

冷轧板带生产

中国金属学会

冶金继续工程教育丛书

冶金工业出版社

贺敏辛 主编

冶金继续工程教育丛书

冷轧板带生产

贺毓辛 主编

冶金工业出版社

1992

(京)新登字036号

内 容 简 介

本书为“冶金继续工程教育丛书”之一。本书比较系统地介绍了现代冷轧板带生产的有关基础理论,对冷轧板带车间组成及布置做了全面介绍,并以可逆轧机的冷轧生产为例详细分析了冷轧板带生产工艺。书中又结合冷连轧生产,介绍了冷轧板带生产的新技术,描绘了一个现代化、自动化冷轧车间的总貌。同时本书还针对汽车板、电工板等典型产品的生产工艺和中小型冷轧带钢生产的特点做了专题论述。

本书供从事冷轧板带生产、科研、设计的工程技术人员学习,也可供大专院校有关专业师生参考。

EY66/30

冶金继续工程教育丛书

冷轧板带生产

贺毓辛 主编

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷38号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

787 × 1092 1/32 印张 21 1/4 字数 487 千字

1992年 3 月第一版 1992年 3 月第一次印刷

印数00,001~4,110册

ISBN 7-5024-0889-4

TF·211 定价13.00元

分类: TG335.5/1-1
页号: 220

序

中国金属学会组织编写了“冶金继续工程教育丛书”，为大家办了一件好事。积极开展继续教育，对于提高冶金科技人员水平，促进冶金工业的发展具有重要意义。希望冶金战线各级领导重视这项工作，努力创造条件，为科技人员在职学习提供方便；同时也殷切希望广大冶金科技工作者坚持学习，不断吸收新知识，学习新技术，为实现四化、振兴中华做出更大贡献。

中国继续工程教育协会理事

冶金工业部副部长

徐大铨

1988年12月

前 言

为了适应冷轧板带生产技术的发展，系统地编写一本反映国内外冷轧板带生产状况和发展情况，既有一定实际资料，又有一定理论基础的冷轧板带生产参考书是十分必要的。

本书在简述冷轧生产发展之后，第2章全面介绍了现代冷轧生产的有关理论，为进行工程运算、了解生产、进行模化、优化和柔化设计、控制板形和振动等等打下较坚实的基础。第3章对冷轧车间组成及布置做了全面介绍，为在下几章深入分析工艺之前，先提供了现代冷轧生产的一个总体概念。第4章以可逆轧机生产为例全面地分析了冷轧工艺，对生产流程、工艺制度、成材率与产品缺陷、轧辊消耗与管理、提高产品产量与质量等都做了详尽的分析。第5章则结合冷连轧生产，介绍了冷轧的新技术。第6章对汽车板、电工板等典型产品生产工艺做了介绍。

东北工学院教授王国栋和冶金工业部科技司高级工程师谢仕柜分别审阅了全书，并提出了许多宝贵意见。中国金属学会在1988年11月组织的近百人的冷轧学习班试用了这本教材，并听取了各方面的意见。我们根据大家的意见进行了适当的修改。

本书第1、3章由鞍山钢铁公司设计院马璋编写，第2章由北京科技大学贺毓辛编写，第4章由鞍山钢铁公司钢铁研究所董贵编写，第5章由宝山钢铁总厂冷轧厂杨美顺编写，第6章由鞍山钢铁公司钢铁研究所傅作宝编写，全书由贺毓辛进行修改和统校。限于编者的水平，不当之处在所难免，望读者批评、指正。

贺毓辛

1990年5月

目 录

序

前言

1 冷轧板带生产发展	1
1.1 冷轧板带生产发展简介	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 板带冷轧机的发展概况	2
1.1.3 连轧机的发展	7
1.1.4 冷轧板带产品的用途及产量发展情况	15
1.2 冷轧板带生产特点及板带冷轧机分类	20
1.2.1 冷轧板带生产特点	20
1.2.2 板带冷轧机的分类	22
1.3 冷轧板带生产技术的进展	24
1.3.1 冷轧板带生产技术的最新进展	24
1.3.2 冷轧板带生产发展远景	28
1.4 我国冷轧板带生产概况	28
参考文献	30
2 冷轧板带生产的理论基础	31
2.1 冷轧板带的特点及其主要影响因素	31
2.1.1 冷轧板带的特点及主要影响因素	31
2.1.2 金属的力学性能	33
2.1.3 轧制时之摩擦	46
2.2 轧制力	69
2.2.1 轧制力的概念及其计算方法	70
2.2.2 单位压力微分方程式〔T.卡尔曼 (Karman) 方程〕	73
2.2.3 轧制力的计算	80

