

高职高专规划教材

YOUSE JINSHU ZHAZHI

有色金属轧制

白星良 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

高职高专规划教材

有色金属轧制

主 编 白星良
副主编 段小勇

北 京
冶金工业出版社
2009

内 容 提 要

本书以培养技能型人才为目的,以有色金属轧制生产为主线,系统介绍有色金属轧制的基本原理和基本方法,以及轧制过程所使用的主要设备和工具。

全书共分10章,主要包括:轧制概述,轧制过程的建立,轧制时的宽展、前滑和后滑,轧制压力,轧制力矩与主电机容量校核,轧制时的弹塑性曲线与张力方程,轧制设备,板带材生产,型线材生产,轧制管材生产等。

本书可作为大专院校和职业技术学院金属材料加工专业的规划教材,也可作为有色金属加工企业职业培训教材或有关人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

有色金属轧制/白星良主编. —北京:冶金工业出版社, 2009.9

高职高专规划教材

ISBN 978-7-5024-4976-6

I. 有… II. 白… III. 有色金属—轧制—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG339

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 139234 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 俞跃春 美术编辑 李 新 版式设计 张 青

责任校对 刘 倩 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-4976-6

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2009 年 9 月第 1 版, 2009 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 13.25 印张; 348 千字; 198 页; 1-3000 册

29.00 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

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

本书是为适应职业教育发展的需要,根据职业技术学院的教学要求编写的,为金属材料加工类专业教学用书,也可以作为有色金属加工企业工程技术人员、工人的技能培训教材。本书共分10章,内容包括轧制的基本原理、轧制设备、板带材生产、型线材生产、管材生产等,涵盖了轧制理论、轧制设备、轧制生产技术的主要内容。

通过本书的学习,使学生或操作人员了解和掌握各类有色金属轧材的生产原理、生产设备、生产工艺等,并熟悉有色金属轧制的一些新工艺、新技术、新设备,培养他们具有初步分析、解决生产技术问题,以及操作有色金属及合金轧制设备的能力。

参加本书编写的人员有山东工业职业学院白星良(第1、7、8章)、陆凤君(第9章)、山西工程职业技术学院段小勇(第2、3、4、5章)、河北工业职业技术学院付俊薇(第6章)、中国铝业公司山东分公司潘辉、马月辉(第10章)。全书由白星良担任主编,段小勇担任副主编。

由于编者水平有限,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者
2009年5月

目 录

1 轧制概述	1
1.1 轧制的基本方法	1
1.1.1 轧制的概念	1
1.1.2 轧制的分类	1
1.2 有色金属轧材的种类	1
1.2.1 按有色金属种类分类	1
1.2.2 按轧材的断面形状特征分类	3
1.2.3 有色金属及合金轧材生产系统	3
1.3 有色金属轧制产品标准	4
1.3.1 产品品种和规格	4
1.3.2 技术条件	4
1.3.3 验收规划和试验方法	4
1.3.4 交货标准	5
1.4 轧制技术的现状与发展趋势	5
1.4.1 轧制理论和实践紧密结合	5
1.4.2 生产过程连续化	5
1.4.3 生产过程自动化	5
1.4.4 节约能源和金属消耗	5
1.4.5 不断扩大产品品种和规格	5
复习思考题	6
2 轧制过程的建立	7
2.1 简单轧制条件	7
2.2 实现轧制的条件	7
2.2.1 变形区及变形区主要参数	7
2.2.2 轧辊咬入轧件的条件	8
2.2.3 轧件充填变形区的过程	9
2.2.4 建立稳定轧制状态后的轧制条件	9
2.2.5 最大压下量的计算方法	9
2.2.6 改善咬入的基本措施	11
2.3 平均工作辊径与平均压下量	11
2.3.1 平均工作辊径	12
2.3.2 平均压下量	12

