



劳动和社会保障部培训就业司推荐
冶金行业职业教育培训规划教材

高速线材生产

GAOSU XIANCAI SHENGCHAN

袁志学 杨林浩 主编

冶金工业出版社

T635

劳动和社会保障部培训就业司推荐
冶金行业职业教育培训规划教材

高速线材生产

主 编 袁志学 杨林浩
副主编 白朝霞 徐雪霞

北 京
冶金工业出版社
2005

内 容 提 要

本书为冶金行业职业技能培训教材,是参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求编写的,并经劳动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。

全书共分8章,主要包括线材的轧制原理,高速轧机线材生产工艺,孔型与导卫装置,轧辊及轧机调整,主控台,线材的控制轧制与控制冷却,精整,高速线材轧机产品的质量控制等。

本书也可作为职业技术学院相关专业的教材,或工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

高速线材生产/袁志学,杨林浩主编. —北京:冶金工业出版社,2005.4

ISBN 7-5024-3648-0

I. 高… II. ①袁… ②杨… III. 线材轧制
IV. TG335.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 134071 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

责任编辑 俞跃春 美术编辑 王耀忠

责任校对 王永欣 李文彦 责任印制 李玉山

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

2005年4月第1版,2005年4月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;14.75印张;349千字;218页;1-5000册

39.00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

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

冶金行业职业教育培训规划教材

编辑委员会

主任 王子林 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会
主任委员;唐山钢铁公司 副总经理

曹胜利 冶金工业出版社 社长

副主任 董兆伟 河北工业职业技术学院 院长

鲁启峰 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会
副主任委员;中国钢协职业培训中心 副主任

顾问 北京科技大学 曲 英 王筱留 袁 康 施东成
委 员

首钢总公司	舒友珍	何智广	宝山钢铁公司	杨敏宏
太原钢铁公司	贾宝林	孟永钢	武汉钢铁公司	孙志桥
马鞍山钢铁公司	王茂龙	陈 宣	本溪钢铁公司	张春雨
唐山钢铁公司	宋润平	冯柄晓	江苏沙钢公司	黄国刚
济南钢铁公司	陈启祥	赵树俭	天津天铁公司	王金铭
南京钢铁联合公司	陈龙宝	朱朝全	钢协培训中心	宋 凯
承德钢铁公司	魏洪如	高 影	济源钢铁公司	靳沁萍
石家庄钢铁公司	侯 敏	冷学中	滦河集团公司	王爱民
首钢迁安钢铁公司	王宝军	王 蕾	河北冶金研究院	彭万树
邯郸钢铁公司	张晓力	李 阳	河北冶金设计院	周建宏
宣化钢铁公司	张聪山	李豪杰	港陆钢铁公司	赵福桐
淮阴钢铁公司	刘 瑾	王灿秀	邯钢衡水薄板厂	魏虎平
邢台钢铁公司	张力达	孙汉勇	半壁店钢铁公司	刘春梅
纵横钢铁公司	王建民	阚永梅	鹿泉钢铁公司	杜会武
河北工业职业技术学院	袁建路	李文兴	河北立国集团	郭志敏
山西工程职业技术学院	王明海	史学红		
冶金工业出版社	宋 良	(010-64027900, 3bs@cnmip.com.cn)		

序

吴溪淳

改革开放以来,我国经济和社会发展取得了辉煌成就,冶金工业实现了持续、快速、健康发展,钢产量已连续数年位居世界首位。这其间凝结着冶金行业广大职工的智慧 and 心血,包含着千千万万产业工人的汗水和辛劳。实践证明,人才是兴国之本、富民之基和发展之源,是科技创新、经济发展和社会进步的探索者、实践者和推动者。冶金行业中的高技能人才是推动技术创新、实现科技成果转化不可缺少的重要力量,其数量的迅速增长、素质的不断提高与否,关系到冶金行业核心竞争力的强弱。同时,冶金行业作为国家基础产业,拥有数百万从业人员,其综合素质关系到我国产业工人队伍整体素质,关系到工人阶级自身先进性在新的历史条件下的巩固和发展,直接关系到我国综合国力能否不断增强。

