

# 冷轧带钢生产

TG335.5

14

2:1

# 冷轧带钢生产

上册

W.L. 罗伯茨

冶金工业出版社



B 235632

TG335.5

14

3:2

# 冷轧带钢生产

下 册

W.L. 罗伯茨 著

王廷溥 潘大炜 田 异等译

by 06/21

冶金工业出版社



B

042280

(京)新登字036号

**内 容 提 要**

《冷轧带钢生产》是作者W.L.罗伯茨以他自己多年来的大量生产实践数据为基础编写的一本全面反映现代带钢冷轧技术的专门著作。内容包括十二章：轧制的历史，冷轧机的各种型式，冷轧机的组成部件，轧辊及其轴承，冷轧机的仪表装置与自动控制，冷轧润滑，冷轧过程的热行为，钢的物理性质和变形性能，轧制力的数学模型，转矩方程与连轧机的控制模型，板形的测量与控制，带钢的性能及进一步加工。

中译本分上下两册出版，上册（已于1985年出版）包括前七章，下册包括后五章。本书下册第八章由王力平、张士彦翻译，第九章由王廷溥翻译，第十、十一章由潘大炜翻译，第十二章由田异翻译。

本书曾于美国和墨西哥作为冷轧和轧制润滑教材，在我国可作为金属压力加工专业大学生和研究生的参考书，也适用于培训冷轧操作人员和技术管理人员。

**冷 轧 带 钢 生 产**

**下 册**

W.L.罗伯茨 著

王廷溥 潘大炜 田 异 等译

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39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 1/16 印张24 1/2 字数 583 千字

1991年11月第一版 1991年11月第一次印刷

印数00,001~1,500册

ISBN 7-5024-0846-0

TF·196 定价17.60元

## 序 言

尽管用轧制法生产的轧材产量比用任何其他金属加工方法都多，但是迄今为止仅出版了为数不多的关于轧制变形的书籍。绝大多数已出版的关于轧制变形的著作现已绝版，难于得到，而且毫无疑问，这些书未能反映当代轧制技术的状况。此外，一些作者都感到必须在更广的范围内论述轧制变形这个课题，包括钢及有色金属的热轧与冷轧这两方面的内容。涉及范围如此之广，自然限制了可能研究的深度，因为从中难得找到关于轧辊冷却、轧制润滑及产品形状这些题目的参考资料。

据此，我认为应该撰写一本反映当前情况的关于轧制的书，而且其内容应尽可能详细。本书就是这样写成的，目的是想为学习金属加工的大学生、轧机设计和制造人员、操作人员、冷轧产品的用户以及对此有兴趣的任何人员提供尽可能多的轧制技术方面的知识。

读者将会注意到，本书基本上是一部已出版的技术文献的摘要。本书内容向读者提供了冷轧的历史、现用的设备、轧制润滑的作用、金属变形时的热行为与冶金特征、有关轧制力和所需功率的数学模型、板型问题以及冷轧带钢的后步工序。对于希望更详细地了解这方面课题的读者，还列举了大量的参考文献。

本书的手稿已在美国和墨西哥被用作冷轧和轧制润滑的教材。希望本书出版后将得到更广泛的使用，不仅作为教材，而且也作为冷轧技术的参考书和文献总目。

W.L. 罗伯茨

## 译者的话

《冷轧带钢生产》是根据美国马塞尔·德克尔 (Marcel Dekker) 公司1978年出版的罗伯茨 (William L. Roberts) 所著“Cold Rolling of Steel”一书翻译的。该书全面地介绍了冷轧带钢的生产过程及有关技术问题, 内容共分十二章, 包括冷轧的历史、常用的冷轧设备、轧制过程的润滑与冷却、轧件冷轧时的热行为和冶金性能、轧制力及轧制功率的数学模型、板型控制及冷轧带钢的后部精整处理等。本书的手稿曾用作冷轧和轧制润滑课程的课本, 正式出版以后, 它不仅可作为培训冷轧操作人员和技术管理人员的教材, 也可作为金属加工专业大学生和研究生的重要参考书; 它不仅对钢材生产者讲述了产品质量与操作条件的关系, 也对钢材用户提供了有关各种带钢生产过程的知识。

本书作者W.L. 罗伯茨先生曾任职于美国西屋电气公司、国际电话与电报公司和英国电信科学研究中心, 目前任美国钢铁公司钢铁(情报)研究所总工程师, 并受聘于美国一些钢铁公司带钢厂任顾问。他长期从事钢铁工业及钢材轧制技术的研究与开发工作, 对于钢材的冷轧技术, 尤其是轧制润滑、轧制力及能耗数学模型等的研究更为专长, 发表过大量有关钢材冷轧技术的论文, 其中多篇曾获得美国钢铁学会及钢铁工程师协会的奖金, 更可贵的是他的研究成果很多都直接应用于生产并得到大量生产数据的验证。本书总结了作者过去的研究成果, 并综括了现代有关带钢冷轧技术的主要成就, 对于工程技术人员和有关研究人员都有参考价值。