2.4 三种典型轧制情况	13
2.4.1 第一种轧制情况	13
2.4.2 第三种轧制情况	14
2.4.3 第二种轧制情况	15
2.5 轧制变形区的应力状态	16
2.5.1 工具形状和尺寸的影响	16
2.5.2 外摩擦力影响	19
2.5.3 外力的作用	19
2.5.4 轧件尺寸的影响	20
复习思考题	20
3 轧制时的宽展、前滑和后滑	22
3.1 宽展的种类与组成	22
3.1.1 宽展及研究宽展的意义	22
3.1.2 宽展的种类	22
3.1.3 宽展的分布	23
3.2 影响宽展的因素	25
3.2.1 压下量对宽展的影响	25
3.2.2 轧辊直径对宽展的影响	26
3.2.3 轧件宽度对宽展的影响	27
3.2.4 摩擦系数对宽展的影响	28
3.2.5 轧制道次对宽展的影响	31
3.2.6 后张力对宽展的影响	31
3.3 宽展的计算公式	31
3.3.1 若兹公式	31
3.3.2 彼德诺夫—齐别尔公式	32
3.3.3 巴赫契诺夫公式	32
3.3.4 艾克隆德公式	32
3.4 轧制时的前滑与后滑	33
3.4.1 前滑的测定与表示方法	33
3.4.2 前滑区、后滑区与中立面	34
3.4.3 前滑的计算方法	36
3.4.4 中立角	37
3.4.5 影响前滑的因素	39
复习思考题	40
4 轧制压力	41
4.1 轧制压力的概念	41
4.2 接触面积的计算	43

4.2.1 简单轧制情况	43
4.2.2 孔型中轧制	43
4.2.3 考虑弹性压扁时的接触面积	44
4.3 平均单位压力的计算	45
4.3.1 确定平均单位压力的方法	45
4.3.2 卡尔曼单位压力微分方程	45
4.3.3 采利柯夫公式	47
4.3.4 恰古诺夫公式	54
4.3.5 斯通公式	55
复习思考题	60
5 轧制力矩与主电机容量校核	61
5.1 辊系受力分析	61
5.1.1 简单轧制情况下辊系受力分析	61
5.1.2 具有张力作用时的辊系受力分析	61
5.1.3 四辊轧机辊系受力分析	62
5.2 轧制力矩的确定	63
5.2.1 按金属对轧辊的作用力计算轧制力矩	63
5.2.2 按能耗曲线确定轧制力矩	66
5.3 轧机传动力矩的组成和计算	68
5.3.1 附加摩擦力矩的确定	68
5.3.2 空转力矩的确定	69
5.3.3 动力矩	69
5.4 主电机容量校核	70
5.4.1 轧制图表与静力矩图	70
5.4.2 不同轧制条件下的动力矩图绘制	71
5.4.3 电机的过载与发热校核	75
复习思考题	76
6 轧制时的弹塑性曲线与张力方程	77
6.1 轧件的塑性曲线	77
6.1.1 变形抗力对塑性曲线的影响	77
6.1.2 摩擦系数对塑性曲线的影响	77
6.1.3 张力对塑性曲线的影响	77
6.1.4 轧件原始厚度的影响	78
6.2 轧机的弹性曲线	78
6.3 轧制时的弹塑性曲线	80
6.4 轧制弹塑性曲线的实际意义	83
6.4.1 通过弹塑性曲线可以分析轧制过程中造成厚度差的各种原因	83

6.4.2 通过弹塑性曲线可以说明轧制进程中的调整原则	83
6.4.3 弹塑性曲线给出了厚度自动控制的基础	84
6.5 连轧基本理论	84
6.5.1 流量方程	84
6.5.2 张力方程	85
6.5.3 张力的自动调节作用	88
复习思考题	88
7 轧制设备	89
7.1 概述	89
7.1.1 轧制设备的定义	89
7.1.2 轧制设备的分类	89
7.1.3 轧机主机列的组成	91
7.1.4 轧机的工作制度	92
7.1.5 辅助设备分类	92
7.2 轧机的结构	92
7.2.1 轧辊	93
7.2.2 轧辊轴承	95
7.2.3 轧辊调整装置	98
7.2.4 机架	102
7.2.5 连接装置	103
7.3 轧制车间辅助设备	105
7.3.1 剪切设备	105
7.3.2 矫直设备	107
7.3.3 卷取机	108
7.3.4 轧件运送设备	109
复习思考题	111
8 板带材生产	112
8.1 板带材生产概述	112
8.1.1 板带产品的特点、分类及技术要求	112
8.1.2 有色金属板带材的主要生产方法	113
8.1.3 生产流程	114
8.1.4 板带轧制技术的发展	115
8.2 热轧板带材生产	117
8.2.1 热轧特点	117
8.2.2 热轧时的锭坯	118
8.2.3 热轧的温度制度	119
8.2.4 热轧时的压下制度	122