强化职业技能培训工作,提高企业核心竞争力,是国民经济可持续发展的重要保障,党中央和国务院给予了高度重视。在 2003 年的全国人事工作会议上,中央再一次明确了人才立国的发展战略,同时国家已开始着手进行终身学习法的制定调研工作。结合《职业教育法》的颁布实施,职业教育工作将出现长期稳定发展的新局面。

为了搞好冶金行业职工的技能培训工作,河北工业职业技术学院同冶金工业出版社和中国钢协职业培训中心密切协作,联合有关的冶金企业和职业技术学院,编写了这套冶金行业职业教育培训规划教材,并经劳动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,给予推荐。河北工业职业技术学院的各级领导和教师在时间紧、任务重的情况下,克服困难,辛勤工作,在有关单位的工程技术人员和教师的积极参与和大力支持下,出色地完成了前期工作,为冶金行业的职业技能培训工作的顺利进行,打下了坚实的基础。相信本套教材的出版,将为企业生产一线人员的理论水平、操作水平和管理水平的进一步提高,企业核心竞争力的不断增强,起到积极的推进作用。

随着近年来冶金行业的高速发展,职业技能培训工作也取得了巨大的成绩,

大多数企业建立了完善的职工教育培训体系,职工素质不断提高,为我国冶金行业的发展提供了强大的人力资源支持。我个人认为,今后的培训工作重点,应注意继续加强职业技能培训工作者的队伍建设,继续丰富教材品种,加强对高技能人才的培养,进一步加强岗前培训,加强企业间、国际间的合作,开辟新的局面。

展望未来,任重而道远。希望各冶金企业与相关院校、出版部门进一步开拓思路,加强合作,全面提升从业人员的素质,要在冶金企业的职工队伍中培养一批刻苦学习、岗位成才的带头人,培养一批推动技术创新、实现科技成果转化的带头人,培养一批提高生产效率、提升产品质量的带头人;不断创新,不断发展,力争使我国冶金行业职业技能培训工作跨上一个新台阶,为冶金行业持续、稳定、健康发展,做出新的贡献!

前 言

本书是按照劳动和社会保障部的规划,受中国钢铁工业协会和冶金工业出版社的委托,在编委会的组织安排下,参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求编写的。书稿经劳动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,由劳动和社会保障部培训就业司推荐作为冶金行业职业技能培训教材。

企业的发展动力来源于员工的较高素质,轧钢工的专业知识与技能的熟练掌握是企业高效率生产的根本保障。为了提高轧钢工的专业理论水平及操作技能水平,我们编写了这本《高速线材生产》培训教材。教材内容是依据《中华人民共和国职业技能鉴定标准——轧钢卷》,借鉴加拿大 CBE 理论和 DACUM 方法,根据高速轧机线材车间的实际情况和各岗位群技能要求确定的。

作为专业培训用书,在具体内容的组织安排上,我们力求简明、通俗易懂,理论联系实际,着重应用,便于学员掌握高速线材轧机的基本知识及技能操作;同时还兼顾了国家职业技能鉴定的相关知识点。

本书由袁志学和杨林浩任主编,白朝霞、徐雪霞任副主编。参加编写的有河北师范大学徐雪霞,河北工业职业技术学院袁志学、白朝霞、孟延军、张景进、戚翠芬、袁建路、关欣,邯郸钢铁集团有限责任公司杨林浩、王风愈、孙桂芬、崔丽芬,邯郸职业技术学院管理系许文芬。

