
10.1.2	标准化	193
10.2	标准化的主要作用	194

10.2.1	标准化保证产品质量提高	195
10.2.2	标准化促进技术改造和新技术的采用	195
10.2.3	标准化是推广使用新产品的桥梁	196
10.2.4	标准化为合理利用资源和原材料创造条件	196
10.3	标准的分级和分类	196
10.3.1	标准的分级	196
10.3.2	标准的分类	197
10.4	产品标准通用术语	197
10.4.1	公称尺寸和实际尺寸	197
10.4.2	偏差和公差	197
10.4.3	从公称尺寸算起和从实际尺寸算起	198
10.4.4	交货长度	198
10.4.5	深宽比	199
10.4.6	边缘状态	199
10.4.7	表面状态	199
10.4.8	尺寸超差	199
10.4.9	厚薄不均	199
10.4.10	椭圆度(不圆度)	199
10.4.11	弯曲、弯曲度、局部弯曲度和总弯曲度	199
10.4.12	批	200
10.4.13	纵向和横向	200
	复习思考题	200
	参考文献	201

1 板带钢生产工艺及自动控制

1.1 板带钢的分类及用途

钢板是平板状，矩形的，可直接轧制或由宽钢带剪切而成，钢带是指成卷交货的带钢，合称板带钢。

板带钢按产品厚度一般可分为厚板和薄板两类；对于钢带，按产品宽度可分为窄钢带和宽钢带两类。我国 GB/T 15574—1995 规定厚度不大于 3mm 的称为薄板，厚度大于 3mm 的称为厚板，钢带宽度小于 600mm 的称为窄钢带，宽度不小于 600mm 的称为宽钢带。目前我国热连轧带钢最薄可达 0.8mm 而厚至 25.4mm，最宽可达 2050mm。

热轧宽带钢产品主要以钢卷状态供给冷轧机作原料，同时，也直接向用户和市场销售热轧钢卷和精整加工产品，即平整钢卷、分卷钢卷、纵切窄带钢卷、横切钢板，最近几年又有经过酸洗的热轧钢卷销售。

供给冷轧机作原料用的热轧钢卷，主要的钢种为低碳钢，包括超低碳钢和普通碳素结构钢。另外，供冷轧机生产用的取向硅钢、无取向硅钢、不锈钢薄板带等原料钢卷，也由热轧宽带钢轧机生产。

1.2 板带钢技术要求

根据板带钢用途的不同，对钢板、钢带提出的技术要求也各不一样，但由于其相似的外形特点和使用条件，其技术要求仍有共同之处，归纳起来就是“尺寸精确、板形好、表面光洁、性能高”这样四个方面：

(1) 尺寸精确。即尺寸精度要求高。板带钢尺寸精度包括厚度精度、宽度精度，对于横切钢板还应包括长度精度。一般规定宽度、长度只有正公差。

对板带钢尺寸精度影响最大的尺寸精度主要是厚度精度，因为它不仅影响到使用性能及后道工序，而且在生产中难度最大。此外厚度偏差对节约金属影响很大；板带钢由于宽厚比 b/h 很大，厚度一般很小，厚度的微小变化势必引起其使用性能和金属消耗的巨大波动。故在板带钢生产中一般都应该保证轧制精度，其厚度力争按负公差轧制。

(2) 板形好。板带四边平直，无浪形瓢曲，才好使用。例如，对厚度 $h \leq 1.5\text{mm}$ 的钢板，其每米长度上的不平度不得大于 15mm，厚度 $h = 4 \sim 10\text{mm}$ 的钢板，其每米长度上的不平度不得大于 10mm。因此对板带钢的板形要求是比较严格的。但是由于板带钢既宽且薄，对不均匀变形的敏感性又特别大，所以要保持良好的板形就很不容易。板带愈薄，其不均匀变形的敏感性越大，保持良好板形的困难也就愈大。显然，板形的不良来源于变形的不均，而变形的不均又往往导致厚度的不均。因此，板形的好坏往往与厚度精确度也有着直接的关系。

(3) 表面质量光洁。板带钢是单位体积的表面积最大的一种钢材，又多用作外围构件，故必须保证表面的质量。无论是厚板或薄板表面皆不得有气泡、结疤、拉裂、刮伤、折叠、裂缝、夹杂和压入氧化铁皮，因为这些缺陷不仅损害板制件的外观，而且往往败坏性能或成为产生破裂和锈蚀的策源地，成为应力集中的薄弱环节。例如，硅钢片表面的氧化铁皮和表面的光洁度就直接影响磁性，深冲钢板表面的氧化铁皮会使冲压件表面粗糙甚至开裂，并使冲压工具迅速磨损，至于对

不锈钢板等特殊用途的板带，还可提出特殊的技术要求。

(4) 性能高。板带钢的性能要求主要包括机械性能、工艺性能和某些钢板的特殊物理或化学性能。一般结构钢板只要求具备较好的工艺性能，例如，冷弯和焊接性能等，而对机械性能的要求不很严格。对于重要用途的结构钢板，则要求有较好的综合性能，即除了要有良好的工艺性能、强度和塑性以外，还要求保证一定的化学成分，保证良好的焊接性能、常温或低温的冲击韧性，或一定的冲压性能、一定的晶粒组织及各向组织的均匀性等等。

除了上述各种结构钢板以外，还有各种特殊用途的钢板，如高温合金板、不锈钢板、硅钢片、复合板等，它们或要求特殊的高温性能、低温性能、耐酸耐碱耐腐蚀性能，或要求一定的物理性能(如磁性)等。

1.3 热连轧带钢生产工艺流程

图 1-1 为热带钢连轧机生产工艺流程图，概括了现代的热轧宽带钢轧机生产过程，是典型的工艺流程。不同之处仅在于有无定宽压力机、边部加热器等。

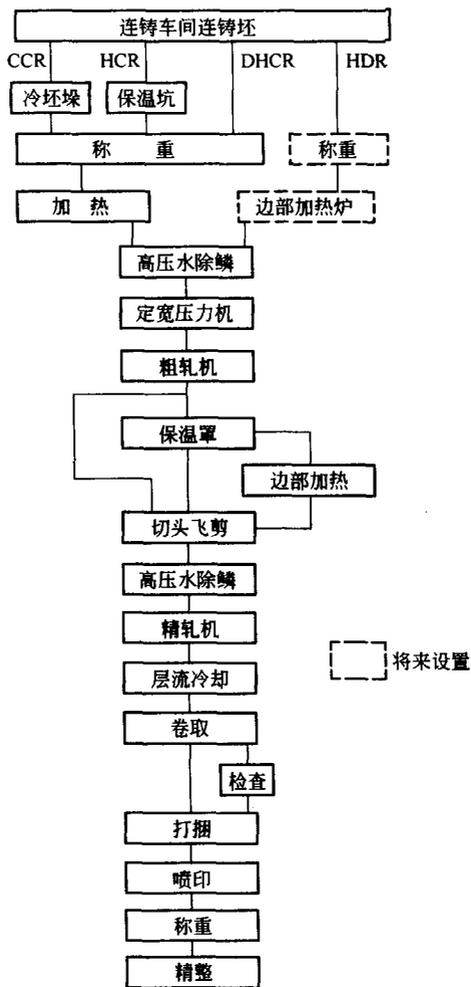


图 1-1 热带钢连轧机生产工艺流程图

CCR—冷装炉；HCR—热装炉；
DHCR—直接热装；HDR—直接轧制