本书第一、六、七、八和九章由王廷溥翻译, 第三、四、五、十和十一章由潘大炜翻译, 第二和十二章由田异翻译。限于译者水平, 译文难免有误, 望读者批评指正。

## 内 容 提 要

《冷轧带钢生产》是作者W.L.罗伯茨以他自己多年来的大量生产实践数据为基础编写的一本全面反映现代带钢冷轧技术的专门著作。内容包括十二章：轧制的历史，冷轧机的各种型式，冷轧机的组成部件，轧辊及其轴承，冷轧机的仪表装置与自动控制，冷轧润滑，冷轧过程的热行为，钢的物理性能和变形时的特征，轧制力的数学模型，力矩方程和连轧机的控制方式，板型测量及其控制，冷轧带钢的性能及后步工序。

中译本分上下两册出版，上册包括前七章，下册包括后五章。

本书曾于美国和墨西哥作为冷轧和轧制润滑教材，在我国可作为金属压力加工专业大学生和研究生的参考书，也适用于培训冷轧操作人员和技术管理人员。

## 冷 轧 带 钢 生 产

### 上 册

W.L. 罗伯茨

\*

冶金工业出版社出版

(北京市灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

\*

787×1092 1/16 印张 24 3/4 字数 592 千字

1985年3月第一版 1985年3月第一次印刷

印数00,001~3,300册

统一书号：15062·4078 定价5.55元

## 内 容 提 要

《冷轧带钢生产》是作者W.L.罗伯茨以他自己多年来的大量生产实践数据为基础编写的一本全面反映现代带钢冷轧技术的专门著作。内容包括十二章：轧制的历史，冷轧机的各种型式，冷轧机的组成部件，轧辊及其轴承，冷轧机的仪表装置与自动控制，冷轧润滑，冷轧过程的热行为，钢的物理性能和变形时的特征，轧制力的数学模型，力矩方程和连轧机的控制方式，板型测量及其控制，冷轧带钢的性能及后步工序。

中译本分上下两册出版，上册包括前七章，下册包括后五章。

本书曾于美国和墨西哥作为冷轧和轧制润滑教材，在我国可作为金属压力加工专业大学生和研究生的参考书，也适用于培训冷轧操作人员和技术管理人员。

## 冷 轧 带 钢 生 产

### 上 册

W.L. 罗伯茨

\*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

\*

787×1092 1/16 印张 24 3/4 字数 592 千字

1985年3月第一版 1985年3月第一次印刷

印数00,001~3,300册

统一书号：15062·4078 定价5.55元



# 上册目录

<b>第一章 轧制的历史</b> .....	1	3-8 工作辊换辊装置	73
1-1 轧制的早期历史	1	3-9 轧机的保护装置	75
1-2 欧洲热轧钢的后期发展	5	3-10 轧辊的冷却与润滑系统	77
1-3 美国早期的轧钢生产	8	3-11 联接轴与联轴节	78
1-4 轧机的动力来源	11	3-12 人字齿轮	80
1-5 冷轧的历史发展	13	3-13 齿轮箱	81
1-6 现代的一次冷轧设备	14	3-14 主联接器	83
1-7 二次冷轧机	18	3-15 直流驱动电机	84
1-8 箔材轧机	19	3-16 交流电动机	86
1-9 平整或光整轧机	19	3-17 给轧机电动机供电的电动—发电机组	88
<b>第二章 冷轧机的各种型式</b> .....	21	3-18 直流电动机的静止式供电系统	89
2-1 引言	21	3-19 交流电动机的静止式供电系统	92
2-2 二辊轧机	22	3-20 惰辊与张力辊系	93
2-3 三辊轧机	23	3-21 带卷箱与拆卷机	95
2-4 普通四辊轧机	23	3-22 卷取机	97
2-5 斯特克尔式轧机	25	3-23 带卷输送设备	99
2-6 弗罗林小弹性变形轧机	26	3-24 轧机的仪表装置	101
2-7 预应力四辊冷轧机	27	3-25 操作控制	102
2-8 施罗曼轧机	30	<b>第四章 轧辊及其轴承</b> .....	104
2-9 Y型轧机	32	4-1 引言	104
2-10 六辊式轧机	33	4-2 轧辊的化学成分	104
2-11 罗恩型多辊轧机和森吉米尔轧机	34	4-3 轧辊的尺寸	106
2-12 连续式轧机	38	4-4 套筒式轧辊的设计	107
2-13 连续式薄板轧机	41	4-5 轧辊的铸模	109
2-14 轧制镀锡板用的连续式轧机	42	4-6 轧辊铸造中的熔注技术	110
2-15 全连续式冷轧机	46	4-7 锻辊及锻制辊套的生产	111
2-16 平整或光整轧机	50	4-8 铸钢轧辊的热处理	114
2-17 二次冷轧机	53	4-9 锻钢轧辊的热处理	114
2-18 箔材轧机	56	4-10 锻钢轧辊的重修	118
2-19 可逆式冷轧机	58	4-11 轧辊的研磨	120
<b>第三章 冷轧机的组成部件</b> .....	62	4-12 轧辊的毛面加工	122
3-1 引言	62	4-13 辊径的测量与配对	124
3-2 工作辊及其轴承	63	4-14 轧辊的表面光洁度及其测量	125
3-3 支持辊及其轴承	64	4-15 辊面硬度的测量	129
3-4 轧机牌坊	66	4-16 用于辊面研究的复制模技术	131
3-5 轧机的基础	69	4-17 轧辊中的应力	131
3-6 轧辊平衡系统	70	4-18 轧辊中的残余应力	132
3-7 轧辊的调位系统	71	4-19 用实测应变值计算残余应力	135