由于编者水平所限,书中不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
现代材料表面技术科学	戴达煌 等编	99.00
楔横轧零件成型技术与模拟仿真	胡正寰 等著	48.00
轧制工程学	康永林 主编	32.00
金属材料工程专业实验教程	那顺桑 主编	22.00
加热炉	戚翠芬 主编	26.00
参数检测与自动控制	李登超 主编	39.00
有色金属压力加工	白星良 主编	33.00
黑色金属压力加工实训	袁建路 主编	22.00
金属压力加工理论基础	段小勇 主编	37.00
塑性加工金属学	王占学 主编	25.00
板带铸轧理论与技术	孙斌煜 等著	28.00
高精度轧制技术	黄庆学 等著	40.00
金属挤压理论与技术	谢建新 等著	25.00
金属塑性变形的实验方法	林治平 等编	28.00
高速轧机线材生产	本书编写组 著	75.00
二十辊轧机及高精度冷轧钢带生产	潘纯久 编著	69.00
特殊钢压力加工	薛懿德 等编	32.00
铸造流涂新工艺	张启富 等著	13.00
重要用途线材制品生产新技术	戴宝昌 主编	48.00
复合材料液态挤压	罗守靖 著	25.00
小型型钢连轧生产工艺与设备	李曼云 主编	75.00
轧钢车间机械设备	潘慧勤 主编	32.00
矫直原理与矫直机械	崔 甫 著	30.00
型钢孔型设计(第2版)	赵松筠 等编	24.00
轧制测试技术	喻廷信 主编	32.00
轧制工艺参数测试技术(第2版)	黎景全 主编	25.00
带钢热连轧的模型与控制	孙一康 编著	38.00
轧制过程的计算机控制系统	赵 刚 等编	25.00
轧制工艺润滑原理技术与应用	孙建林 著	29.00
金属塑性加工学——挤压、拉拔与管材冷轧	马怀宪 主编	35.00
连续挤压技术及其应用	钟 毅 著	26.00

目 录

1 线材的轧制原理	1
1.1 概述	1
1.2 摩擦系数在轧制过程中的作用	2
1.2.1 摩擦系数使得轧件咬入轧机	2
1.2.2 摩擦系数对前滑的影响	6
1.2.3 摩擦系数对单位变形抗力的影响	8
1.2.4 摩擦对于宽展的影响	9
1.2.5 外摩擦对轧制生产的其他影响	9
1.2.6 常用的摩擦系数计算公式	10
1.3 宽展	10
1.3.1 宽展的概念	10
1.3.2 研究宽展的意义	10
1.3.3 宽展的种类	11
1.3.4 影响宽展的因素	11
1.4 连轧与张力	17
1.4.1 连轧的基本概念	17
1.4.2 连续式线材轧机的传动方式	18
1.4.3 连轧与连轧状态	19
1.4.4 多机架连轧及其影响系数	20
1.4.5 连轧机的调整与控制	22
1.5 轧制压力	22
1.5.1 轧制压力的概念	22
1.5.2 影响轧制压力的因素	23
复习思考题	23
2 高速轧机线材生产工艺	25
2.1 高速线材轧机的产品	25
2.1.1 线材的定义	25
2.1.2 线材的用途	26
2.2 高速线材轧机生产的工艺特点	26
2.2.1 高速线材轧机的高速度轧制	27
2.2.2 控轧及轧后控制冷却	28
2.2.3 高速线材轧机的高质量控制	28
2.3 国产与引进高速线材轧机工厂的实例	29