8.2.5 热轧时的冷却润滑和辊型	125
8.2.6 热轧机及轧辊	126
8.2.7 热轧后坯料的表面铣削	127
8.3 冷轧板带材生产	127
8.3.1 冷轧的特点	127
8.3.2 酸洗及表面清理	127
8.3.3 冷轧压下制度	128
8.3.4 冷轧时的工艺冷却与润滑	130
8.3.5 冷轧时的张力	132
8.3.6 冷轧机与冷轧辊	132
8.3.7 温轧	133
8.4 铝铜板带箔材生产工艺	133
8.4.1 铝及铝合金板带材生产工艺	133
8.4.2 铜及铜合金板带材生产工艺	138
8.4.3 铝箔生产工艺	140
8.5 产品质量分析与缺陷消除	142
8.5.1 尺寸精度	142
8.5.2 板形控制与缺陷消除	145
8.5.3 脆裂	149
8.5.4 表面质量	150
8.5.5 机械性能	151
8.5.6 板带材轧机的调整	153
复习思考题	154
9 型线材生产	155
9.1 型线材生产概述	155
9.2 轧辊孔型设计	155
9.2.1 孔型设计要求和步骤	155
9.2.2 孔型	156
9.2.3 延伸孔型系统	158
9.2.4 成品孔型系统	162
9.2.5 孔型在轧辊上的配置	163
9.3 型线材轧制工艺	165
9.3.1 锭坯和坯料	165
9.3.2 轧制时的工艺参数	166
9.3.3 轧制图表	168
9.3.4 型线材轧制的典型孔型系统举例	168
9.4 型线材轧制设备	171
9.4.1 型线材轧机	171

9.4.2 导卫装置	172
9.5 轧制注意事项及产品缺陷	173
9.5.1 轧制前的准备工作	173
9.5.2 轧制时的注意事项	173
9.5.3 型线材轧制时的缺陷	174
9.5.4 型线材轧制事故的分析与处理	176
复习思考题	177
10 轧制管材生产	178
10.1 热轧管材生产	178
10.1.1 斜轧穿孔时金属变形的规律	178
10.1.2 斜轧穿孔的工具设计与设备	180
10.1.3 斜轧穿孔工艺	182
10.2 冷轧管材概述	183
10.2.1 管材冷轧的基本方法	183
10.2.2 周期式冷轧管法的优、缺点	185
10.2.3 周期式冷轧管法生产现状与发展趋势	186
10.2.4 周期式冷轧管的变形与应力	187
10.2.5 冷轧管时金属对轧辊的压力	189
10.3 冷轧管机的变形工具	189
10.3.1 二辊式冷轧管机的变形工具	189
10.3.2 多辊式冷轧管机的变形工具	192
10.4 周期式冷轧管机	193
10.4.1 二辊式冷轧管机	193
10.4.2 多辊式冷轧管机	195
10.5 管材轧制的质量控制	195
10.5.1 穿孔时废品	196
10.5.2 冷轧管时废品	196
复习思考题	197
参考文献	198

1 轧制概述

1.1 轧制的基本方法

1.1.1 轧制的概念

轧制过程是靠旋转的轧辊与轧件之间形成的摩擦力，将轧件拖进轧辊之间的缝隙（辊缝），并使之受到压缩产生塑性变形的过程。通过轧制，使轧件的横断面积减小而长度增加，且使轧件具有一定的组织和性能。轧制与锻造、冲压、挤压、拉拔等统称为“金属塑性加工”。由于轧制具有生产率高、产量大、产品种类多等优点，致使轧制成为“金属塑性加工”中最广泛使用的成形方法。

轧制方法是生产金属材的常用生产方法，钢铁、有色金属、某些稀有金属及其合金均可以采用轧制方法进行加工，比如用轧制方法生产有色金属及合金的板带箔材、型材和管材；有色金属及合金的板带材，几乎全部采用轧制方法生产。

1.1.2 轧制的分类

根据轧件的运动方向不同，轧制可分为纵轧、横轧和斜轧。纵轧轧辊的轴线互相平行，轧辊的转动方向相反且轧辊与轧件互相垂直；横轧轧辊的转动方向相同，轧辊轴线平行或在同一平面内呈一定的锥角（又叫楔横轧）；斜轧的两个轧辊成一定的角度且旋转方向相同，轧件作螺旋形运动。有色金属板带材、型材主要是用纵轧方法生产，而管材的生产，采用斜轧穿孔，斜轧或纵轧轧管。