4-20 轧辊的热应力	137	5-24 模—数转换	207
4-21 工作辊与支持辊之间的接触应力	138	5-25 数据累积系统	208
4-22 轧辊因弯曲和剪切引起的挠度	140	5-26 自动控制系统	211
4-23 轧辊挠度的抵偿	143	5-27 可逆式轧机的自动减速与停车装置	212
4-24 辊颈的应力集中	144	5-28 厚度自动控制 (AGC) 系统	213
4-25 轧辊在投入使用前及在使用中发生的损坏	146	5-29 单机架轧机的AGC系统	214
4-26 时效开裂	148	5-30 用于连轧机的AGC系统	215
4-27 轧辊掉皮	149	5-31 平整机延伸率的自动控制	218
4-28 源于轧辊中孔的轧辊疲劳破坏	155	5-32 恒定带材送入角控制	219
4-29 轧辊的磨损	156	5-33 带材引导系统	220
4-30 提高支持辊寿命的实际措施	157	5-34 预排程序的控制系统	221
4-31 采用压光与镀铬办法延长轧辊寿命	159	5-35 计算机控制系统	222
4-32 轧辊的轴承座	160	5-36 数字计算机控制系统	223
4-33 滚动轴承	162	5-37 模拟计算机控制系统	226
4-34 滚动轴承的润滑	168	<b>第六章 冷轧润滑</b>	229
4-35 套筒式 (油膜) 轴承	170	6-1 引言	229
4-36 油膜轴承的润滑	172	6-2 辊缝中摩擦的必要性	230
4-37 辊颈轴承的密封	173	6-3 辊缝中剩余摩擦的作用	233
<b>第五章 冷轧机的仪表装置与自动控制</b>	176	6-4 干轧时的摩擦条件	234
5-1 合用仪表装置的效用	176	6-5 理想轧制润滑剂的特性	237
5-2 仪表及控制装置的设立地点	176	6-6 用水作为轧制润滑剂	238
5-3 电压表与电流表	177	6-7 常用的轧制润滑剂	239
5-4 测速计	180	6-8 施加轧制润滑剂的方法	242
5-5 轧辊位置与轧辊开度指示器	181	6-9 热轧带钢酸洗后的涂油	245
5-6 轧制力测量系统	185	6-10 薄板轧机的轧制润滑剂	247
5-7 轧机牌坊应力的测量	186	6-11 镀锡板连轧机的轧制润滑剂	247
5-8 采用应变片的压头	186	6-12 不锈钢和硅钢冷轧用的润滑剂	248
5-9 压磁式压头	188	6-13 镀层产品轧制中的润滑	249
5-10 转矩监测装置	190	6-14 轧辊磨损及轧辊镀层的利用	252
5-11 对液压系统的监测	190	6-15 循环乳化液中发生的变化	254
5-12 对轧制液的监测	193	6-16 润滑剂对所轧带钢表面光洁度的影响	256
5-13 所轧带材的厚度测量	193	6-17 润滑剂对所轧带钢板型的影响	259
5-14 西姆斯测厚法	194	6-18 带钢上的残留油膜	261
5-15 连续式接触测厚仪	195	6-19 润滑剂评价的标准	264
5-16 X射线测厚仪	197	6-20 在实验轧机上润滑剂的综合评价	264
5-17 放射性同位素测厚仪	198	6-21 轧制时摩擦系数的直接测定	268
5-18 延伸率计	201	6-22 前滑为零时测量摩擦系数	270
5-19 张力仪	202	6-23 在一定的前滑条件下计算摩擦系数	273
5-20 辊缝中前滑的测量	204	6-24 由轧制力和带钢试验数据计算摩擦系数	275
5-21 带卷的测量系统	204	6-25 在台式试验机上测定摩擦系数和承载能力	281
5-22 轧机数据的记录	205		
5-23 纸带式笔录装置	206		