2.3.1	沈阳线材厂	29
2.3.2	马钢高速线材厂	30
2.4	粗、中轧工艺和设备	32
2.4.1	粗、中轧的生产工艺	32
2.4.2	粗、中轧区的设备布置与参数	33
2.5	预精轧的工艺和设备类型及参数	38
2.5.1	预精轧的生产工艺	38
2.5.2	预精轧机的设备类型、参数与布置	39
2.6	精轧的工艺和设备类型及参数	43
2.6.1	以马钢高速线材厂为例说明精轧机组的生产工艺特点	43
2.6.2	以马钢高速线材厂为例说明精轧机组的设备类型、参数与布置	45
	复习思考题	50
3	孔型与导卫装置	51
3.1	概述	51
3.1.1	孔型设计的概念	51
3.1.2	孔型设计的内容	51
3.1.3	孔型设计的要求	51
3.2	粗轧、中轧孔型系统类型及选择	51
3.2.1	高速线材轧机常用的延伸孔型系统分析	52
3.2.2	粗、中轧延伸孔型系统的选择	56
3.2.3	粗、中轧延伸量的分配	56
3.3	预精轧及精轧机组孔型	58
3.3.1	预精轧、精轧机组孔型系统	58
3.3.2	预精轧、精轧机组孔型延伸系数的分配	58
3.3.3	精轧机组孔型	59
3.4	导卫装置	61
3.4.1	导卫的基本知识	61
3.4.2	导卫设计的基本原则	62
3.4.3	导卫装置的布置	63
3.4.4	滚动导卫装置	64
3.4.5	扭转导卫装置	69
3.4.6	滑动导卫装置	71
3.4.7	导卫配套设备	73
	复习思考题	74
4	轧辊及轧机调整	76
4.1	轧辊材质	76
4.1.1	高速线材轧机轧辊的牌号及主要指标	76

4.1.2 轧辊材质的选择	77
4.2 轧辊的冷却	79
4.2.1 热疲劳裂纹的产生与防止	79
4.2.2 选用合适的冷却水压力	79
4.2.3 冷却水嘴的安装位置及效果	80
4.2.4 冷却水的酸度	80
4.3 高速线材轧机的调整	80
4.3.1 高速线材轧机调整的高精度概念	80
4.3.2 粗、中轧机组轧制前的准备操作	80
4.3.3 粗、中轧机组轧制过程中的轧机调整操作	87
4.3.4 预精轧机组操作技能	92
4.3.5 精轧机组生产作业操作及技能	97
复习思考题	102
5 主控台	104
5.1 主控台概述	104
5.1.1 主控台所管辖的区域设备	104
5.1.2 主控台的职能与控制对象	104
5.1.3 主控台与生产调度室及各操作台(点)的分工和关系	104
5.1.4 主控台人员的操作技术素质要求	105
5.2 高速线材轧机电气控制与工艺过程自动化	105
5.2.1 高速线材连轧工艺对电气控制和自动化控制的要求	105
5.2.2 高速线材轧机各机组的主传动特点与参数	107
5.2.3 高速线材轧机自动检测	108
5.2.4 电子计算机与自动化控制	110
5.2.5 故障报警、信号显示和剪机联锁	117
5.3 主控台设备、功能与操作方式	119
5.3.1 主控台设备布置	119
5.3.2 操作台与操作方式	120
5.3.3 传动控制柜与操作方式	121
5.3.4 屏幕显示与画面	121
5.3.5 对讲通讯	123
5.4 轧制准备与参数设定	123
5.4.1 设定轧制程序	123
5.4.2 外部条件的要求与检查	126
5.4.3 故障确认→开机→轧制模拟→开轧	126
5.5 轧制过程控制操作	127
5.5.1 张力与速度调整	127
5.5.2 辊缝与转速、张力调整的关系	131

5.5.3	换辊(槽)后轧制速度调整与试轧	131
5.5.4	变换成品规格后轧制速度的设定	132
5.5.5	钢温变化与调整操作	133
5.5.6	坯料断面变化与调整	134
5.5.7	多线轧制的影响与调整	134
5.5.8	精轧机与夹送辊的速度关系调整	134
5.6	安全生产操作要点	134
5.6.1	轧制确认与检查	135
5.6.2	轧制控制和操作	135
5.6.3	轧线取样	135
5.6.4	轧辊冷却水控制	135
5.7	常见故障分析和处理措施	136
5.7.1	粗、中轧区	136
5.7.2	预精轧区	136
5.7.3	精轧区	137
	复习思考题	138
6	线材的控制轧制与控制冷却	139
6.1	控制轧制的概念	139
6.1.1	什么叫控制轧制	139
6.1.2	控制轧制的优点	139
6.1.3	控制轧制的种类	139
6.2	线材的控制轧制	140
6.2.1	线材控制轧制概况	140
6.2.2	采用控温轧制的工厂举例	141
6.3	控制冷却基本知识	144
6.3.1	控制冷却的概念	144
6.3.2	线材控制冷却的目的和要求	144
6.3.3	控制冷却的金属学原理	145
6.4	控制冷却的几种方法	148
6.4.1	线材控制冷却的3个阶段	148
6.4.2	斯太尔摩冷却法	149
6.4.3	施罗曼冷却法	151
6.4.4	其他控制冷却法	152
6.5	控制冷却工艺参数设计	154
6.5.1	终轧温度的设定	155
6.5.2	吐丝温度的设定	155
6.5.3	相变区的冷却速度控制	156
6.5.4	集卷温度的确定	157

