

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

(北京北河沿大街黄校院北巷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道工序。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, 并总结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

第一章 轧制的历史 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
第二章 冷轧机的各种型式 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	第四章 轧辊及其轴承 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 轧制镀锌板用的连续式轧机..... 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
第三章 冷轧机的组成部件 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 预排程序的控制系統	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	第六章 冷轧润滑	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
第五章 冷轧机的仪表装置与自动控制	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 镀锌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
第七章 冷轧过程的热行为	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
		上册参考文献	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
第九章 轧制力的数学模型	471
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	10-23	五机架式机组方程	613
9-20	根据塑流动力润滑建立的轧制模型	531	10-24	美板的连轧机控制方程	617
9-21	轧件被认为是运动中的一种粘性物质	539	10-25	连轧机动态特性的分析	634
9-22	平板轧制的剪切平面理论	542	第十一章 板形的测量与控制		
9-23	轧制力模型应用中的经验	546	制		
9-24	斯通的最小厚度公式	550	11-1	板形的含义和重要性	646
9-25	最小厚度的其他公式	555	11-2	标准厚度、旁弯和平直度公差	646
第十章 转矩方程与连轧机控制模型			11-3	热轧带坯的板形	648
10-1	引言	559	11-4	鼓起缺陷	650
10-2	预报轧机所需功率的经验方法	560	11-5	冷轧产品中的残余应力及其对板形的影响	652
10-3	用力臂法计算轧制功率	562	11-6	变形不均及其对板形的影响	654
10-4	由接触弧上的摩擦应力计算转矩	564	11-7	板形缺陷的各种不同形式	654
10-5	布兰德与福特的解	565	11-8	打卷或翘曲	656
10-6	希尔解法	569	11-9	瓦形与勾边	658
10-7	西姆斯图解法	572	11-10	拧劲儿	659
10-8	通过分解作用在带材上的力确定转矩	573	11-11	中部浪瓢	659
10-9	由轧制过程的能量平衡计算转矩	575	11-12	边浪、二肋浪与凹兜儿	660
10-10	按剪切平面理论推导转矩	577	11-13	旁弯或镰刀弯	661
10-11	当轧件为粘性体时的转矩	578	11-14	带材被形度的定量化	663
10-12	平整轧制时的转矩	579	11-15	板形缺陷的监测	664
10-13	轧制过程的效率	583	11-16	皮尔逊的板形测量法	665
10-14	带材的前滑	585	11-17	BISRA机械式板形仪	666
10-15	在接近最小摩擦条件下带材的前滑	589	11-18	一种光学板形检测系统	669
10-16	轧机所需驱动功率的计算	593	11-19	用辊子直接测量拉应力的方法监测板形	670
10-17	轧机主电动机的选择	597	11-20	应力计	673
10-18	卷取机电动机的选择	600	11-21	磁力板形监测仪	676
10-19	连轧机诸工作参数的相互关系	601	11-22	冷轧中的板形控制	681
10-20	扰动方程组中诸系数的求值	603	11-23	厚度和板形的分别控制	683
10-21	二机架轧机方程	607	11-24	工作辊弯辊	685
10-22	三机架轧机方程	609	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
11-33	连续拉伸矫直	702
11-34	张力矫直	704
11-35	其他形式的矫直机	705
11-36	各种矫直技术对带材的 宽度和表面状况的影响	706
第十二章 带钢的性能及进		
一步加工		
12-1	冷轧对带钢性能及后步加 工的影响	708
12-2	轧制润滑油残留物及其去 除	708
12-3	所轧带钢的显微组织	710
12-4	轧制的结晶结构	711
12-5	带钢的加工硬化	712
12-6	回复	713
12-7	退火与常化	714
12-8	退火和正火设备	716
12-9	淬火时效	722
12-10	退火后的结晶结构	723
12-11	合金元素对退火结晶结 构的影响	724
12-12	塑性应变率及其测量	724
12-13	结晶结构与塑性应变率	

	之间的关系	726
12-14	平整	728
12-15	应变时效	730
12-16	薄板标准	732
12-17	带钢的表面缺陷	733
12-18	二次冷轧	737
12-19	箔材生产	737
12-20	剪切、切边和纵切	739
12-21	板带的涂镀	742
12-22	镀锡工艺	743
12-23	镀铬板带钢的生产	747
12-24	镀锌工艺	749
12-25	镀铅锡合金	751
12-26	带钢的连续镀铝	752
12-27	带钢涂漆与涂有机材料	754
12-28	板带压花	757
12-29	冷弯成型	759
12-30	电工硅钢薄板	760
12-31	不锈钢带的生产	761
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
下册参考文献		765

第八章 钢的物理性质和变形性能

8-1 引言

为了从理论上恰当地论述轧制过程，特别是关于轧制力和所需能量以及预测工件在轧制后的物理状态，最好尽可能全面地了解工件性能如何随变形应力而改变。因而本章专门研究各种钢的相应的物理性能和这些性能受冷轧影响而发生的变化。