6-26 倾点、粘度和粘度指数·····	290	7-7 工作辊的预热·····	327
6-27 油的表面张力和乳化液的冷却性能·····	296	7-8 传热的基本原理·····	330
6-28 皂化值、碘值、过氧化物值、pH 值和自由脂肪酸含量·····	297	7-9 由带钢到轧辊的热传输·····	334
6-29 影响摩擦系数的润滑剂性能·····	299	7-10 静止轧辊的空气冷却·····	337
6-30 摩擦系数与各种轧制参数的依存 关系·····	301	7-11 转动轧辊的空气冷却·····	339
6-31 润滑剂的摩擦特性·····	308	7-12 水和轧制液自轧辊带走的热量·····	343
6-32 金属镀层对摩擦特性的影响·····	311	7-13 工作辊—支持辊接触处的热传输·····	346
6-33 乳化液稳定指数及其测定·····	313	7-14 工作辊的温度测量·····	347
6-34 乳化液化学稳定性试验·····	314	7-15 支持辊的温度测量·····	349
6-35 润滑剂的可清除性和焚除性·····	316	7-16 轧制带钢的冷却·····	351
<b>第七章 冷轧过程的热行为</b> ·····	317	7-17 冷轧过程的热平衡(单机可逆 轧机)·····	357
7-1 引言·····	317	7-18 连轧机的温度模型·····	362
7-2 带钢塑性变形时的能量消耗·····	317	7-19 能维持适当冷却的最小工作辊径·····	366
7-3 消耗于辊缝的摩擦能量·····	321	7-20 喷嘴和集液管设计·····	369
7-4 轧辊轴承和机架上的其他能量损失·····	322	7-21 直接式润滑系统·····	372
7-5 辊缝中的最高温度·····	324	7-22 循环润滑系统·····	374
7-6 轧辊与带钢之间摩擦能量的分配·····	326	7-23 循环润滑系统用的过滤器·····	377
		<b>上册参考文献</b> ·····	381

# 下册目录

## 第八章 钢的物理性质和变形

性能	389
8-1 引言	389
8-2 铁及其性能	389
8-3 板带轧制中所用各种型号的钢	393
8-4 钢在冷轧前的加工处理	398
8-5 结晶方向和晶面(密勒指数)	402
8-6 晶体点阵的结构缺陷	405
8-7 晶粒结构	410
8-8 晶粒内的亚晶界和晶胞	413
8-9 铁的合金	415
8-10 铁-碳平衡相图	417
8-11 奥氏体	419
8-12 奥氏体的分解	422
8-13 珠光体和贝氏体	424
8-14 马氏体	425
8-15 不锈钢	427
8-16 磁性合金	431
8-17 应力	433
8-18 应变	435
8-19 弹性应力-应变的关系	437
8-20 塑性变形中的物理机制	441
8-21 bcc和fcc结构中的滑移面和滑移方向	443
8-22 钢中轧制组织的形成	444
8-23 塑性变形的应力-应变关系	445
8-24 滑移线场理论	446
8-25 工件的条件屈服强度	447
8-26 低应变速率下屈服应力的测定	448
8-27 温度对屈服强度的影响	451
8-28 显微组织对屈服强度的影响	453
8-29 应变速率对屈服强度的影	

响	455
8-30 高应变速率下屈服强度的测量	458
8-31 动态屈服的理论状况	459
8-32 应力-应变(加工硬化)曲线	461
8-33 剪应力与结晶方向的关系	465
8-34 加工硬化的理论问题	467
8-35 变形能	468
8-36 储能及其释放	469
<b>第九章 轧制力的数学模型</b>	<b>471</b>
9-1 引言	471
9-2 有关轧制润滑的假设	472
9-3 冷轧中的应变速率	473
9-4 变形轧件的特性	474
9-5 工作辊的弹性压扁	474
9-6 接触弧长度和变形后轧辊直径的希契科克表达式	477
9-7 希契科克方程的可用性	482
9-8 研制轧制模型时常用的假设	486
9-9 压力沿接触弧的分布(卡尔曼方程)	487
9-10 卡尔曼方程的史密斯解和采利可夫解	489
9-11 卡尔曼方程的纳达依解	495
9-12 奥罗万理论	498
9-13 布兰德和福特的近似理论	503
9-14 乔特纳的分析	507
9-15 基于乔特纳理论的更复杂的模型	510
9-16 单位轧制力的直接计算方法	516
9-17 假定单位压力沿接触弧长均匀分布的简单模型	520
9-18 简化的摩擦峰模型	524