根据轧制时金属的温度不同，又可分为热轧和冷轧。在金属的再结晶温度以上进行的轧制叫热轧，而在金属的再结晶温度以下进行的轧制叫冷轧。热轧时，金属的塑性好，变形抗力低；冷轧则具有轧制精度高、表面粗糙度低等优点。

根据轧制时的轧辊形状，可分为平辊轧制和型辊轧制。平辊轧制主要用于生产板、带、条、箔等，所用的轧辊为均匀或近似均匀的圆柱体，它具有设备简单、生产率高、产品成本低等特点，因此在有色金属塑性加工中得到广泛应用；在刻有轧槽的轧辊中轧制各种型材叫型辊轧制，它是轧制法生产有色金属型材及管材的方法之一。

1.2 有色金属轧材的种类

在有色金属中，应用较广泛的是铝、铜、钛等及其合金的轧材。由于有色金属种类繁多，并且有许多钢铁无法比拟的独特优良性能，其轧材广泛应用于国防、国民经济建设以及人民日常生活的各个方面，并且在许多工业领域中起着钢材无法取代的特殊作用。

1.2.1 按有色金属种类分类

按照有色金属的分类方法，其轧材可分为轻有色金属轧材、重有色金属轧材及稀有金属轧材。

1.2.1.1 轻有色金属轧材

轻有色金属主要包括铝、镁及其合金。一般铝及铝合金可分为纯铝（1070A~1200）、硬铝（2A11、2A12、2A16等）、超硬铝（2A04、2B12等）、防锈铝（5A02、5A03、5A05、5A06等）及锻铝（6A02、2A50、2A70、4A13等）等数种；也可按热处理特点不同分为可热处理强化的铝合金和不可热处理强化的铝合金两大类，比如硬铝合金、超硬铝合金及锻铝合金为可热处理强化铝合金，其轧材经淬火时效处理可获得很高的比强度，但其耐蚀性能与加工工艺性能稍差，为此其中有些合金需要包铝轧制。在两大类中，每类又可分为很多不同的合金系。表1-1为铝及铝合金的供应状态名称与标准代号。

表 1-1 铝及铝合金的供应状态

供应状态名称	标准代号	供应状态名称	标准代号
热轧成品	R	不包铝（热轧）	BR
退火状态（软态）	M	不包铝（退火）	BM
硬（冷轧状态）	Y	不包铝（淬火、优质表面）	BCO
3/4 硬、1/2 硬、1/3 硬、1/4 硬	Y1、Y2、Y3、Y4	不包铝（淬火、冷作硬化）	BCY
特 硬	T	优质表面（退火）	MO
淬 火	C	优质表面淬火自然时效	CZO
淬火后冷轧（冷作硬化）	CY	优质表面淬火人工时效	CSO
淬火自然时效	CZ	淬火后冷轧人工时效	CYO
淬火人工时效	CS	热加工人工时效	RS
淬火自然时效冷作硬化	CZY	加厚包铝	J

铝合金的比强度大，某些铝合金的比强度及比刚度可赶上甚至超过了钢。纯铝材由于其色泽美丽、耐蚀性好而被广泛用于轻工部门，特别是日常用品与电器用品方面。铝合金与镁合金材根据其性能不同而用途各异，比如超硬铝合金与镁合金由于比强度大，主要用于宇航及运输工业，防锈铝合金材则主要用于建筑及石油化工方面。此外，铝箔作为铝材中的一类产品，主要应用在包装与电子等工业方面。

镁及镁合金密度小，比强度与比刚度高，能承受较大的冲击、振动载荷，切削加工性能与抛光性能好，已广泛应用于仪表、光学仪器、无线电元件、汽车制造中，在飞机、导弹、人造卫星与宇宙飞船上也得到越来越多的应用。

1.2.1.2 重有色金属轧材

重有色金属主要包括铜、镍、铅、锌等，以铜及铜合金应用最广。

铜及其合金按供应状态分：热加工状态（R）、软态（M）、1/3 硬态（Y3）、半硬态（Y2）、硬态（Y）及特硬态（T）六种。按牌号分为四类：紫铜（T1~T4）；无氧铜（TU1、TU2、YUP、TUMn）；普通黄铜（H96、H90、H68、H62等）；复杂黄铜（也叫特殊黄铜，在Cu-Zn合金中加入第二种化学元素而形成，主要有铝黄铜如 HAl77-2、铅黄铜如 HPb59-1、锡黄铜如 HSn90-1等）；青铜（锡青铜如 QSn4-3、铅青铜 ZCuPb30、铍青铜 QBe2等）及白铜（铜镍合金）等。