6.5.5 头尾不冷段长度的设定	157
6.6 控制冷却岗位操作技能	157
6.6.1 控冷在线操作工操作技能	157
6.6.2 控冷操作台岗位的操作技能	168
6.6.3 集卷操作	173
复习思考题	175
7 精整	177
7.1 成品的修整、检查和取样	177
7.1.1 成品修整	177
7.1.2 成品检查	177
7.1.3 取样	179
7.2 盘卷的运输与打捆	180
7.2.1 盘卷运输的类型和特点	180
7.2.2 打捆机	186
7.3 电子称量系统操作技能	191
7.3.1 电子秤	192
7.3.2 标牌机	193
7.3.3 精整区域跟踪设备	193
7.4 卸卷站操作技能	194
7.4.1 卸卷站的设备布置和工作原理	195
7.4.2 卸卷站操作	195
复习思考题	196
8 高速线材轧机产品的质量控制	197
8.1 产品缺陷及质量控制	197
8.1.1 线材使用的质量要求	197
8.1.2 热轧盘条质量控制	201
8.2 各类产品的生产特点和质量控制	209
8.2.1 焊线钢	209
8.2.2 硬线	211
8.2.3 软线	212
8.2.4 低合金钢线材	213
8.2.5 合金钢线材	214
8.2.6 冷镦钢线材	215
复习思考题	217
参考文献	218

1 线材的轧制原理

1.1 概述

轧制原理对于正确地进行工艺计算和孔型设计并正确分析、判断生产中经常发生的各种工艺问题是十分重要的。运用理论解决生产实践问题,可以避免盲目实践的倾向。然而,目前有关轧制理论的研究,大多局限于简单轧制过程。这种研究结果对于板、带生产有一定实际意义,但对线材生产来说就显得远远不够了。线材轧制是个复杂变形过程,金属在变形区内的变形由于多变量的参与会变得异常复杂。另外,一般的理论论述,多局限于求一般数学解,用以解决生产实际问题尚有较大距离。

关于轧制理论的一般性研究已有专门书籍论述,本章只对与线材生产关系比较密切的几个方面作一些简要分析和介绍。

通过两个旋转方向相反的轧辊之间的轧件,在高度上受到压缩,长度增加以改变其原来的断面尺寸和形状的过程称为轧制。经过多道次连续轧制最终将轧件变为所要求的断面形状和尺寸,并且通过轧制使成品轧件具有良好的综合机械性能,这些是线材生产工艺所要研究的主要内容。同时,在整个线材生产过程中力求优质、高产、低消耗和最佳经济效果则是线材生产工作者不断追求的目标。

轧辊将轧件拖入轧辊之间的现象称为咬入,咬入条件是建成轧制过程的首要条件。咬入靠摩擦力的作用来实现,因此钢的轧制变形是靠摩擦建立的。另外,摩擦还影响着轧制变形区内金属沿纵向和横向的流动情况、轧制能力的大小等,所以在研究线材生产工艺时必须对摩擦的特性及其作用有充分的认识。