2.2.4	对用单元截面法计算轧制力的各种公式的分析评述	82
2.2.5	影响冷轧的若干因素	93
2.2.6	其它轧制力公式	109
2.3	辊系受力分析	121
2.3.1	二辊轧机简单轧制情况下辊系受力分析	121
2.3.2	四辊轧机辊系受力分析	123
2.3.3	多辊轧机辊系受力分析	132
2.4	轧制力矩及功率	137
2.4.1	轧制力矩	137
2.4.2	轧制功率	147
2.4.3	单位能耗曲线	155
2.5	弹塑性曲线	161
2.5.1	轧制过程弹塑曲线	162
2.5.2	轧机的刚度及弹性曲线方程	170
2.5.3	塑性曲线方程(塑性系数 M 的计算)	185
2.5.4	厚度自动控制及厚控方程	187
2.5.5	最小可轧厚度	197
2.6	轧制时的振动	200
2.6.1	冷带轧机的振动概述	201
2.6.2	轧机振动频率计算方法	204
2.6.3	振动的实验室研究和生产性研究	215
2.7	冷轧带材的板形	229
2.7.1	板形理论	232
2.7.2	板形控制技术及其理论分析	259
2.7.3	板形检测	273
2.8	连轧理论及轧制过程模拟	274
2.8.1	连轧的特点	275
2.8.2	连轧张力	276
2.8.3	连轧综合特性及过程模拟	282
2.8.4	连轧综合力学模型	288

2.9	轧制优化	296
2.9.1	压下规程优化	297
2.9.2	最佳参数选择	306
2.10	轧制柔化及全连续动态规格变换工艺	313
2.10.1	动态规格变换及其工艺方案	316
2.10.2	动态规格变换模型评述	319
2.10.3	第二规程变张力时动态规格变换模型	324
2.10.4	考虑轧制参数变化及电气系统动态特性的动态规格变换模型	337
	参考文献	350
3	冷轧车间的组成及布置	355
3.1	冷轧板带生产的工艺流程	355
3.2	冷轧板带生产车间组成	358
3.2.1	深冲冷轧板带连续退火线	360
3.2.2	大容量旋转自由活套式带钢贮存装置	361
3.2.3	彩色涂层带钢生产线	363
3.3	冷轧板带生产车间布置	363
3.3.1	车间布置基本原则	363
3.3.2	冷轧板带车间布置	364
	参考文献	372
4	可逆式冷轧机生产薄板和带钢	373
4.1	可逆式冷轧机的种类与特点	373
4.1.1	可逆式冷轧机的种类	373
4.1.2	可逆式冷轧机的特点	376
4.1.3	可逆式冷轧设备组成与工艺操作	378
4.2	可逆式冷轧机车间组成	380
4.2.1	生产流程	380
4.2.2	各工序的设备组成	381
4.2.3	车间平面布置	400
4.3	冷轧板带生产工艺	400
4.3.1	热轧带钢的酸洗	400