9-19	平整轧制的近似理论	528
9-20	根据塑流动力润滑建立的轧制模型	531
9-21	轧件被认为是运动中的一种粘性物质	539
9-22	平板轧制的剪切平面理论	542
9-23	轧制力模型应用中的经验	546
9-24	斯通的最小厚度公式	550
9-25	最小厚度的其他公式	555
<b>第十章 转矩方程与连轧机控制模型</b>		
10-1	引言	559
10-2	预报轧机所需功率的经验方法	560
10-3	用力臂法计算轧制功率	562
10-4	由接触弧上的摩擦应力计算转矩	564
10-5	布兰德与福特的解	565
10-6	希尔解法	569
10-7	西姆斯图解法	572
10-8	通过分解作用在带材上的力确定转矩	573
10-9	由轧制过程的能量平衡计算转矩	575
10-10	按剪切平面理论推导转矩	577
10-11	当轧件为粘性体时的转矩	578
10-12	平整轧制时的转矩	579
10-13	轧制过程的效率	583
10-14	带材的前滑	585
10-15	在接近最小摩擦条件下带材的前滑	589
10-16	轧机所需驱动功率的计算	593
10-17	轧机主电动机的选择	597
10-18	卷取机电动机的选择	600
10-19	连轧机诸工作参数的相互关系	601
10-20	扰动方程组中诸系数的求值	603
10-21	二机架轧机方程	607
10-22	三机架轧机方程	609

10-23	五机架式机组方程	613
10-24	美坂的连轧机控制方程	617
10-25	连轧机动态特性的分析	634
<b>第十一章 板形的测量与控制</b>		
制		
11-1	板形的含义和重要性	646
11-2	标准厚度、旁弯和平直度公差	646
11-3	热轧带坯的板形	648
11-4	鼓起缺陷	650
11-5	冷轧产品中的残余应力及其对板形的影响	652
11-6	变形不均及其对板形的影响	654
11-7	板形缺陷的各种不同形式	654
11-8	打卷或翘曲	656
11-9	瓦形与勾边	658
11-10	拧劲儿	659
11-11	中部浪瓢	659
11-12	边浪、二肋浪与凹兜儿	660
11-13	旁弯或镰刀弯	661
11-14	带材波形度的量化	663
11-15	板形缺陷的监测	664
11-16	皮尔逊的板形测量法	665
11-17	BISRA机械式板形仪	666
11-18	一种光学板形检测系统	669
11-19	用辊子直接测量拉应力的方法监测板形	670
11-20	应力计	673
11-21	磁力板形监测仪	676
11-22	冷轧中的板形控制	681
11-23	厚度和板形的分别控制	683
11-24	工作辊弯辊	685
11-25	支持辊弯辊	687
11-26	工作辊弯辊和支持辊弯辊的效能比较	692
11-27	采用挠性工作辊和背衬支承轴承的平直度控制	693
11-28	利用一个工作辊的水平弯曲控制平直度	694
11-29	其他板形控制方法	696
11-30	板形控制的自动化系统	698
11-31	轧制后得到的平直度	700

11-32 辊式矫直·····	700	之间的关系·····	726
11-33 连续拉伸矫直·····	702	12-14 平整·····	728
11-34 张力矫直·····	704	12-15 应变时效·····	730
11-35 其他形式的矫直机·····	705	12-16 薄板标准·····	732
11-36 各种矫直技术对带材的 宽度和表面状况的影响·····	706	12-17 带钢的表面缺陷·····	733
<b>第十二章 带钢的性能及进</b>		12-18 二次冷轧·····	737
<b>一步加工·····</b>	708	12-19 箔材生产·····	737
12-1 冷轧对带钢性能及后步加 工的影响·····	708	12-20 剪切、切边和纵切·····	739
12-2 轧制润滑液残留物及其去 除·····	708	12-21 板带的涂镀·····	742
12-3 所轧带钢的显微组织·····	710	12-22 镀锡工艺·····	743
12-4 轧制的结晶结构·····	711	12-23 镀铬板带钢的生产·····	747
12-5 带钢的加工硬化·····	712	12-24 镀锌工艺·····	749
12-6 回复·····	713	12-25 镀铅锡合金·····	751
12-7 退火与常化·····	714	12-26 带钢的连续镀铝·····	752
12-8 退火和正火设备·····	716	12-27 带钢涂漆与涂有机材料·····	754
12-9 淬火时效·····	722	12-28 板带压花·····	757
12-10 退火后的结晶结构·····	723	12-29 冷弯成型·····	759
12-11 合金元素对退火结晶结 构的影响·····	724	12-30 电工硅钢薄板·····	760
12-12 塑性应变率及其测量·····	724	12-31 不锈钢带的生产·····	761
12-13 结晶结构与塑性应变率 之间的关系·····	726	12-32 表面光洁度及其对可成 形性和最终外观的影响·····	763
		12-33 成形润滑剂在钢铁产品 中的应用·····	764
		<b>下册参考文献·····</b>	765

