



人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐
有色金属行业职业教育培训规划教材

重有色金属及其合金 板带材生产

ZHONGYOUSE JINSHU JIQI HEJIN
BANDAICAI SHENGCHAN

申智华 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐
有色金属行业职业教育培训规划教材

重有色金属及其合金 板带材生产

申智华 编著

北 京
冶金工业出版社
2011

内 容 简 介

本书是有色金属行业职业教育培训规划教材之一,是根据有色金属企业生产实际、岗位技能要求以及职业学校教学需要编写的,并经人力资源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。

本书详细介绍了重有色金属及其合金板带材生产工艺、技术和主要设备等。全书共分8章,包括轧制原理、产品品种及典型生产工艺流程、热轧、冷轧、热处理、精整、成品验收及包装、轧制设备及备件简介等。在内容组织和结构安排上,力求简明扼要,通俗易懂,理论联系实际,切合生产实际需要,突出行业特点。书中所述内容与生产实际紧密结合,同时又包括了板带材生产的新工艺、新技术。为便于读者自学,加深理解和学用结合,各章均附复习思考题。

本书可作为有色金属企业岗位操作人员的培训教材,也可作为职业学校(院)相关专业的教材,同时也可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

重有色金属及其合金板带材生产/申智华编著. —北京:冶金工业出版社,2011.1

有色金属行业职业教育培训规划教材

ISBN 978-7-5024-5360-2

I. ①重… II. ①申… III. ①重有色金属—板材轧制—技术培训—教材 ②重有色金属—带材轧制—技术培训—教材 ③合金—板材轧制—技术培训—教材 ④合金—带材轧制—技术培训—教材
IV. ①TG335.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 187089 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 yjchs@cnmp.com.cn

责任编辑 张登科 美术编辑 张媛媛 版式设计 葛新霞

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5360-2

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

2011 年 1 月第 1 版;2011 年 1 月第 1 次印刷

787 mm × 1092 mm 1/16; 11.5 印张; 303 千字; 169 页

30.00 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(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

有色金属行业职业教育培训规划教材

编辑委员会

- | | | |
|-------|-----------|---|
| 主 任 | 丁学全 | 中国有色金属工业协会党委副书记、中国职工教育和职业培训协会有色金属分会理事长 |
| | 曹胜利 | 冶金工业出版社社长 |
| 副 主 任 | 赵东海 | 洛阳铜加工集团有限责任公司董事长、中铝洛阳铜业有限公司党委书记、副董事长 |
| | 鲁启峰 | 中国职工教育和职业培训协会冶金分会秘书长 |
| | 谭学余 | 冶金工业出版社总编辑 |
| | 杨焕文 | 中国有色金属学会副秘书长 |
| | 纪 庆 | 中铝华中铜业有限公司总经理 |
| | 刘传军 | 中铝昆明铜业有限公司总经理 |
| | 李宏磊 | 中铝洛阳铜业有限公司副总经理 |
| 秘 书 长 | 杨伟宏 | 洛阳有色金属工业学校校长(0379- 64949030, yangwh0139@126. com) |
| 副秘书长 | 张登科 | 冶金工业出版社编审(010- 64062877, zhdengke@sina. com) |
| 委 员 | (按姓氏笔画排序) | |
| | 牛立业 | 中铝洛阳铜业有限公司 |
| | 王 洪 | 黑龙江佳泰钛业有限公司 |
| | 王 辉 | 株洲冶炼集团股份有限公司 |
| | 石 森 | 中铝河南铝业有限公司 |
| | 卢宇飞 | 昆明冶金高等专科学校 |
| | 李巧云 | 洛阳有色金属工业学校 |
| | 李 贵 | 河南豫光金铅股份有限公司 |
| | 刘静安 | 中铝西南铝业(集团)有限责任公司 |
| | 邹广亚 | 中铝河南铝业有限公司 |
| | 杨建军 | 宁波金田铜业(集团)股份有限公司 |
| | 陈建华 | 浙江宁波兴业电子铜带有限公司 |
| | 张鸿烈 | 白银有色金属公司西北铅锌厂 |
| | 但渭林 | 江西理工大学南昌分院 |
| | 武红林 | 中铝东北轻合金有限责任公司 |
| | 林 群 | 江西铜业集团公司钢板带有限公司 |
| | 郭天立 | 中冶葫芦岛有色金属集团公司 |
| | 顾炳根 | 桂林理工大学南宁分院 |
| | 董运华 | 洛阳有色金属加工设计研究院 |
| | 雷 霆 | 云南冶金集团股份有限公司 |