4.3.2	轧制工艺	408
4.3.3	热处理工艺	425
4.3.4	冷轧带钢的平整	431
4.4	可逆式冷轧机的生产率	439
4.4.1	可逆式冷轧机生产率的确定	439
4.4.2	影响冷轧机生产率的因素	447
4.4.3	提高轧机生产率的途径	447
4.5	可逆式冷轧机的轧辊消耗与管理	460
4.5.1	冷轧轧辊概要	460
4.5.2	轧辊的报废和轧辊寿命	463
4.5.3	轧辊的更换及轧辊消耗指标	466
4.5.4	轧辊消耗的统计分析	469
4.5.5	轧辊的抛光与喷砂	476
4.6	冷轧薄板和带钢的缺陷	483
4.6.1	钢板的原料缺陷	483
4.6.2	表面缺陷	487
4.6.3	形状缺陷	492
4.6.4	尺寸缺陷	496
	参考文献	496
5	冷连轧板带生产	497
5.1	冷连轧生产工艺及控制系统概况	497
5.1.1	冷连轧板带生产工艺	497
5.1.2	冷连轧机控制系统的设计思想及工作原理	512
5.1.3	计算机简介	517
5.2	原始数据管理和数据收集	522
5.2.1	原始数据管理	524
5.2.2	测量值收集	527
5.2.3	数据收集	530
5.2.4	实时控制	533
5.3	冷连轧机的设定计算	536
5.3.1	设定计算的目的及基本方法、原则	536

5.3.2	设定计算的各种数据	537
5.3.3	主要模型的建立	545
5.3.4	冷连轧机最佳设定	551
5.3.5	穿带辊缝设定值的计算	563
5.3.6	自适应	564
5.4	冷连轧自动化操作控制级	567
5.4.1	IPU2的功能	569
5.4.2	IPU1的功能	570
5.5	设备控制级的功能	571
5.5.1	进出料自动控制	573
5.5.2	侧导板位置控制	573
5.5.3	弯辊力控制	574
5.5.4	开卷与卷取的控制	575
5.5.5	数字速度调节系统	578
5.5.6	其它控制功能	582
5.5.7	自动厚度控制系统	584
5.6	2030冷轧带钢生产	588
5.6.1	工艺设备概况	588
5.6.2	2030全连续轧机控制系统的特点	592
5.6.3	板形控制系统	598
5.6.4	带钢的连续退火	602
5.6.5	电镀锌钢板生产机组	605
6	典型产品生产工艺	612
6.1	冷轧汽车板的生产	612
6.1.1	评价钢板深冲性能的指标	613
6.1.2	深冲冷轧汽车薄板的生产	620
6.1.3	冷轧汽车板的发展趋势	639
6.2	镀锡板的生产	644
6.2.1	热镀锡板的生产	645
6.2.2	电镀锡板的生产	649
6.2.3	镀锡板生产发展趋势	654

6.3 彩色钢板的生产.....	655
6.3.1 彩色涂层板的生产.....	655
6.3.2 复层板的生产.....	666
参考文献	667

冷轧板带生产发展

1.1 冷轧板带生产发展简介

1.1.1 概述

钢板的冷轧作为一种生产工艺经过了多种演变，它由单机架非可逆单张轧制，发展到成卷可逆轧制。冷轧机由单机逐步发展到三机架、四机架、五机架乃至六机架的连轧机，最后出现了全连续轧机。冷轧使用二辊、三辊、四辊、多辊各种辊系组成的轧机，其中以四辊轧机应用最为广泛。

薄板及带钢冷轧机的驱动形式也是逐渐发展的。人力为第一种动力形式。第二种动力形式为水力，在16世纪末以水轮带动轧辊轧制，18世纪前期用水轮装置驱动板材轧机，到18世纪末期出现了水轮装置带动的四辊轧机。随着蒸汽机的出现，蒸汽机成了第三种动力形式，如18世纪末用蒸汽机来传动镀锡板轧机。19世纪末出现了电机，由于它的优点，很快就成为轧机新的动力形式，到了20世纪40年代初，已经有了大容量变速直流电机驱动的宽带冷轧机装置〔2〕。

冷连轧机又称串列式冷轧机。第一套三机架四辊式冷连轧机首先于1924年在美国建成，阿姆科钢铁公司巴勒特厂(Bulter)建立了第一套四机架四辊式冷连轧机〔2〕。作为初期的轧机，它在技术上是非常原始的，在产量上和質量上也是比较低的。当时受到机架刚度、电机单独驱动及调速、轴承等技术的限制，在30年代冷连轧的发展滞后于单机冷