# 第一章 轧制的历史

## 1-1 轧制的早期历史

最初，平板材料的轧制无疑只局限于那些具有足够的延展性而适于冷加工的金属，并且，可能首先是由金匠或由那些制造珠宝首饰或工艺品的人来从事此种工作<sup>[1]</sup>。然而，正如很多其他重要加工过程的情形一样，金属的轧制也不可能追溯出某一个单独的发明家来<sup>[2,3]</sup>。

在十四世纪，曾用手工驱动直径约12.7毫米的小辊去辗平金、银(或铅)薄片。但是，第一台已有记录的真正轧机是1480年达·芬奇 (Leonard da Vinci) 设计的轧机 (参看图1-1及图1-2)。在他的笔记中，画出两台由蜗轮驱动的用以轧制铅板的轧机，还画出一台采用一个模子和一个螺线形轧辊以生产锥形铅棒的机器。然而，没有证明这些机器曾否制造过。可以相当可靠地肯定，在十六世纪中叶以前，金属的轧制并无任何重要作用。

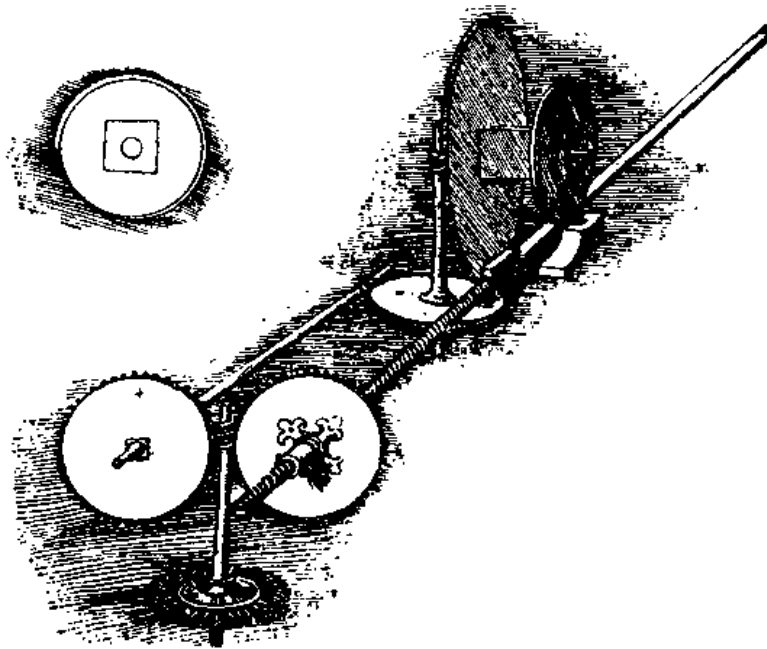


图 1-1 轧制用于彩色玻璃窗户的铅棒的机器示意图  
(达·芬奇所画)

但在十六世纪末叶以前，已经知道至少有两台体现了基本轧制思想的机器投入生产。一个名叫布吕利埃 (Brulier) 的法国人，在1553年轧制了金和银的板片，以便获得均匀的厚度，用以制造货币。1581年在波普造币厂 (Pope's mint)，1587年在西班牙及1599年在意大利的佛罗伦萨市<sup>[3]</sup>都曾用轧机轧制过造币用的板片。在1578年布尔默 (Bevis Bulmer) 曾经获得一台纵剪机的专利，它包括多个安装在两根轴上的圆盘 (一根在另一根之上)，其结构可将在转动着的圆盘之间通过的扁坯纵切成带材。1590年比利时列日人德博希 (Godefroi de Bochs) 在英国肯特郡的达特福特市建立了一台这种型式的轧机。

在同一时期，铅也开始日益用作屋顶、防雨板、水槽及其他用途。法国人德科斯

(Salomon de Caus) 于1615年建立了一台手工操作的轧机，以轧制用于制造风琴管的铅与锡的板片。如图1-3所示，借用与下辊相联的“强臂十字”使轧辊转动<sup>[1]</sup>。