序

有色金属是重要的基础原材料,产品种类多,关联度广,是现代高新技术产业发展的关键支撑材料,广泛应用于电力、交通、建筑、机械、电子信息、航空航天和国防军工等领域,在保障国民经济和社会发展等方面发挥着重要作用。

改革开放以来,我国有色金属工业持续快速发展,十种常用有色金属总产量已连续7年居世界第一,产业结构调整和技术进步加快,在国际同行业中的地位明显提高,市场竞争力显著增强。我国有色金属工业的发展已经站在一个新的历史起点上,成为拉动世界有色金属工业增长的主导因素,成为推进世界有色金属科技进步的重要力量,将对世界有色金属工业的发展发挥越来越重要的作用。

当前,我国有色金属工业正处在调整产业结构,转变发展方式,依靠科技进步推动行业发展的关键时期。随着我国城镇化、工业化、信息化进程加快,对有色金属的需求潜力巨大,产业发展具有良好的前景。今后一个时期,我国有色金属工业发展的指导思想是:以邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导,深入落实科学发展观,按照保增长、扩内需、调结构的总体要求,以控制总量、淘汰落后、加快技术改造、推进企业重组为重点,推动产业结构调整和优化升级;充分利用境内外两种资源,提高资源保障能力,建设资源节约型、环境友好型和科技创新型产业,促进我国有色金属工业可持续发展。

为了实现我国有色金属工业强国的宏伟目标,关键在人才,需要培养造就一大批高素质的职工队伍,既要有高级经营管理者、各类工程技术人才,更要有高素质、高技能、创新型的生产一线人才。因此,大力发展职业教育和职工培训是实施技能型人才培养的主要途径,是提高企业整体素质,增强企业核心竞争力的重要举措,是实现有色金属工业科学发展的迫切需要。

冶金工业出版社和洛阳有色金属工业学校为了适应有色金属工业中等职业学校教学和企业生产的实际需求,组织编写了这套培训教材。教材既有系统的理论知识,又有生产现场的实际经验,同时还吸纳了一些国内外的先进生产工艺技术,是一套行业教学和职工培

训较为实用的中级教材。

加强中等职业教育和职工培训教材的建设,是增强职业教育和培训工作实效的重要途径。要坚持少而精、管用的原则,精心组织、精心编写,使教材做到理论与实际相结合,体现创新理念、时代特色,在建设高素质、高技能的有色金属工业职工队伍中发挥积极作用。

中国有色金属工业协会会长

A stylized, handwritten signature in black ink, consisting of two characters, '康' and '建', written in a cursive, flowing style.

2009 年 6 月

前 言

本书是按照人力资源和社会保障部的规划,参照行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据有色金属企业生产实际、岗位技能要求以及职业学校教学需要编写的。书稿经人力资源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,由人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐作为有色金属行业职业教育培训规划教材。

本书详细介绍了重有色金属及其合金板带材生产工艺、技术和主要设备等。全书共分8章,包括轧制原理、产品品种及典型生产工艺流程、热轧、冷轧、热处理、精整、成品验收及包装、轧制设备及备件简介等。在内容组织和结构安排上,力求简明扼要,通俗易懂,理论联系实际,切合生产实际需要,突出行业特点。书中所述内容与生产实际紧密结合,同时又包括了板带材生产的新工艺、新技术。为便于读者自学,加深理解和学用结合,各章均附复习思考题。