重有色金属轧材如铜及铜合金轧材具有很好的导电、导热、耐蚀及可焊性能，故和铝材一样广泛应用于国防、轻工、汽车与拖拉机、仪表、电气与电子等许多工业部门。

重有色金属中，除铜及其合金外，镍及镍合金轧材广泛应用于电真空、耐蚀结构件及电热材料等；锌及锌合金具有较好的耐蚀性与较高的力学性能，其轧材主要用于电池及印刷工业；

铅的熔点低，耐腐蚀性能好，射线不易穿透，其轧材主要用作耐酸、耐蚀、蓄电池及防御辐射材料等。

1.2.1.3 稀有贵金属轧材

稀有有色金属主要包括钛、钨、钼、钽、铌、锆等。

钛及钛合金密度小，抗拉强度高（可达 1372MPa），它的比强度在金属材料中几乎是最高的，因此其轧材应用广泛，是重要的宇航结构材料，并在舰船制造与化学工业等领域广泛应用。

钨、钼两种金属性质相似，其共性是：熔点、强度与弹性模量高，线膨胀系数小，蒸气压低，导电、导热性能良好。它们可以用作生产合金钢的添加元素；它的烧结坯料通过热锻或热轧-冷轧成片材及板材，作为高温高强度材料用于宇航、电子电气等工业部门；常见的钨钼丝可作高温电炉的发热体与电光源材料。

钽、铌、锆及合金轧材或作为高温高强度材料用于宇航工业，或利用其突出的核性能用于原子能工业，做核反应堆材料，或利用其优良的耐蚀性能，在化工设备中作耐蚀零部件等。

1.2.2 按轧材的断面形状特征分类

有色金属及合金的轧材可分为板带材、型线材以及管材等几大类。

1.2.2.1 板带材

有色金属及合金的轧材主要是板带材，也是应用最广泛的一类轧材。有色金属及合金板带材按厚度进行分类，可分为厚板、薄板和箔材；按轧制时的温度分类，可分为热轧板带材和冷轧板带材；按材料种类又分为铜板带材、铝板带材等。目前，新型产品如异形断面板、变断面板等不断出现，比如铝合金变断面板材、带筋壁板等在航空工业中广为应用。

1.2.2.2 型线材

有色金属及合金型线材也被广泛应用。由于有色金属及合金一般熔点较低、变形抗力较低，而尺寸和表面要求严格，故其型材、棒材、线材大多数采用挤压法生产，仅在生产批量较大、尺寸和表面要求较低的中小规格的棒材、线坯和简单断面的型材时，采用轧制方法生产。

1.2.2.3 管材

有色金属及合金的管材生产，包括管材的热加工和冷加工，其中后者应用广泛。热加工是指把实心的管坯穿制成空心的毛管，然后再在轧管机上轧出合适的有色金属热轧管，因此它包括斜轧穿孔和热轧管材；冷加工主要包括冷轧和冷旋压；其中冷轧具有减壁能力强、可显著地改善来料的性能、尺寸精度和表面质量高等优点，因此被广泛应用到铜及其合金等的管材生产上。

1.2.3 有色金属及合金轧材生产系统

有色金属及合金材料中，主要以铜、铝及其合金的轧材应用比较广泛，其生产系统规模不大，但一般是重金属和轻金属分别自成系统进行生产，在产品品种上多是板带材、型线材及管材等相混合，在加工方法上多是挤压、轧制、拉拔等相混合，以适应于批量小、品种多及灵活生产的特点和要求。但也有专业化生产的工厂，例如电缆厂、铝箔厂、板带材厂等。

有色金属及合金的轧材主要是板带材，生产方法主要有成块轧制和成卷轧制，这两种轧制方法各有特点。实际生产中应根据合金、品种、规格、批量、质量要求及设备条件选择生产方法及工艺流程。