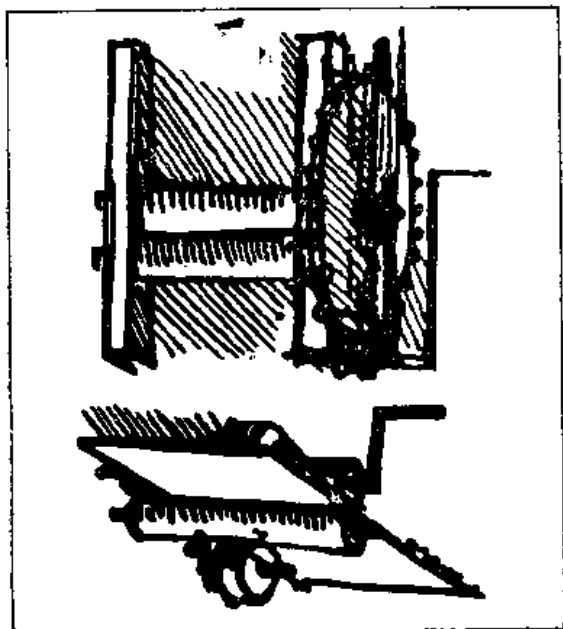


图 1-2 公元1495年左右达·芬奇的轧机示意图

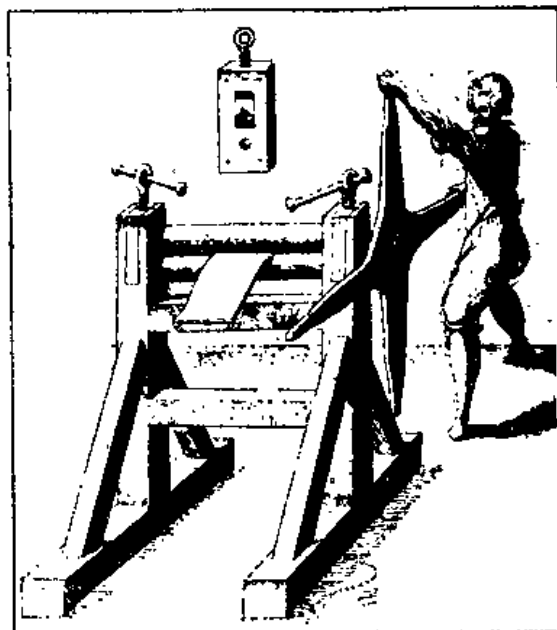


图 1-3 德科斯建立的轧制铅板的轧机

除开上述布尔默的纵剪机之外，所有这些早期设备大抵都是在室温下轧制较软金属的。约翰逊 (Johannsen) 在“铁的历史” (Geschichte des Eisens) 中说道：“在铁工厂中采用轧辊是十六世纪在德国出现的。比利时和英国大约在同时开始使用轧辊，它们有时被列为轧制的诞生地”。大约在同一时间，有三个国家可能都达到这种成就，但除了十六世纪的纵剪机之外，其他并无任何史料可以证明，更搞不清哪个国家明确地领先。据所得到的资料表明，在铁的轧制方面，英国是领先的。在十七世纪前半叶，并无有关轧制进展的记录可查，但是我们知道，1665年在布里斯托尔附近的比统教区 (Parish of Bitton) 曾有一台轧机工作过，据说从1666年以后，铁可轧成薄板以用于纵剪<sup>[2]</sup>。

在此时期，对棒材轧制已有所启示，但并未实现。在1679年发表了用轧制法精制螺栓的专利；在1680年曾将棒材经过平面轧辊以平除其不规则形状。但在1725年出版的小册子《英国铁业》 (British Iron Trade) 中却说，即使在那时，所有的棒材都是锻造的。

然而，到1682年在英格兰纽卡斯尔附近的文赖通 (Winlton) 和斯瓦维尔 (Swalwell) 曾有用于热轧铁料的大型轧机投入生产。用这些轧机将棒材轧成板材，再用纵剪机将板材切成铁棍。此后不久，在威尔上的庞蒂普尔，汉伯里 (John Hanbury) 开始在他的铁工厂里以一台轧机单独用做生产薄铁板的机器，威德 (Edward Llwyd) 在1697年6月15日的一封信中写道：“庞蒂普尔的汉伯里少校对我们宣示了他自己的一个出色发明，将熟铁（借助于以水力驱动的轧机）加工成像锡那么薄的板子……。他们将普通的铁棒切成约609毫米长的坯料，加热至灼热状态，把它们放在这些铁轧辊之间，不是交叉，而是使其端部与轧辊的端部处于同一方位（亦即使二者轴线平行）。用水力驱动的轧辊将这些棒加工成薄板，使铁棒大约100毫米的宽度变成薄板的长度，延伸到大约1219毫米，而原来棒材的长度现在变成了板材的宽度”<sup>[4]</sup>。