从本质上看，金属的物理特性取决于它所含的元素、组成原子的结晶排列、在晶格内产生的缺陷的性质和它的显微组织。由于钢中所含的主要元素是铁，所以我们首先讨论铁元素及其性能，它的同素异形体的结晶学特点和它的显微组织通性。

钢中最主要的是碳钢，所以我们详细地讨论碳钢。实质上，所有冷轧后的碳钢在加工的某一阶段都曾经以奥氏体的形态存在过，钢的这种形态在低于 A_1 线的温度下通常是不稳定的（见图8-40及第8-10节），因而我们讨论关于这种钢的结晶形态及其分解的产物。

铬合金钢（不锈钢）在经济重要性方面仅次于碳钢，它们将在第8-15节和第12-31节中讨论；各种磁钢放在第8-16节中叙述；较为重要的硅钢（晶粒取向电工钢板）将在第12-30节中讨论。

关于轧制过程中带钢的弹性和塑性变形问题，最好复习一下应力和应变的概念及其在塑性变形和弹性变形中的相互关系。这些将在第8-17至第8-23节中同与塑性变形有关的物理现象，特别是晶格滑移和组织的形成一起讨论。

从轧制观点来讲，材料的屈服强度为其主要性能，所以，对这一参数将在第8-25和第8-33节中做更为详细的讨论，不仅涉及到在各种应变速率下对屈服强度的测量，而且将涉及到各种因素，例如温度和显微组织对于屈服强度值的影响。

在本章最后一节中，不仅从理论上而且还联系到实际测量来对加工硬化进行讨论。观察到低碳钢在承受高速变形的同时没有明显的加工硬化，而关于此种效应在箔材工业生产中的重要性将在第9章讨论。最后讨论变形能和储能，特别是关于回火及退火时储能的释放。

8-2 铁及其性能

铁元素在周期表中居第26位（图8-1），其最常见的同位素具有56克的原子重量。这一金属与钪、钛、钒、铬、锰、钴、镍一起统称为过渡族元素。铁原子的特征就是在原子核中有26个质子（每个重 1.67252×10^{-27} 公斤），在原子核周围的电子层中有26个电子（每个重 9.1091×10^{-31} 公斤），并且最常见的同位素中，原子核内有30个中子（每个重 1.67482×10^{-27} 公斤）^[317]。

在原子核周围的26个电子中，有两个在K层（离原子核最近），8个在L层，14个在M层和2个在N层。根据能量，在表8-1中表示出电子的量子数，其相对能量示意地表示

于图8-2中。

在表8-1中，括号内的数字表示主量子数，字母 *s*、*p* 或 *d* 是第二量子数，而标在括号右上角的数字是与前面提到的两种量子数有关的电子数。在化学上，铁元素能以二价的形式起反应，生成二价铁化合物，以三价的形式反应生成三价铁化合物。

1	H 1																	He 2	
2	Li 3	Be 4	B 5											C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10	
3	Na 11	Mg 12	Al 13											Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18	
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36	
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54	
6	Cs 55	Ba 56	La 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86	
7	Fr 87	Ra 88	Ac 89	104	105	类 I (金属)						类 II (过渡)		类 III (非金属)					
	IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VB	VC	VB	VB	VB	VB	VB	O

图 8-1 元素周期表

表 8-1 铁原子中的电子构形

层 或 组	电 子 数	构 形
K	2	(1s) ²
L	8	(2s) ² (2p) ⁶
M	14	(3s) ² (3p) ⁶ (3d) ⁶
N	2	(4s) ²

铁能够以体心立方晶格 (bcc) 或面心立方晶格 (fcc) 的形式存在，如图 8-3 所示。伴随着铁由体心立方晶格转变为面心立方晶格，自由能的变化 ΔF° ($\alpha \rightarrow \gamma$) 示于图 8-4 中。由此图可以看出，在 910~1400°C (1670~2552°F) 温度范围内，铁的稳定形态 (相当于最低的自由能) 是 γ 同素异形体 (或 fcc)，而在此温度范围之外， α 形态 (或 bcc) 是稳定的。有趣的是若注意到如果没有磁力现象，则 γ 铁在所有的温度下都是稳定的。并且 γ 铁同素异形体的稳定范围大，是由与两种同素异形体有关的两种相当大的自由能的微小差异所造成的。由于合金元素的存在影响着两种形式的自由能的大小， γ 铁的稳定性能很容易受这种元素的影响。

在 21°C 温度下，体心立方晶格中点阵参数是 2.86 埃，最近邻原子的距离是 2.48 埃，密度为 7.87 克/厘米³ (4.91 磅/英尺³)，在 982°C 温度下，面心立方结构的晶格参数是 3.65 埃，