本书可作为有色金属企业岗位操作人员的培训教材,也可作为职业学校(院)相关专业的教材,同时也可供有关的工程技术人员参考。

本书由申智华编写,龚寿鹏、李惠中审稿。在编写过程中,得到了杨伟宏、李巧云、申庆林、蔡纯英、姚晓燕、白素琴、贺慧萍和岳绍阳等的大力支持和热忱帮助,并参考了一些相关著作和文献资料,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,编写经验不足,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者
2010年10月

目 录

1 轧制原理	1
1.1 简单轧制过程及变形参数	1
1.1.1 简单轧制过程	1
1.1.2 变形程度指数	1
1.1.3 加工率计算	2
1.2 变形区及其参数	3
1.2.1 变形区	3
1.2.2 变形区的主要参数	3
1.3 轧制过程建立的条件	4
1.3.1 轧制过程的三阶段	4
1.3.2 咬入阶段的咬入条件	5
1.3.3 稳定轧制阶段的咬入条件	6
1.4 改善咬入的措施	7
1.4.1 影响咬入的因素	7
1.4.2 改善咬入的措施	8
1.5 轧制时轧件的高向变形	9
1.5.1 轧件在轧制时高向流动特征	9
1.5.2 薄轧件的高向变形	10
1.5.3 厚轧件的高向变形	12
1.6 轧制时轧件的横向变形	14
1.6.1 宽展及其实际意义	14
1.6.2 宽展分类与组成	15
1.6.3 影响宽展的因素	15
1.6.4 计算宽展的公式	18
1.7 轧制时轧件的纵向变形	18
1.7.1 轧制过程中的前滑和后滑现象	18
1.7.2 前滑的理论计算	19
1.7.3 影响前滑的因素	20
1.7.4 研究前滑的意义	21
1.8 单位压力与轧制力简介	21
1.8.1 咬入弧上单位压力的分布	22
1.8.2 轧制力的确定	23
复习思考题	24

2 产品品种及典型生产工艺流程	25
2.1 产品的技术条件	25
2.1.1 产品尺寸	25
2.1.2 产品供应状态	25
2.1.3 产品技术要求	25
2.2 生产工艺流程	26
2.2.1 制定生产工艺流程的原则	26
2.2.2 铸锭开坯方法的选择	26
2.2.3 板材的生产方法	27
2.2.4 生产板带材产品的基本工序及典型生产工艺流程	27
2.3 常用板带材的生产工艺流程	28
2.3.1 紫铜的生产工艺流程	28
2.3.2 黄铜的生产工艺流程	36
2.3.3 青铜的生产工艺流程	38
2.3.4 白铜的生产工艺流程	40
2.3.5 镍及镍合金的生产工艺流程	41
2.3.6 锌板带的生产工艺	42
2.3.7 铅板带的生产工艺	44
复习思考题	44
3 热轧	45
3.1 铸锭准备	45
3.1.1 铸锭尺寸和形状	45
3.1.2 铸锭的质量要求	46
3.2 热轧前的铸锭加热	46
3.2.1 加热制度	46
3.2.2 铸锭加热时经常出现的缺陷	49
3.2.3 加热炉	50
3.3 热轧工艺	53
3.3.1 热轧特点	53
3.3.2 热轧温度的确定	53
3.3.3 热轧轧制制度	54
3.3.4 热轧时的温降	56
3.4 热轧时的冷却润滑和辊型	57
3.4.1 冷却润滑的作用	57
3.4.2 冷却润滑剂	57
3.4.3 热轧辊型	58
3.5 常见热轧产品缺陷及产生的原因	58
3.5.1 表面缺陷	58
3.5.2 板形不良	59