虽然汉伯里少校设计了信中所描述的如图1-4所示的轧机，但不能证明是他首创了将



棒材热轧成薄板的思想，因为可以相信，到1660年，这种生产实践在整个欧洲是普遍的，并在该世纪早期已为德国所知晓。毕竟自1620年以后不久，直至1720年以前某个时候汉伯里少校在此庞蒂普尔工厂开始制造镀锡板为止，德国垄断了日益增长的英国镀锡板市场<sup>[5]</sup>。此后150多年，威尔士成为镀锡板和镀铅锡板的主要源地。

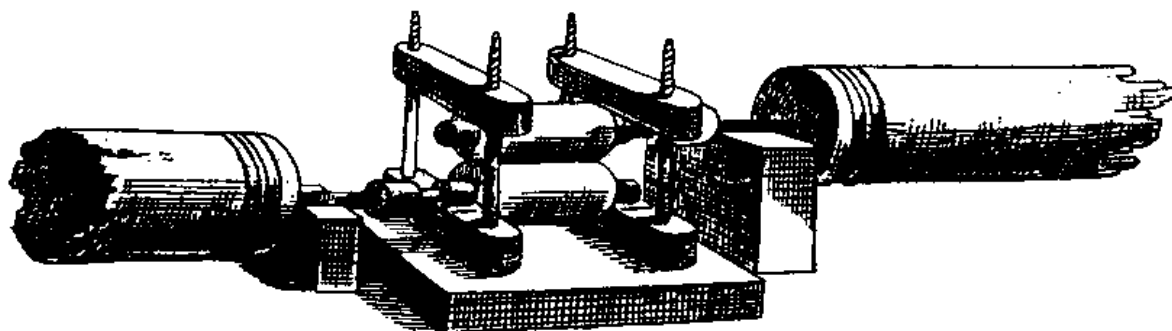


图 1-4 汉伯里用以轧制做镀锡板的铁板的轧机

在十八世纪早期，无疑的，轧机已普遍使用于英格兰和欧洲。大约在此时，瑞典的伟大力学天才波尔希姆 (Christopher Polhem) (1720~1746) 写过关于轧机的文章，而在他的文章中是假定他的读者已经熟悉轧机的。波尔希姆自己设计了一架十分相似于现代劳特轧机的轧机，只是他采用了四个轧辊，并用支持辊驱动。

一台真正预示以后轧机形状的“轧制铅板的机器”于1728年由英格兰引入法兰西。此轧机如图1-5所示，装有长为1.52米及直径为304.8毫米的轧辊，前后有7315毫米长的辊道。它是一台可逆式轧机，用离合器和齿轮系统控制，它与当时通用的轧机设计根本不同。平辊可以用其它刻槽的轧辊替换，这种轧辊点径为406毫米，具有直径为101.6~50.8毫米的轧槽，用它在在一个芯棒上将空心铅锭轧成管子。

1728年在英格兰佩恩 (John Payne) 发表了一项专利，用轧机将锻制棒材轧成所需要的形状。可是，佩恩的想法 (示于图1-6) 似乎并未变为实践。但是，棒材和型材的轧制对钢的制造者是有兴趣的，并且似乎已经实践过。例如，在1747年法国科学院曾任命一个委员会，访问在法国埃松的一台轧制铁棒的新轧机<sup>[2]</sup>在这个时候，利用冷轧抛光镀锡用的铁板的作法也在流行<sup>[3]</sup>。1759年，一项关于“抛光及轧制金属”的专利被授予英格兰的布洛克莱 (Thomas Blockley)，它确切地说，归结起来，实际就是使用者可按照需要对轧辊进行刻槽。1766年另一个英国人珀内尔 (John Purnell) 接受了一项有关刻槽的轧辊的专利，利用成对的齿轮箱使轧辊协调一致地转动 (见图1-7)。一直到这个时候以前，轧辊都是单独驱动的，不相等的转动速率引起轧辊过度磨损，也使得在每个轧辊的两侧有必要安置导板。

在此同一时期内，这些热轧机的一般外貌开始改变成现代的形式。例如，铸造的牌坊和轧机每边的单独螺丝，都在1783年普莱菲尔德 (William Playfield) 所提出的英国专利说明中描述了特点<sup>[2]</sup> (见图1-8)。

在手工锻造镀锡板的原板制造中，已经有同时锻造几层金属的实践。因此，当轧机开始用来生产镀锡板的原板时，大约在1756年，在实践中便将经一定延伸后的两张板片重叠起来，再继续进行此双重厚度的金属的轧制。有时，在此种“叠轧”或“多层轧”的生产中，进行重复折叠，以致可同时轧制四重厚的钢料。