1.3 有色金属轧制产品标准

产品标准有以下四个方面的内容。

1.3.1 产品品种和规格

产品品种和规格,主要是规定有色金属轧材的断面形状和尺寸精度方面的要求。它包括金属牌号、主要用途、尺寸范围、尺寸系列、尺寸偏差和供应状态等。

1.3.2 技术条件

技术条件包括下列八项。

1.3.2.1 材料的化学成分

材料的化学成分,规定各合金组元含量的上、下限,各杂质元素含量的允许上限,以及总杂质含量的允许上限等。

1.3.2.2 对制品的表面要求

对制品的表面要求,如光滑性和清洁性等,并对起皮、起泡、夹杂、裂纹、划伤、凹坑、斑点、辊印、皱纹及其他缺陷的程度和范围,作出相应的规定。

1.3.2.3 对产品的内部要求

对产品的内部要求,如对裂纹、分层、缩松、夹渣、气孔、断口等,所作的规定和允许范围。在国家标准中对有色金属加工产品的不同特性,规定了不同的标志代号。

1.3.2.4 对制品的外形要求

对制品的外形要求,在热轧材和冷轧材中,如对波浪、翘曲、不平、椭圆度、偏心、弯曲、扭拧等,所作的数量上的规定。

1.3.2.5 对制品切口和锯口的要求

对制品切口和锯口的要求,即对制品头、尾、边等部分的整齐性和光洁性的规定。在剪切轧件时要选择正确的方法,才能满足要求。

1.3.2.6 对制品力学性能的要求

对制品力学性能的要求,如抗拉强度、伸长率、屈服强度、抗压强度、抗剪强度、高温持久或瞬时强度等的最小允许值,但并非对每一种性能都作规定,按制品用途而异。

1.3.2.7 对制品工艺性能的要求

对制品工艺性能的要求,规定制品工艺性能的数量范围,以适应使用单位进一步加工的需要。例如板带的杯突试验、线材的反复弯曲试验、管材的耐压试验等,此外还有耐蚀性、焊接性、切削性等方面的试验,按需要选做。

1.3.2.8 对制品金相方面的要求

对制品金相方面的要求,例如规定了铝合金的过烧、无氧铜中的含氧量、铜合金的晶粒度等等,另外还附有划分等级的图谱,与标准试样比较,即可确定制品在金相方面是否合格。

1.3.3 验收规划和试验方法

要对材料进行测试,才能确定是否合乎技术条件的规定。它规定了取样部位、试样形状和尺寸、试验条件、试验方法等。

1.3.4 交货标准

对于不同的有色金属及合金轧材,包括板带材、型线材、管材等,规定交货状态,如热轧状态交货、退火状态交货、经热处理及酸洗交货等,另外还对产品的包装、标志、运输、保管等方面都作了明文规定。

1.4 轧制技术的现状与发展趋势

随着冶金和机械电气工业的进步以及电子计算机自动控制技术的应用和社会总体科学技术水平的提高,有色金属的轧制技术,在工艺、设备和理论上也都有着飞跃性发展。总体来说,有色金属轧制工业技术发展的主要特点有以下几方面。

1.4.1 轧制理论和实践紧密结合

近代由于电子计算机和自动控制技术的推广应用,使轧制理论及有关数学模型的实际用途显著增大,各种轧制新技术、新工艺(如不对称轧制、板形控制技术等)的出现和新的研究方法(如有限元法、极限分析法等)的开发,也使轧制理论不断得到新的发展,新理论反过来又指导和促进了轧制新技术的发展。

1.4.2 生产过程连续化

不仅热轧生产过程实现了连续铸坯、连续轧制,还实现了连续铸坯与连续轧制直接衔接连续化生产,而且更突出的是冷轧板带箔材也实现了完全连续化生产,尤其是从冶炼、铸坯、到轧制全过程的连续化,连续铸轧或连铸-连轧技术,已经在铜、铝等有色金属轧材生产中日益得到推广和应用。生产过程的连续化也为提高作业速度创造了条件,各种轧机的轧制速度不断提高。

1.4.3 生产过程自动化

生产过程自动化不仅是提高轧机生产能力的重要条件,而且是提高产品质量、节省劳力、降低消耗的重要前提。目前电子计算机广泛应用在轧制生产中,包括过程控制和数字直接控制等,不仅应用在轧制中,还应用在精整、热处理、无损探伤以及生产管理等方面。自动控制技术的广泛应用,大大提高了产品的尺寸精度和平直度,使产品的质量得到大的提高。

1.4.4 节约能源和金属消耗

大力发展连续铸坯技术,并进一步采用连铸-连轧方法,可以大大提高成材率、节约能源消耗、简化工艺过程和降低生产成本,大大提高经济效益。另外一些新的节能降耗新工艺、新技术也正在得到积极开发和推广应用。

1.4.5 不断扩大产品品种和规格

现在有色金属及合金轧材包括板带材、型线材以及管材等,品种规格已达数万种之多,并且还在不断扩大。例如生产一些宽度超过3m的有色金属板材;开发新的合金;生产厚度在0.01mm以下的箔材等。

轧制生产技术发展的这些特点,正是反映了当前轧制工艺理论研究的主要内容。通过学习与理论分析,来提高产品的质量、产量,扩大品种并降低各项消耗和成本。

复习思考题

- 1-1 什么叫轧制，轧制有哪些基本方法？
- 1-2 有色金属轧材分哪几类，各有什么作用？
- 1-3 有色金属轧材生产有哪些主要特点？
- 1-4 有色金属压力加工产品标准主要有哪些主要内容？
- 1-5 现阶段轧制技术的发展主要表现在哪几个方面？
- 1-6 解释名词：热轧，冷轧，纵轧，横轧，斜轧。
- 1-7 有色金属是如何分类的？

2 轧制过程的建立

2.1 简单轧制条件

为简化轧制理论的研究,首先对轧制过程附加一些假设条件,即简单轧制条件。这些条件是:

(1) 对于轧辊方面。两个轧辊为直径相等的圆柱体,其材质与表面状况相同,两轧辊平行且中心线在同一垂直平面内,两轧辊的弹性变形忽略不计(即认为轧辊完全是刚性的),两轧辊都传动且转速相等。

(2) 对于轧件方面。轧制前后轧件的断面均为矩形或方形,轧件内部各部分组织和性能相同,表面状况,特别是和轧辊相接触的两水平表面的状况相同。在轧制过程中,除轧辊对轧件的作用力外,无任何外力作用于轧件上。

当符合这些条件时,轧辊与轧件接触面上的外摩擦系数相同,每一轧辊对轧件的压下量相等,轧制过程对称于中间轧制水平面。

显然,上述理想的轧制条件在实际轧制过程中是很难同时具备的,一般仅有部分条件存在或近似存在。在生产过程中,各种轧制实际上都是非简单轧制情况,例如:单辊传动的叠轧薄板轧机;轧件上除轧制力外,还有张力或推力存在,如带前后卷筒的冷带轧机和各种类型的连轧机;轧辊直径不等或转速不等,如劳特式轧机;在变形不均匀的孔型中轧制;轧件温度不均匀等。

实际上,即或在简单轧制时,也没有如上所述的条件。因为变形沿轧件断面的高度和宽度上不可能是完全均匀的,轧制压力和摩擦力沿接触弧长度的分布不可能是完全均匀的,轧辊和轧机其他零件也不可能是完全刚性的。当然也会因与实际情况有差异而产生一定的误差,因而我们对使用在理想的简单轧制条件下所建立起来的计算公式时,要做一些必要的修正,或在计算过程中采用一些等效值,如平均压下量或平均轧辊直径等。但另一方面也可以肯定,由简单轧制条件得出的计算公式还是可以用于生产实践的,一般情况下不必另外建立新的计算公式。

2.2 实现轧制的条件

2.2.1 变形区及变形区主要参数

在轧制过程中,轧件与轧辊接触并产生塑性变形的区域称为变形区,如图 2-1 所示的 $ABCD$ 区域。

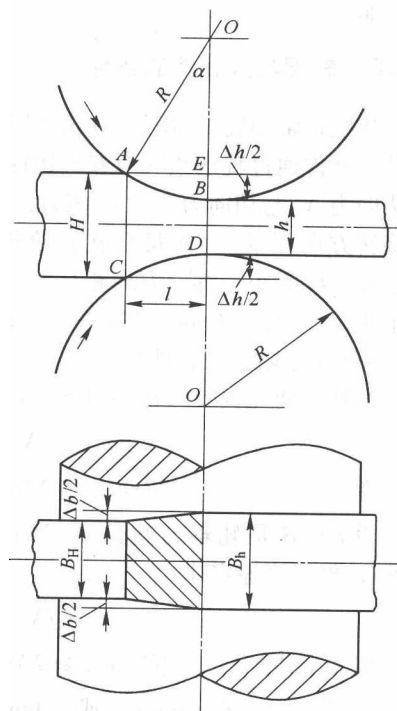


图 2-1 轧制过程图示