3.5.3 厚度超差	60
3.5.4 性能不合格	60
复习思考题	60
4 冷轧	61
4.1 冷轧的分类及特点	61
4.1.1 冷轧的概念	61
4.1.2 冷轧的特点	62
4.1.3 冷轧的分类	63
4.2 冷轧的压下制度	64
4.2.1 冷轧总加工率	64
4.2.2 中间冷轧总加工率的确定	65
4.2.3 成品冷轧总加工率的确定	65
4.2.4 冷轧道次加工率的分配	67
4.2.5 冷轧时的速度	68
4.3 张力	68
4.3.1 张力的建立	68
4.3.2 张力的作用	69
4.3.3 张力的确定与调整	69
4.4 冷轧时的冷却润滑	70
4.4.1 冷却润滑的作用	70
4.4.2 对冷却润滑剂的要求	70
4.4.3 常用冷却润滑剂	71
4.5 冷轧辊型	74
4.5.1 影响实际辊型的因素	74
4.5.2 辊型的选择与配置	74
4.5.3 板形与横向厚差	75
4.5.4 辊型控制	78
4.6 板带材纵向厚度精度控制	79
4.6.1 轧制时的弹塑性曲线	79
4.6.2 影响板带材纵向厚度的因素	80
4.6.3 板厚控制原理及方法	82
4.6.4 板厚自动控制	85
4.6.5 最小可轧厚度	89
4.7 冷轧产品的主要缺陷及产生原因	91
4.7.1 厚度超差	91
4.7.2 表面缺陷	91
4.7.3 板形不良	94
4.7.4 性能不合格	95

4.8 连轧简介	95
4.8.1 连轧的特点	95
4.8.2 冷连轧压下制度的确定	97
复习思考题	98
5 热处理	99
5.1 热处理制度	99
5.1.1 均匀化处理	99
5.1.2 退火	101
5.1.3 淬火-时效	107
5.2 热处理气氛及热处理缺陷	108
5.2.1 热处理气氛	108
5.2.2 热处理产品缺陷	109
5.3 热处理设备	110
5.3.1 常见热处理炉形式	110
5.3.2 钟罩炉	112
5.3.3 气垫炉	114
复习思考题	118
6 精整	119
6.1 表面清理	119
6.1.1 化学蚀洗(清洗)	119
6.1.2 铣面	124
6.1.3 清刷与修理	126
6.2 矫直	126
6.2.1 辊式矫直机矫直	126
6.2.2 辊压式矫直机矫直	127
6.2.3 拉伸矫直机矫直	127
6.2.4 拉伸弯曲矫直机矫直	128
6.3 剪切	128
6.3.1 剪切种类	128
6.3.2 剪切计算	129
6.3.3 剪切设备	131
6.3.4 剪切工艺	134
复习思考题	135
7 成品验收及包装	137
7.1 成品验收	137
7.1.1 标准内容	137

7.1.2 板带材几何尺寸检测	138
7.1.3 表面质量和外形检测	139
7.1.4 组织和性能检测	139
7.2 成品包装	140
7.2.1 包装方式	140
7.2.2 包装方法	140
7.2.3 包装标志	141
复习思考题	141
8 轧制设备及备件简介	142
8.1 轧机分类及组成	142
8.1.1 轧机分类	142
8.1.2 轧机组成	144
8.2 轧辊	146
8.2.1 轧辊尺寸选择	146
8.2.2 轧辊材料	147
8.2.3 轧辊损坏形式	147
8.2.4 提高轧辊使用寿命的措施	148
8.3 轧辊轴承	149
8.3.1 轧辊轴承的作用及特点	149
8.3.2 轧辊轴承的分类	149
8.4 轧辊的调整装置	153
8.4.1 压下装置	154
8.4.2 轧辊的平衡装置	157
8.5 卷取机	158
8.5.1 带张力卷筒的卷取机	158
8.5.2 辊式卷取机	159
8.6 热轧机和冷轧机	160
8.6.1 热轧机	160
8.6.2 冷轧机	162
8.6.3 精轧机	164
8.7 轧机的使用与调整	165
8.7.1 轧机启动前的检查	165
8.7.2 轧机的调整	166
8.7.3 热轧机操作注意事项	167
8.7.4 冷轧机操作注意事项	167
复习思考题	168
参考文献	169