轧，此时所建造的轧机多是三机架或四机架的。为了能够生产更薄的板带，出现了五机架冷连轧机。60年代初期美国杨斯顿板管公司（Youngstown Sheet & Tube Co）建成世界上第一套六机架冷连轧机，其目的是为了生产厚度为0.086—0.09mm的较薄的镀锡原板〔3〕。以后日本、西德等也都安装了六机架连轧机。

带材的宽度在1893年以前最宽者仅为178mm，1905年时为406mm，1925年发展到914mm，此后宽度增长极为迅速，1927年为1220mm，1932年为1830mm，1938年即达到2337mm。带钢厚度与最大宽度极限范围，1937年时，当带钢最小厚度为0.25mm时，最大宽度为890mm，当厚度为0.92mm时，最大宽度为2337mm〔2〕。

早期冷轧机的速度很低，在1m/s以下，1930年为2m/s左右，1935年为5m/s，1940年达10m/s，1945年接近20m/s，1955年已到30m/s，1961年为35m/s，1970年最高轧制速度在六机架冷连轧机上达41.6m/s〔4，5〕。

近几十年冷轧板带生产有很大发展。1944年美国供直接使用的薄板全部采用冷轧方式生产，热轧板卷只用来做冷轧板带、焊管和冷弯型钢的原料。50年代末，苏联、西德和法国等国家的薄板55%以上都实现了冷轧方法生产。70年代以来这些国家（包括英、日在内）薄板基本全为冷轧方法生产〔4〕。70年代初期，日、法、意、西德等国曾致力于用热连轧机精轧机组增加8、9机架来生产1或0.8mm的薄带，但实践证明，从产品质量和设备重量来说这都是不可行的，因此到了70年代末期就放弃了这一方案，仍大力发展冷轧生产。

1.1.2 板带冷轧机的发展概况

如前所述，冷轧板带生产发展很迅速。1962—1979年世

表 1-1 1952—1979年世界一些国家冷轧机拥有和发展情况

国 别	1962年以前拥有 冷轧机套数(包 括在建轧机)			1962年—1972年 间增建冷轧机套数			1972年实有 冷轧机套数			1972年—1979年增 建冷轧机套数			1979年实有 冷轧机套数							
	连 轧 机	可 逆 式	合 计	连 轧 机	可 逆 式	合 计	连 轧 机	可 逆 式	合 计	连 轧 机	可 逆 式	合 计	连 轧 机	可 逆 式	合 计					
美 国	61	27	18	106	18	12	1	31	79	39	19	137	6	1	4	85	39	20	144	
日 本	9	14	7	30	14	9	22	45	23	23	29	75				23	23	29	75	
英 国	7	3	4	14	4	3	2	9	11	6	6	23	1	1	2	12	6	7	25	
法 国	4	2	9	15	2	8	8	18	6	10	17	33				6	10	17	33	
西 德	1	2	2	5	10	13	4	27	11	15	6	32	2	1	4	13	16	7	36	
苏 联	5	4	7	16	5			5	10	1	2	13	1	1	2	11	2	2	15	
加 拿 大	3	4		7		5	4	9	3	9	4	16				3	9	4	16	
以上合计	90	56	47	193	53	50	41	144	143	103	83	329	10	2	3	12	153	105	86	344
其他国家	6	15	9	30	34	34	3	71	40	52	17	109	9	2	11	49	52	19	120	
世界合计	96	71	56	223	87	84	44	215	183	155	100	438	19	2	5	202	157	105	464	

注:辊身长900mm以上的冷轧机。

界冷轧机情况见表1-1。

从表中看出，1962年以前的30多年时间里，全世界共建223套冷轧机，设备生产能力约6000万t/年。单机在各国都占有重要位置，除美国冷连轧机较多以外，其它各国多靠单机生产。1962年以后冷连轧机发展甚快，如西德1962年前仅有1套冷连轧机，4套单机，到1972年就拥有了11套连轧机和21套单机。日本在这10年中增加了14套连轧机和31套单机。全世界在这10年里所建冷连轧机数量与以前30多年所建的数量相近。一般都把60年代初作为发展第二代冷轧机的开始时间。到了1972年末全世界冷轧设备总生产能力可达1.45亿t/年，其中，连轧生产能力约为1.2亿t/年，约占总生产能力的80%。