在稳态轧制过程中,可以认为轧辊转数不变,同一半径的圆周上各点速度 v_R 为常数,但由于金属被压缩时向中性面两侧流动,使得轧件出口速度 $v_{出}$ 大于轧辊圆周速度 v_R , 轧辊圆周速度 v_R 又大于轧件入口速度 $v_{入}$, 其关系是:

$$v_{入} < v_R < v_{出} \quad (1-1)$$

在这种情况下轧件在出口侧和入口侧都有一个相对于轧辊的滑动量,出口侧的滑动量用前滑系数 S 表示:

$$S = \frac{v_{出} - v_R}{v_R} \times 100\% \quad (1-2)$$

前滑系数 S 是连轧工艺设计中关键性的参数之一,其值在各孔型轧制方程式中误差较大,所以求解前滑系数 S 依然是连轧生产经常遇到的难题之一,为此本章对前滑系数 S 作了一些具体分析。

线材生产中另一个比较突出的现象是变形热。无论老式横列式线材轧机或新式的高速连续线材轧机,轧制温度的保持和控制都是保证工艺稳定的主要问题。线材细而长的特点使得温度变化比较突出。随着轧制速度的提高,变形热在线材生产中的作用愈来愈大,在一定条件下轧制变形热不仅可以补偿轧件热量的散失,甚至还有多余,因而造成轧制温度升高。轧制温度是轧制过程中的又一个重要参量。线材生产者都知道轧制温度的重要性。可惜迄今为止,有关这方面

的论述还很缺乏,所以有关变形热的分析和讨论亦是本章重点之一。

线材连轧生产工艺的优越性已被公认,新建线材厂均采用连轧工艺,原来的横列式线材轧机也正在逐步为连续式线材轧机所替代,现代化的线材轧机向着更高速度的集体拖动的连轧机组发展着,这是由线材生产本身特点所决定的必然发展趋势。为了更好地运用不断出现的各种科技成果,促进线材生产更快地发展,就需要对连轧原理本身有一个透彻的理解,并提出运用这些理论的实施手段和方法。此外,其他方面的知识,诸如宽展、轧制力与轧制功等,本章也将简要地予以介绍和分析。

1.2 摩擦系数在轧制过程中的作用

1.2.1 摩擦系数使得轧件咬入轧机

1.2.1.1 轧件咬入轧辊的几种情况

既然轧辊咬入轧件建立起轧制过程是靠摩擦力的作用,那么摩擦系数的大小必然决定着可能的最大变形程度,这一点对于粗轧机能力的发挥和建成可靠的轧制过程是很重要的。在实际生产中,轧辊咬入轧件有以下几种可能:

(1) 轧件与轧辊接触后,顺利进入轧辊并完成轧制全过程。这是所希望得到的正常现象。

(2) 轧件与轧辊接触后,轧件不能进入轧辊,即不能咬入,也就不能进行轧制。

(3) 轧件与轧辊接触后被轧辊咬入,但不能完成轧制全过程,轧件突然停在轧辊中打滑而中止前进。

后两种情况多数发生在粗轧机列的前几道次;而最后一种情况又经常出现在开轧的第一道次。

1.2.1.2 咬入条件

A 摩擦力、摩擦系数与摩擦角

在分析咬入条件以前,需要了解一下摩擦力、摩擦系数和摩擦角的关系。

如图 1-1 所示,随斜面 OA 倾角 θ 的增加,当重力 P 沿 OA 方向下滑的分力 P_x 等于与其作用方向相反的摩擦阻力 T_x 时,该物体即产生下滑运动。此刻总反力 F 与法向反力 N 之间的夹角 β 称为摩擦角。

摩擦角与摩擦系数的关系如下:

物体下滑分力

$$P_x = P \sin \theta$$

摩擦阻力

$$T_x = fN = fP \cos \theta$$

当 $P_x = T_x$ 时,则可得

$$f = \tan \beta \quad (1-3)$$

通过以上讨论得出结论:摩擦角的正切等于摩擦系数。

B 咬着的时的作用力分析

分清轧件对轧辊或者是轧辊对轧件的作用力与摩擦力,以及判别它们的作用方向,是一个很

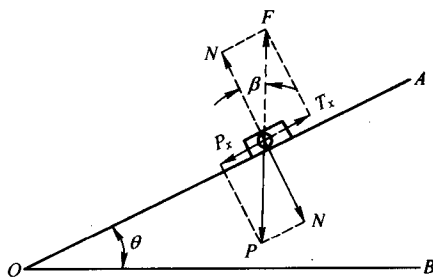


图 1-1 确定摩擦角

重要的问题。

a 轧件对轧辊的作用力与摩擦力

如图 1-2 所示,在辊道的带动下轧件移至轧辊前,使轧件与轧辊在 A 和 A' 两点接触,轧辊在两接触点受轧件的径向压力 N' 的作用,并产生与 N' 垂直的摩擦力 T' 。因轧件企图阻止轧辊转动,故 T' 的方向应与轧辊转动方向相反。

b 轧辊对轧件的作用力与摩擦力

根据牛顿定律,两个物体相互之间的作用力与反作用力大小相等、方向相反,并且作用在同一条直线上。因此,轧辊对轧件将产生与 N' 力大小相等、方向相反的径向力 N 以及在 N 力作用下产生与 T' 方向相反的切向摩擦力 T ,如图 1-3 所示。径向力 N 有阻止轧件继续运动的作用,切向摩擦力 T 则有将轧件拉入轧辊辊缝的作用。

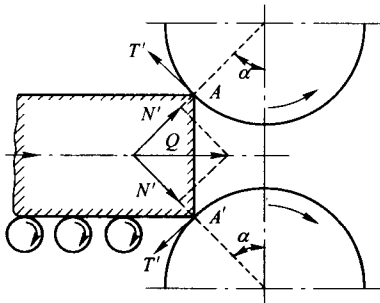


图 1-2 轧件对轧辊的作用力与摩擦力

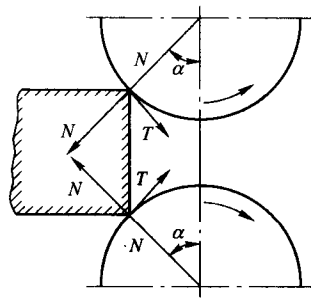


图 1-3 轧辊对轧件的作用力与摩擦力

C 平辊咬入轧件的条件

a 用力表示的咬入条件

在生产实践中,有时因压下量过大或轧件温度过高等原因,轧件不能被咬入。而只有实现咬入并使轧件继续顺利通过辊缝才能完成轧制过程。

为判断轧件能否被轧辊咬入,应将轧辊对轧件的作用力和摩擦力作进一步分析。如图 1-4(a)所示,作用力 N 与摩擦力 T 分解为垂直分力 N_y 、 T_y 和水平分力 N_x 、 T_x 。垂直分力 N_y 、 T_y 对轧件起压缩作用,使轧件产生塑性变形,有利于轧件被咬入; N_x 与轧件运动方向相反,阻止轧件咬入; T_x 与轧件运动方向一致,力图将轧件拉入辊缝。显然 N_x 与 T_x 之间的关系是轧件能否咬入的关键,两者可能有以下三种情况[见图 1-4(b)]:

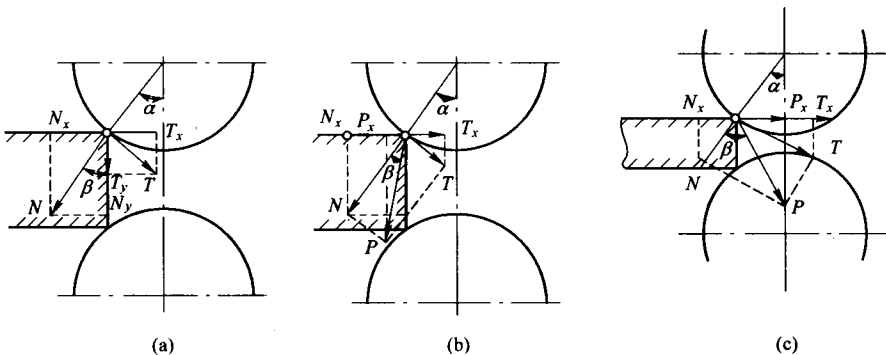


图 1-4 作用力与摩擦力的分解

若 $N_x > T_x$, 则轧件不能咬入, 见图 1-4(b);

若 $N_x < T_x$, 则轧件可以咬入, 见图 1-4(c);

当 $N_x = T_x$ 时, 轧件处于平衡状态, 是咬入的临界条件, 见图 1-4(a)。若轧件原来水平运动速度为零, 则不能咬入; 若轧件原来处于运动状态, 在惯性力作用之下, 则可能咬入。

b 用角度表示的咬入条件

由图 1-4 可得到

$$T_x = T \cos \alpha = f N \cos \alpha$$

$$N_x = N \sin \alpha$$

当 $T_x > N_x$ 时

$$f N \cos \alpha > N \sin \alpha$$

$$f > \tan \alpha$$

$$\tan \beta > \tan \alpha$$

$$\beta > \alpha$$

这就是轧件的咬入条件。

当 $T_x < N_x$ 时, 同样可推得 $\beta < \alpha$, 轧件不能咬入轧机。

当 $T_x = N_x$ 时, 同样可推得 $\beta = \alpha$ 是轧件咬入的临界条件。

由此可得出结论: 咬入角小于摩擦角是咬入的必要条件; 咬入角等于摩擦角是咬入的极限条件, 即可能的最大咬入角等于摩擦角; 如果咬入角大于摩擦角则不能咬入。

通常将咬入条件定为

$$\alpha \leq \beta \quad (1-4)$$

在连轧机组内, α 角可以取得较大的数值。一方面由于在压下量较大的前几道次轧制速度比较低, 一般小于 1m/s, 这时摩擦系数较大, 所以允许咬入角也就较大; 另一方面, 除第一道次属于自然咬入外, 其余连轧道次在咬入时都存在一个附加的推力 T' , 这时的咬入条件为:

$$T' + T \cos \alpha \geq P \sin \alpha \quad (1-5)$$

例如, 某线材厂采用 $\phi 420\text{mm}$ 连轧机组 (铸铁轧辊), 其咬入角高达 27° , 轧机仍能正常工作。

D 孔型对咬入的影响

轧件在孔型中咬入时, 因孔型侧壁的作用, 使轧辊对轧件作用力的方向较平辊咬入时发生变化, 故咬入条件也不同。现以矩形断面轧件在箱形孔型中轧制为例, 对孔型中轧制的咬入条件加以分析。

轧件开始进入孔型时, 最先与孔型侧壁接触并实现咬入, 这是咬入的第一阶段; 随后轧件继续前进, 到轧件前端接触孔型槽底开始进入咬入的第二阶段, 直至轧件前端出辊缝建立稳定轧制阶段为止。

在第一阶段, 经过推导可得孔型中咬入的咬入条件为:

$$\alpha \leq \frac{\beta}{\sin \varphi} \quad (1-6)$$

一般孔型侧壁斜角 φ 为 $2^\circ \sim 22^\circ$, 无论如何 $\varphi < 90^\circ$, 故 $\sin \varphi < 1$ 。可见, 与平辊咬入条件 $\alpha \leq \beta$ 相比, 孔型中的咬入能力是平辊咬入能力的 $1/\sin \varphi$ 倍。侧壁斜度越小, 咬入能力改善程度越大。

当轧件与孔型侧壁接触并满足式 (1-6) 的条件时, 轧件开始进入辊缝。当轧件前进到前端接触孔型槽底时, 开始咬入的第二阶段。设在槽底接触点对应的咬入角为 α_2 , 则类似平辊咬入条件, 若能满足

$$\alpha_2 \leq \beta$$