1 轧制原理

生产板、带、箔材的最主要方法是平辊轧制。轧制过程是指轧件(金属)在轧辊作用下,进入旋转的轧辊之间,受到压缩而进行的塑性变形过程。通过轧制使金属获得一定的尺寸、形状和性能。因生产板、带、箔材使用的轧辊辊身基本为均匀的圆柱体,无刻槽,这种轧辊称为平辊,用平辊进行的轧制称为平辊轧制。

1.1 简单轧制过程及变形参数

1.1.1 简单轧制过程

为了研究方便,常常把复杂的轧制过程简化成理想的简单轧制过程。简单轧制过程是轧制理论研究的基本对象,所谓简单轧制过程应具备下列条件:

- (1) 两个轧辊均为主动辊,辊径相同,转速相等,且轧辊为刚体;
- (2) 轧件的性能均匀;
- (3) 轧件除受轧辊作用外,不受其他任何外力作用;
- (4) 轧件的变形与金属质点的流动速度沿断面高度和宽度是均匀的。

总之,简单轧制过程中两个轧辊是完全对称的。在实际生产中理想的简单轧制过程是不存在的。例如,单辊传动(周期式叠轧薄板轧机,单辊传动的轧机);异步轧制(即两个工作辊的圆周速度不相等);带卷的张力轧制;轧辊直径不等,如劳特轧机;此外被轧金属的性能也不可能完全均匀;轧辊和轧机不可能是绝对刚体,在力的作用下,它要产生弹性变形,也就是说实际生产中的轧制过程要比简单轧制过程复杂得多。我们先从简单轧制过程出发来探求规律,从而去寻求复杂轧制过程的一般规律,以解决实际生产中的问题。

1.1.2 变形程度指数

轧制时轧件在高向上受到压缩,金属朝着纵向和横向流动。轧制后,轧件在长度和宽度方向上尺寸增加,在高向上尺寸减小。在工程上常用以下参数表示轧件的变形量。

(1) 高向变形参数。轧制时,轧件进入轧辊至离开轧辊,承受一次塑性变形,称为一个轧制道次。轧制前后轧件厚度分别为 H 和 h ,高向变形可用以下参数来表示:

$$\text{压下量:} \quad \Delta H = H - h \quad (1-1)$$

$$\text{加工率或压下率:} \quad \varepsilon = \frac{\Delta H}{H} \times 100\% \quad (1-2)$$

加工率一般分为道次加工率 ε 、总加工率 ε_{Σ} 。道次加工率是指某一个轧制道次,轧制前后轧件厚度变化的相对变化值。总加工率一般可以反映金属的加工性能。总加工率指两次退火间(一个轧程)的总加工率,它可反映轧件加工硬化的情况。此外还有道次平均加工率,就是轧前总加工率和轧后总加工率的平均值,它主要反映冷轧过程某一轧制道次中的加工硬化情况。

(2) 横向变形参数。反映轧制过程中横向变形程度的参数一般用轧件在宽向尺寸的绝对变化量来表示,即宽展量等于轧后宽度 b 与轧前宽度 B 的差。

$$\text{宽展量:} \quad \Delta B = b - B \quad (1-3)$$

(3) 纵向变形参数。一般纵向变形参数可用轧件轧后长度 l 和轧前长度 L 的比值表示,称为延伸系数 λ 。

$$\text{延伸系数:} \quad \lambda = \frac{l}{L} \quad (1-4)$$

根据体积不变定律,延伸系数也可用轧件的轧前断面积 F_H 和轧后断面积 F_h 之比表示:

$$\lambda = \frac{F_H}{F_h} \quad (1-5)$$

由于轧制时的宽展主要发生在热轧的开始阶段,冷轧时一般忽略宽展,根据体积不变定律,延伸系数也可写成以下形式:

$$\lambda = \frac{H}{h} = \frac{1}{1 - \varepsilon} \quad (1-6)$$

1.1.3 加工率计算

板带材生产中常用加工率反映变形的大小,因而有必要举例说明各道次压下量和道次加工率的计算。

例:退火带材厚 1.2 mm,经四道次轧制到 0.4 mm,压下分配如下:

$$1.2 \rightarrow 0.8 \rightarrow 0.65 \rightarrow 0.5 \rightarrow 0.4$$

计算各道次道次加工率和该轧程的总加工率。

解:(1) 道次压下量 $\Delta H = H - h$

以第三道次为例:

$$\text{第三道次压下量 } \Delta H_3 = 0.65 - 0.5 = 0.15 \text{ mm}$$

(2) 道次加工率

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H} \times 100\%$$

以第三道次为例:

$$\text{第三道次道次加工率 } \varepsilon_3 = \frac{0.65 - 0.5}{0.65} \times 100\% = 23.1\%$$

(3) 轧程总加工率 ε_Σ

$$\varepsilon_\Sigma = \frac{1.2 - 0.4}{1.2} \times 100\% = 66.7\%$$

各种变形程度的汇总表如表 1-1 所示。

表 1-1 各道次变形程度的汇总表

加工道次	变形前后尺寸		压下量	道次加工率	轧程总加工率/%
	H/mm	h/mm	$\Delta H/\text{mm}$	$\varepsilon/\%$	
1	1.2	0.8	0.4	33.3	66.7
2	0.8	0.65	0.15	18.8	
3	0.65	0.5	0.15	23.1	
4	0.5	0.4	0.1	20	

1.2 变形区及其参数

1.2.1 变形区

轧制时金属在轧辊间产生塑性变形的区域称为轧制变形区。在图 1-1 中,轧辊和轧件的接触弧,及轧件进入轧辊的垂直断面(AB)和出口垂直断面(CD)所围成的区域,称为几何变形区(图中阴影部分)或理想变形区。

实际上,在出、入口断面附近(几何变形区之外)局部区域内,轧件多少也有塑性变形存在,这两个区域称为非接触变形区。可见,实际轧制变形区包括几何变形区和非接触变形区。

1.2.2 变形区的主要参数

讨论简单轧制过程的基本概念,我们主要研究几何变形区。几何变形区的主要参数有:变形区的长度及平均宽度、咬入角、变形区形状系数等。

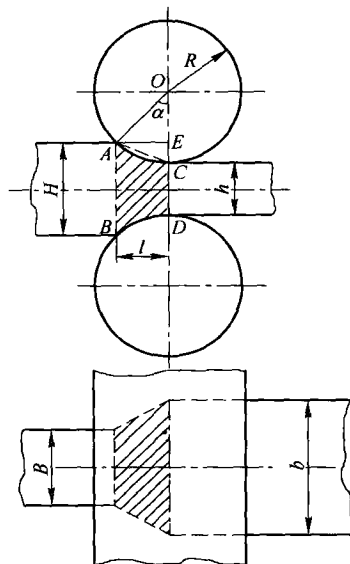


图 1-1 几何变形区

1.2.2.1 变形区的长度及平均宽度

变形区的长度是指接触弧 AC 的水平投影长度,在图 1-1 中变形区的长度 l 为 AE 段长度。在直角三角形 OAE 中 AE 为一个直角边。根据勾股定律得:

$$l^2 = OA^2 - OE^2$$

$$OA = R$$

$$OE = OC - CE = R - \frac{\Delta H}{2}$$

$$l^2 = R^2 - \left(R - \frac{\Delta H}{2}\right)^2 = R\Delta H - \frac{\Delta H^2}{4}$$