1972年以后冷连轧机数量的增长很少，而单机增长量则更少，这说明冷轧生产已具有相当大的能力。80年代新建冷轧机2套，酸洗-轧机联合机组4套。新建轧机水平较高，一般把70年代初作为发展第三代轧机的开始时间，这一代轧机的特点为：采用全液压压下，实现自动化操作，采用板形控制系统，建立动态变规格的完全连续式轧机。

轧机型式特别是单机的轧机类型是多种多样的，它与产品的不同要求有关。

1. 四辊可逆带钢轧机

四辊可逆带钢轧机主要用来生产碳结钢或合金钢板带，它适于小批量多品种生产的要求，产量不大，投资较少。60年代以前曾大量建造，轧辊辊身长度大多为900—1700mm，但也有2030mm以上的。各国近年建造得不多，但这并不意味着这种轧机能被连轧或其它型式的轧机所取代，由于其固有的优点，再加上技术改造，使得这种轧机仍有相当强大的

生命力。

2. MKW轧机

这种轧机为德国施劳曼公司发明，美国也享有专利权。美国拥有六套，其中辊身长度为810—1400mm的五套，轧制速度最高达7.6m/s。这种轧机主要用以轧制特殊钢及高强度合金钢。近年来采用液压及自动控制等技术，使操作更为方便可靠。70年代中期，已出现这种轧机的四机架冷连轧机。我国也有这种轧机，并且一般把它叫做偏八辊轧机。

3. 二十辊轧机

从六辊到三十六辊的多辊轧机在冷轧生产中应用广泛，其中尤以二十辊轧机更为常用。

二十辊轧机有两种，一种是森吉米尔轧机（Sendzimir mill）为美国所发明，另一种是罗恩轧机（Rohn mill），为德国的专利。后者远不及前者应用广泛。根据1972年统计全世界共有森吉米尔轧机309台，最多的是美国，有139台，其次是日本，有54套。这种轧机主要用于轧制不锈钢、硅钢、合金钢等难变形金属及极薄带钢（可达0.001mm）。世界上96%以上的不锈带钢是由这种轧机轧制的。表1-2所示为美国这类轧机的宽度，可见中小宽度者居多。美、日各有

表 1-2 美二十辊轧机宽度统计表

轧机宽度 (mm)	套 数	所占百分数 %
—380	66	47
380—760	44	32
760—1270	18	13
1270—1528	11	8

一套这种冷连轧机。

4. 其它型式轧机

虽然冷轧生产中四辊轧机应用占有优势，但仍不断出现一些新型结构的冷轧机：

(a) HC轧机。这种轧机是日本日立公司在70年代研制的，它的特点是支撑辊与工作辊之间有一中间辊，可做轴向移动，这对改善板型和边部厚差有利，理论上可提高收得率1%，1978年在一套六机架冷连轧机上实际提高收得率0.5—0.6%。

(b) 异步轧机。这种轧机最早由我国西南钢铁研究院和鞍山冷带厂于60年代初提出，而后北京钢铁学院（现北京科技大学）与北京第三轧钢厂及东北工学院都相继建立了异步实验轧机。其基本原理是靠机械或电气的方法造成两工作辊的线速度差，改变变形区中的应力状态，使摩擦力不再起阻力作用。与同类轧机相比，它可轧制更薄的带材，同时还有板型好、精度高、降低轧制压力等优点。70年代期间各国相继开始了试验研究，如苏联提出了“ПB”法（轧制-拉拔方法）工艺，日本又在ПB法基础上进行改良，提出了“IPV”工艺，现在引起了各国轧钢工作者的注目。

(c) 箔材轧机。各种金属早已被轧成极薄规格（0.0025—0.025mm）应用在包装、电容器制造等工业部门，其宽度仅几十到一、二百毫米即可满足要求。但近年来，随着厚度为0.038mm、宽为760mm的钢箔材的商品化，已有专门设计的箔材轧机出现并已安装使用〔2〕。

此外，还有美国60年代出现的泰勒（Tayler）轧机，但未能生产中推广。我国近年设计的偏六辊轧机，目前尚处于试验阶段，等等。这些轧机这里就不多介绍了。