$$\text{变形区的长度为: } l = \sqrt{R\Delta H - \frac{\Delta H^2}{4}}$$

由于根号中的第二项比第一项小许多,可忽略不计,则变形区长度可近似地用下式表示:

$$l \approx \sqrt{R\Delta H} \quad (1-7)$$

变形区的平均宽度 $\bar{b}$ 可用变形前后的宽度的平均值表示,即:

$$\bar{b} = \frac{b + B}{2} \quad (1-8)$$

1.2.2.2 咬入角

咬入角是指轧件开始咬入时,轧件最先接触点与两轧辊中心连线的夹角,一般用 α 表示,当轧件全部进入到辊缝时,为接触角。即轧件与轧辊相接触的圆弧对应的圆心角。

$$OE = OC - CE = R - \frac{\Delta H}{2}$$

图 1-1 中,在直角三角形 OAE 中有: $OE = R\cos\alpha$

即

$$R \cos \alpha = R - \frac{\Delta H}{2}$$

$$\Delta H = D(1 - \cos \alpha) \quad (1-9)$$

当咬入角比较小时, 由于 $1 - \cos \alpha = 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} \approx \frac{\alpha^2}{2}$

公式 1-9 可简化成下列形式:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta H}{R}} \quad (1-10)$$

1.2.2.3 变形区形状系数

变形区形状系数一般用变形区长度 l 与轧件在变形区中平均厚度 $\bar{h}$ 的比值表示, 即:

$$\frac{l}{\bar{h}} = \frac{2 \sqrt{R \Delta H}}{H + h} \quad (1-11)$$

变形区形状系数对轧制时轧件的应力状态有影响, 因此, 此参数在研究轧制时的金属流动、变形及应力分布等具有重要意义。 $l/\bar{h} > 0.5 \sim 1.0$, 相当于轧制薄轧件, 热轧薄板和冷轧一般属于这种情况; $l/\bar{h} < 0.5 \sim 1.0$, 相当于轧制厚轧件, 铸锭热轧开坯时或轧制很厚的坯料时则属于这种情况。

1.3 轧制过程建立的条件

1.3.1 轧制过程的三阶段

在一个道次里, 轧件的轧制过程可以分为: 咬入阶段、稳定轧制阶段、轧制終了阶段三个阶段, 如图 1-2 所示。

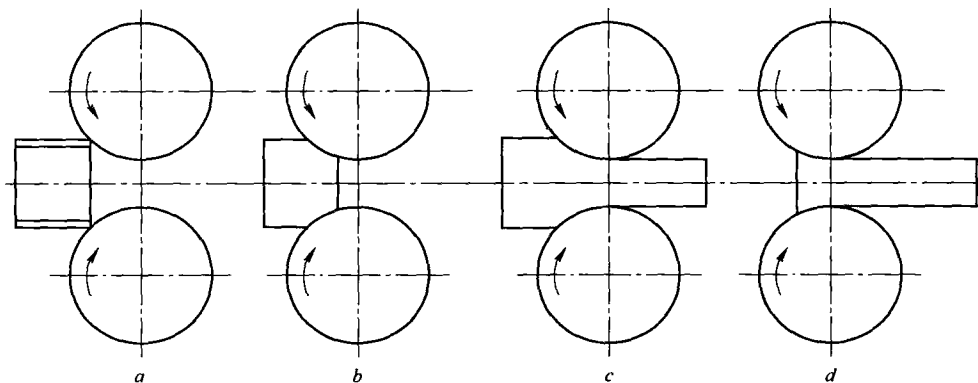


图 1-2 轧制过程图示

a, b—咬入阶段; c—稳定轧制阶段; d—轧制終了阶段

1.3.1.1 咬入阶段

依靠回转的轧辊与轧件间的摩擦力, 轧辊将轧件拖入轧辊之间的现象称为咬入。咬入阶段是轧制的开始阶段, 从轧件开始接触轧辊, 受摩擦力的作用, 轧件被旋转的轧辊咬入 (图 1-2a), 到轧件逐渐被拽入辊缝 (图 1-2b), 直至轧件完全充满辊缝为止。这一过程几乎在瞬间完成, 时

间很短,且随轧件逐渐充满辊缝,轧制变形区的各项参数都在发生变化,是个不稳定状态。由于咬入阶段关系到整个轧制过程能否建立,所以,无论在制定工艺,还是设计轧辊等,都要对此高度重视。

1.3.1.2 稳定轧制阶段

稳定轧制阶段是指轧件前端从辊缝出来,到轧件后端开始进入轧辊为止,此过程是轧制过程的主要阶段,整个阶段相对处于一个稳定的状态,通过研究此阶段的金属流动、变形及力的状况,从而进行有效的工艺控制、产品质量与精度控制和设备设计等,它是板带材轧制研究的主要对象。

1.3.1.3 轧制终了阶段

轧制终了阶段也称为抛出阶段,从轧件后端开始进入轧辊开始,轧件与轧辊逐渐脱离接触,直至轧件脱离轧辊被抛出为止。此阶段时间也很短,其变形和力学参数等均也发生变化。

1.3.2 咬入阶段的咬入条件

轧制过程能否建立,首先取决于轧件能否被旋转的轧辊咬入。因此研究分析咬入阶段的咬入条件具有重要的实际意义。从分析轧件受力着手,我们来讨论轧制时的咬入条件。

在简单轧制情况下,当轧件和旋转的轧辊相接触时,轧件受轧辊给的径向正压力 N 和摩擦力 T ,摩擦力 T 与正压力 N 垂直(图 1-3),与轧辊的旋转方向一致。

为了比较各力的作用,将它们分解成水平方向的分力和垂直方向的分力。如图 1-4 所示作用在水平方向上的分力 N_x 和 T_x 对轧制过程的建立起着不同的作用, N_x 是将轧件推出辊缝的力, T_x 是将轧件拉入辊缝的力。在无外力作用下,这两个力的大小决定了轧件是否能够咬入。

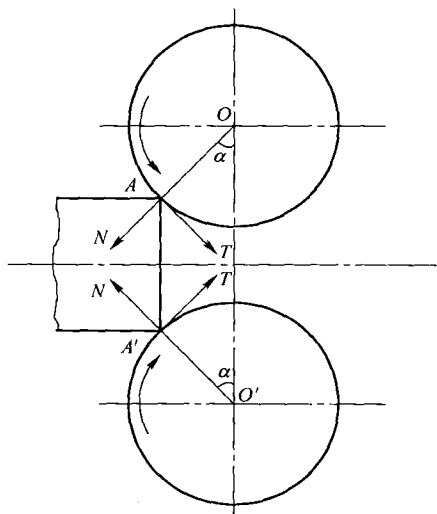


图 1-3 开始咬入时轧件的受力图

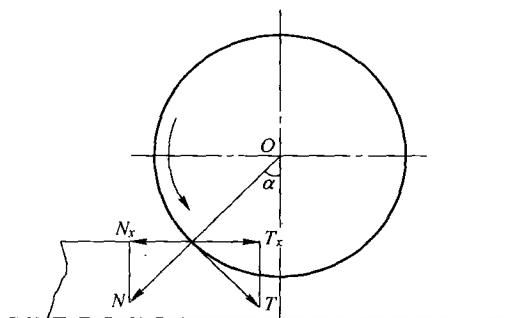


图 1-4 咬入时力的水平分解图

若 $N_x > T_x$ 时,不能咬入;若 $N_x < T_x$ 时,能够咬入; $N_x = T_x$,咬入的临界条件。

由图 1-4 可知: