

高职高专规划教材

SUXING BIANXING YU ZHAZHI YUANLI

塑性变形与轧制原理

袁志学 王淑平 主编



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

高职高专规划教材

塑性变形与轧制原理

主 编 袁志学 王淑平
副主编 戚翠芬 任素波 李秀敏
主 审 赵志毅

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2008

内 容 提 要

本书为高职高专规划教材,以企业生产现场实际为主线,突出应用与实训技能,坚持新颖性、适用性原则。

全书共分 14 章,主要内容包括:绪论,塑性变形的力学基础,金属在塑性加工变形中组织性能的变化,塑性变形的基本定律,金属塑性加工中的摩擦与润滑,金属的塑性与变形抗力,金属塑性变形时应力和变形的不均匀性,轧制的基本问题,实现轧制过程的条件,轧制时金属的横变形——宽展,轧制过程中的纵变形——前滑与后滑,金属对轧辊的压力,轧制力矩及功率,轧制时的弹塑性曲线,连轧的基本理论。

本书可作为大专院校和职业技术学院冶金、材料、机械专业通用教材,也可作为有关职业培训教材或有关人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

塑性变形与轧制原理/袁志学,王淑平主编. —北京:
冶金工业出版社, 2008. 9

高职高专规划教材

ISBN 978-7-5024-4617-8

I. 塑… II. ①袁… ②王… III. ①金属-塑性变形-
高等学校:技术学校-教材 ②金属-轧制理论-高等学校-
教材 IV. TG111.7 TG331

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 138072 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 心 版式设计 张 青

责任校对 白 迅 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4617-8

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

2008 年 9 月第 1 版; 2008 年 9 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm; 1/16; 13.25 印张; 352 千字; 197 页; 1 - 3000 册

27.00 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)

序

随着冶金工业不断发展，现代化的进程越来越快，传统的知识和操作技能已不能适应企业发展的需要，因而社会急需掌握新知识、新技术、懂管理的高技能人才。有关资料表明，目前冶金企业中，在生产、技术、管理一线的高技能人才不足5%。现代化冶金行业的发展和高技能人才的短缺，对人才的培养提出了更高的要求，受企业欢迎的人才应该是既具有操作技能，又能利用所学知识分析问题、解决实际问题。培养这样的人才需要与之配套的全新的教材，而符合这种要求的教材十分匮乏。河北工业职业技术学院与邯郸钢铁集团有限责任公司合作，在时间紧、任务重的情况下，克服各种困难编写了这本教材，并经北京科技大学专家评审通过。

本教材实用性很强，教材内容符合国家职业技能鉴定标准，能够满足现场轧钢工岗位要求，既适用于高职高专学生，又适用于企业生产一线人员。希望其他冶金企业要积极与职业院校、出版部门加强合作，编写出符合冶金企业发展，融入新知识、新技术的高水平的教材，为提升从业人员素质，为冶金企业持续、稳定发展做出新的贡献！

邯郸钢铁集团有限责任公司总工程师 张晓力
2008年7月

前 言

企业的发展动力来源于员工的较高素质，为了提高金属材料工程专业（轧钢）理论水平及操作技能水平，我们编写了这本《塑性变形与轧制原理》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，根据轧钢生产现场情况和轧制的各岗位群技能要求确定的。

《塑性变形与轧制原理》作为学校教学、冶金企业职工培训用书，在具体内容的组织安排上，力求知识少而精，通俗易懂，理论指导实践。

参加本书编写的有河北科技职业技术学院王淑平，河北工业职业技术学院袁志学、戚翠芬、任素波、李秀敏、袁建路、张景进、陈敏、李永刚，邯郸钢铁集团有限责任公司琚锦琨、杨振东、姚政、张世红。全书由袁志学、王淑平担任主编。北京科技大学的赵志毅教授担任主审。在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处，敬请广大读者批评和指正。

编 者

2008 年 6 月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
楔横轧零件成型技术与模拟仿真	胡正寰 等著	48.00
铝合金无缝管生产原理与工艺	邓小民 著	60.00
轧制工程学(本科教材)	康永林 主编	32.00
材料成形工艺学(本科教材)	齐克敏 等编	69.00
加热炉(第3版)(本科教材)	蔡乔方 主编	32.00
金属塑性成形力学(本科教材)	王 平 等编	26.00
金属压力加工概论(第2版)(本科教材)	李生智 主编	29.00
材料成形实验技术(本科教材)	胡灶福 等编	16.00
冶金热工基础(本科教材)	朱光俊 主编	30.00
塑性加工金属学(本科教材)	王占学 主编	25.00
轧钢机械(第3版)(本科教材)	邹家祥 主编	49.00
炼铁设备及车间设计(第2版)(国规教材)	万 新 主编	29.00
炼钢设备及车间设计(第2版)(国规教材)	王令福 主编	25.00
机械工程实验教程(本科教材)	贾晓鸣 等编	30.00
机械制图(本科教材)	田绿竹 等编	30.00
机械制图习题集(本科教材)	王 新 等编	28.00
机电一体化技术基础与产品设计(本科教材)	刘 杰 等编	38.00
机械优化设计方法(第3版)(本科教材)	陈立周 主编	29.00
通用机械设备(第2版)(职业技术学院教材)	张庭祥 主编	26.00
冶金技术概论(职业技术学院教材)	王庆义 主编	26.00
机械安装与维护(职业技术学院教材)	张树海 主编	22.00
金属压力加工理论基础(职业技术学院教材)	段小勇 主编	37.00
参数检测与自动控制(职业技术学院教材)	李登超 主编	39.00
有色金属压力加工(职业技术学院教材)	白星良 主编	33.00
黑色金属压力加工实训(职业技术学院教材)	袁建路 主编	22.00
轧钢车间机械设备(职业技术学院教材)	潘慧勤 主编	32.00
轧钢工艺润滑原理技术与应用	孙建林 著	29.00
轧钢生产实用技术	黄庆学 等编	26.00
板带铸轧理论与技术	孙斌煜 等著	28.00
小型型钢连轧生产工艺与设备	李曼云 主编	75.00
矫直原理与矫直机械(第2版)	崔 甫 著	42.00

目 录

0 绪论	1
0.1 金属压力加工的概念、主要方法及其发展和作用	1
0.1.1 金属压力加工概念	1
0.1.2 金属压力加工的优点	1
0.1.3 金属压力加工的主要方法	1
0.2 金属压力加工在国民经济中的作用及其发展	4
习题	5
1 塑性变形的力学基础	6
1.1 塑性加工时所受的外力	6
1.1.1 作用力	6
1.1.2 约束反力	6
1.2 内力、应力、应力集中	7
1.2.1 内力	7
1.2.2 应力	8
1.2.3 应力集中	8
1.3 变形	9
1.4 应力状态及应力图示、变形图示	10
1.4.1 应力状态	10
1.4.2 应力图示	11
1.4.3 变形图示	14
习题	17
2 金属在塑性加工变形中组织性能的变化	19
2.1 在冷加工变形中组织性能的变化	19
2.1.1 金属组织的变化	19
2.1.2 金属性能的变化	21
2.1.3 退火与回复、再结晶	22
2.2 热加工对组织与性能的影响	27
2.2.1 热加工的变形特点	27
2.2.2 金属组织性能的变化	28
2.3 钢材组织性能的控制——控制轧制	29
2.3.1 控制轧制的概念	29
2.3.2 控制轧制与钢材的强度、韧性	30

2.3.3 轧制工艺参数的控制	31
习题	35
3 塑性变形的基本定律	36
3.1 体积不变定律及应用	36
3.1.1 体积不变定律	36
3.1.2 体积不变定律的应用	36
3.2 最小阻力定律及其应用	37
3.2.1 最小阻力定律的内容	37
3.2.2 墩粗矩形六面体时金属质点的流动	38
3.2.3 轧制生产中金属质点的流动	38
3.3 弹塑性共存定律	39
3.3.1 弹塑性共存定律	39
3.3.2 弹塑性共存定律在压力加工中的实际意义	40
3.4 极限状态理论	41
3.4.1 极限状态理论	41
3.4.2 主应力差理论 (Tresca 屈服条件)	42
3.4.3 能量理论 (Mises 屈服条件)	43
3.4.4 例题	44
习题	45
4 金属塑性加工中的摩擦与润滑	46
4.1 外摩擦的影响与特征	46
4.1.1 外摩擦的影响	46
4.1.2 外摩擦的特征	47
4.2 摩擦理论	48
4.2.1 塑性变形时摩擦的分类	48
4.2.2 干摩擦理论	49
4.3 影响外摩擦的因素	49
4.3.1 工具的表面状态	50
4.3.2 变形金属的表面状态	50
4.3.3 变形金属和工具的化学成分	50
4.3.4 变形温度	50
4.3.5 变形速度	51
4.3.6 冷却水	51
4.4 冷轧工艺润滑	52
4.4.1 冷轧工艺润滑的作用	52
4.4.2 对冷轧工艺润滑剂的要求、工艺润滑剂的基本类型	52
4.5 轧制时的摩擦系数	53
4.5.1 热轧时摩擦系数的计算	53

4.5.2 冷轧时摩擦系数的计算	54
习题	54
5 金属的塑性与变形抗力	56
5.1 金属塑性的概念及测定方法	56
5.1.1 金属塑性的基本概念	56
5.1.2 金属塑性的测定方法	56
5.1.3 塑性图	59
5.2 影响塑性的因素及提高塑性的途径	60
5.2.1 金属的自然性质	60
5.2.2 变形温度对塑性的影响	63
5.2.3 变形速度的影响	65
5.2.4 变形力学条件对塑性的影响	65
5.2.5 其他因素对塑性的影响	66
5.2.6 提高塑性的途径	67
5.3 变形抗力	67
5.3.1 变形抗力的几个概念	67
5.3.2 影响变形抗力的因素	67
5.3.3 金属真实变形抗力的确定	70
5.3.4 降低变形抗力常用的工艺措施	72
习题	73
6 金属塑性变形时应力和变形的不均匀性	75
6.1 一般概念	75
6.1.1 均匀变形和不均匀变形	75
6.1.2 基本应力、附加应力、工作应力、残余应力	75
6.2 变形及应力不均匀分布的原因	76
6.2.1 接触面上外摩擦的影响	76
6.2.2 变形区几何因素的影响 (H/d)	77
6.2.3 工具和工件的影响	77
6.2.4 变形体温度分布不均匀的影响	79
6.2.5 金属本身性质不均匀的影响	80
6.2.6 变形物体外端的影响	80
6.2.7 变形物体内部残余应力的影响	81
6.3 变形及应力不均匀分布所引起的后果及减小措施	82
6.3.1 变形及应力不均匀分布的后果	82
6.3.2 减轻应力及变形不均匀分布的措施	83
6.4 不均匀变形造成的轧件断裂	85
6.4.1 轧制时产生的内部横裂	85
6.4.2 轧制时产生的角裂	86

6.4.3	轧制时产生的劈头	86
6.4.4	轧板时的边裂和薄件的中部裂	87
6.4.5	挤压和拉拔时工件产生的断裂	87
	习题	89
7	轧制的基本问题	90
7.1	简单轧制与非简单轧制	90
7.1.1	简单轧制	90
7.1.2	非简单轧制	90
7.2	变形区主要参数	91
7.2.1	变形区的概念	91
7.2.2	变形区的主要参数	91
7.3	轧制过程的三阶段	93
7.3.1	咬入阶段	93
7.3.2	稳定轧制阶段	93
7.3.3	甩出阶段	94
7.4	轧制变形的表示方法	94
7.4.1	绝对变形量	94
7.4.2	相对变形量	94
7.4.3	变形系数	95
7.4.4	总延伸系数、部分延伸系数与平均延伸系数	96
7.5	平均工作直径与平均压下量	97
7.5.1	平均工作直径	97
7.5.2	平均压下量	98
7.6	变形速度、轧制速度及其计算	98
7.6.1	变形速度及其计算	98
7.6.2	轧制速度及其计算	101
	习题	102
8	实现轧制过程的条件	104
8.1	咬入条件	104
8.1.1	摩擦力、摩擦系数与摩擦角	104
8.1.2	轧件咬入时的作用力分析	104
8.1.3	轧辊咬入轧件的条件	105
8.1.4	孔型对咬入的影响	106
8.2	剩余摩擦力的产生及稳定轧制的条件	108
8.2.1	剩余摩擦力的产生	108
8.2.2	建立稳定轧制状态后的轧制条件	109
8.3	最大压下量的计算方法	109
8.3.1	按最大咬入角计算最大压下量	109

8.3.2	按摩擦系数计算最大压下量	110
8.3.3	型材轧制时的压下量	110
8.4	影响咬入的因素及改善咬入的措施	111
8.4.1	轧辊直径 D 、压下量 Δh 和咬入角 α 三者之间的关系	112
8.4.2	影响咬入的因素	112
8.4.3	改善咬入的措施	113
8.5	三种典型轧制情况	113
8.5.1	第一种轧制情况	113
8.5.2	第三种轧制情况	115
8.5.3	第二种轧制情况	116
8.6	轧制变形区的应力状态	117
8.6.1	工具形状和尺寸的影响	117
8.6.2	外摩擦的影响	120
8.6.3	外力的影响	121
8.6.4	轧件尺寸的影响	122
	习题	122
9	轧制时金属的横变形——宽展	124
9.1	宽展的种类和组成	124
9.1.1	宽展的概念	124
9.1.2	研究宽展的意义	124
9.1.3	宽展的种类	125
9.1.4	宽展的组成	126
9.2	影响宽展的因素	128
9.2.1	相对压下量 $\Delta h/H$ 的影响	128
9.2.2	轧辊直径的影响	128
9.2.3	轧件宽度的影响	130
9.2.4	摩擦系数的影响	130
9.2.5	轧制道次的影响	133
9.2.6	张力对宽展的影响	134
9.2.7	工具形状对宽展的影响	134
9.3	孔型中轧制时横变形的特点	135
9.3.1	在孔型中轧制时,沿轧件宽度的压下量不均匀	135
9.3.2	轧件与轧辊接触的非同时性	135
9.3.3	孔型的凸、平、凹形组合、孔型侧壁的侧向力的作用	136
9.3.4	孔型中轧制时有速度差现象	136
9.4	计算宽展的公式	137
9.4.1	若兹公式	137
9.4.2	彼德诺夫-齐别尔公式	138
9.4.3	巴赫契诺夫公式	138

9.4.4 艾克隆德公式	139
习题	140
10 轧制过程中的纵变形——前滑与后滑	141
10.1 轧制时的前滑和后滑	141
10.1.1 前滑的产生及表示方法	141
10.1.2 研究前滑的意义	142
10.2 前滑的计算公式	143
10.3 中性角的确定	144
10.4 前滑、后滑与纵横变形的关系	145
10.5 前滑的影响因素	148
10.5.1 轧辊直径的影响	148
10.5.2 摩擦系数的影响	149
10.5.3 相对压下量的影响	149
10.5.4 轧件厚度的影响	150
10.5.5 轧件宽度的影响	150
10.5.6 张力对前滑的影响	150
习题	151
11 金属对轧辊的压力	152
11.1 轧制压力的概念	152
11.2 接触面积的确定	153
11.2.1 在平辊上轧制矩形断面轧件时的接触面积	153
11.2.2 在孔型中轧制时接触面积的确定	154
11.3 计算平均单位压力的公式	155
11.3.1 采利柯夫公式	155
11.3.2 斯通公式	158
11.3.3 西姆斯公式	160
11.3.4 艾克隆德公式	161
11.3.5 计算平均单位压力的其他公式	163
11.3.6 按实验法确定轧制力	163
11.4 影响轧制压力的因素	164
11.4.1 轧件材质的影响	164
11.4.2 轧件温度的影响	164
11.4.3 变形速度的影响	164
11.4.4 外摩擦的影响	165
11.4.5 轧辊直径的影响	165
11.4.6 轧件宽度的影响	165
11.4.7 压下率的影响	166
11.4.8 前后张力的影响	166

习题	167
12 轧制力矩及功率	168
12.1 辊系受力分析与轧制力矩	168
12.1.1 简单轧制过程	168
12.1.2 单辊驱动的轧制过程	168
12.1.3 具有张力作用时的轧制过程	169
12.1.4 四辊轧机轧制过程	169
12.2 轧制时传递到主电机上的各种力矩	171
12.2.1 轧制时的功能消耗	171
12.2.2 轧制时的各种力矩	171
12.2.3 静力矩 M_j 与轧制效率 η	171
12.3 各种力矩的计算	172
12.3.1 轧制力矩	172
12.3.2 附加摩擦力矩	175
12.3.3 空转力矩	176
12.3.4 动力矩	177
12.4 主电机容量校核	177
12.4.1 轧制图表与静力矩图	177
12.4.2 可逆式轧机的负荷图	178
12.4.3 主电机容量的核算	179
习题	181
13 轧制时的弹塑性曲线	182
13.1 轧制时的弹性曲线	182
13.2 轧件的塑性曲线	184
13.3 轧制时的弹塑性曲线	185
13.4 轧制弹塑性曲线的实际意义	188
习题	189
14 连轧的基本理论	191
14.1 连轧的特殊规律	191
14.1.1 连轧的变形条件	191
14.1.2 连轧的运动学条件	192
14.1.3 连轧的力学条件	192
14.2 连轧张力	192
14.2.1 连轧张力微分方程	192
14.2.2 张力公式	193

14.3 堆拉系数和堆拉率.....	194
14.3.1 前滑系数.....	194
14.3.2 堆拉系数和堆拉率.....	195
习题.....	196
参考文献.....	197

0 绪 论

0.1 金属压力加工的概念、主要方法及其发展和作用

《塑性变形与轧制原理》是金属压力加工和轧钢专业的主要专业基础课之一，也是专业课程的“开路先锋”，因此该课程在本专业的学习中占有重要的地位。

0.1.1 金属压力加工概念

金属塑性加工是利用金属能够产生永久变形的能力，使其在受外力作用下进行塑性成形的一种金属加工技术，也称为金属压力加工。

炼钢车间生产出来的连铸坯或钢锭，其内部组织疏松多孔，晶粒粗大且不均匀，含有偏析等缺陷（连铸坯的质量一般较模铸锭为高），因此连铸坯或钢锭一般都必须经过压力加工使其成坯或成材，以满足机器制造业或其他工业的需要。连铸坯或钢锭通过压力加工使其产生塑性变形，变形后不仅能变更其断面的形状和尺寸，而且也能改变其内部组织及其性能。

金属塑性加工时，若不计切头、切尾、切边和氧化烧损等损失，可认为变形前后金属的质量相等；如果忽略变形中金属的密度变化也可认为变形前后金属的体积不变，所以也把塑性加工称为无屑加工。

0.1.2 金属压力加工的优点

金属压力加工和金属切削加工、铸造、焊接等其他过程相比，主要有以下优点：

- (1) 因无废屑，可以节约大量的金属，成材率高；
- (2) 可改善金属的内部组织及其性能；
- (3) 生产率高，适合大批量生产。

0.1.3 金属压力加工的主要方法

常见的主要金属压力加工方法有锻造、轧制、挤压和拉拔等。

0.1.3.1 锻造

锻造即指通常所说的“打铁”，它是一种古老的金属压力加工方法。锻造是用锻锤的往复冲击力或用压力机的压力使金属改变成所需要形状和尺寸的一种加工方法。它分为自由锻造和模型锻造两种，如图0-1所示。自由锻造是在上下往复运动的平锤头或曲面锤头的冲击下，使金属产生塑性变形的，下锤头（铁砧）通常是固定的。模型锻造是将金属放在锻模中，使金属产生塑性变形而获得与模膛一样的形状。

锻造对破碎金属的铸态组织极为有利，对提高金属的塑性和改善金属的质量有许多优点，所以这些生产方式广泛应用于各工业部门，可以生产几克到200t以上各种形状的锻件，如各种轴类、曲柄和连杆等。

0.1.3.2 轧制

轧制指金属在两个旋转的轧辊之间进行塑性变形的过程。轧制的目的不仅是改变金属的形

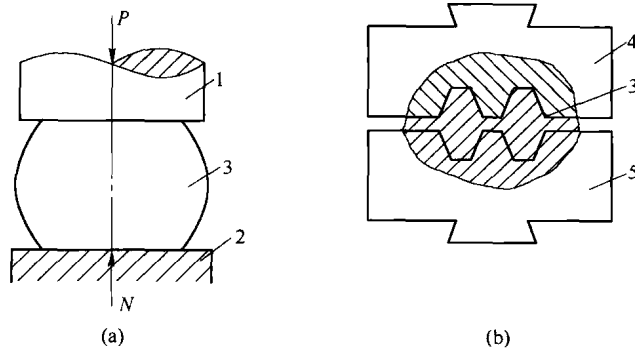


图 0-1 自由锻造 (a) 和模型锻造 (b)

1—锤头；2—毡座；3—锻件；4—上模；5—下模

状（断面减小、形状改变、长度增加），而且也使金属获得一定的组织和性能。

由于轧制的生产率高、产量大、产品种类多，因此在各种压力加工方法中应用最为广泛，在钢铁联合企业中发展成为与炼铁、炼钢生产相应的流水生产线，并且在发展中形成了从半成品到各类成品（型钢、棒线材、板带钢、钢管等）的生产体系。

目前，轧制产品的种类和规格达数万种。轧机的种类和规格虽然很多，但总体来说轧制的基本方式大致分为三种：纵轧、斜轧和横轧（见图 0-2 ~ 图 0-4）。

A 纵轧

如图 0-2 所示，轧件在相互平行且旋转方向相反的两轧辊之间进行塑性变形，而坯料行进方向与轧辊轴线在水平面上的投影相互垂直。轧制后一般轧件的厚度减小，而长度和宽度增加，其中以长度增加为主。不论金属是冷态还是热态均可进行这种轧制，它是轧制生产中应用最广泛的一种轧制方法，如各种型材和板带材的生产。

B 斜轧

轧件在两个轴线相互呈一定角度且旋转方向相同的轧辊之间产生塑性变形，轧件沿轧辊交角的中心水平线方向进入轧辊，并在变形时产生螺旋运动（既有旋转，又有前进）。斜轧应用很广，常用于轧制管材和变断面型材。斜轧的变形过程如图 0-3 所示。

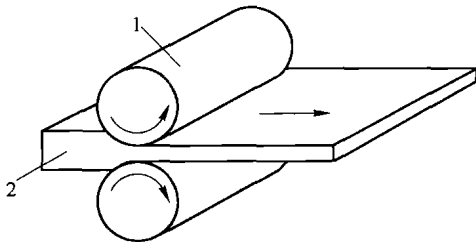


图 0-2 纵轧示意图

1—轧辊；2—轧件

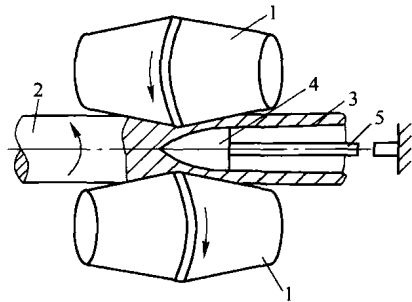


图 0-3 斜轧简图

1—轧辊；2—坯料；3—毛管；4—顶头；5—顶杆

C 横轧

轧件在两个旋转方向相同的轧辊之间产生塑性变形，如图 0-4 所示。这种轧制，轧件只做旋转运动且与轧辊的旋转方向相反，故轧件与轧辊的轴线相互平行，因此这种轧制方式可以用

来生产齿轮及车轮等产品。

0.1.3.3 挤压

挤压的实质是将金属放在封闭的圆筒内，一端施加压力（如借助水压机）使金属从模孔中挤出而得到不同断面形状的成品（如型材、棒材、线材及管材等）的加工方法。

挤压生产多用于有色金属的加工以及国防工业部门，近年来也用于挤压钢材上，特别是耐热合金及低塑性金属的加工以及钛合金的挤压等。

挤压分正挤压和反挤压。正挤压时，挤压轴的运动方向和从模孔中挤出的金属前进方向一致；而反挤压时，挤压轴的运动方向和从模孔中挤出的金属前进方向相反。图 0-5 为正挤压简图。

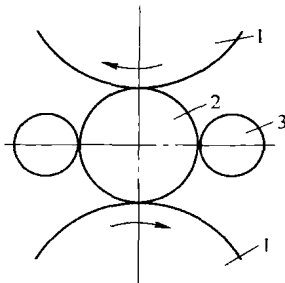


图 0-4 横轧简图

1—轧辊；2—轧件；3—支撑辊

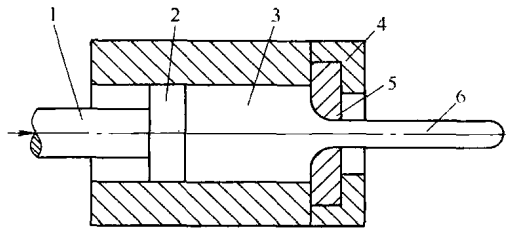


图 0-5 挤压简图

1—挤压棒；2—挤压垫；3—坯料；

4—模座；5—模子；6—产品

0.1.3.4 拉拔

包括拔管及拉丝过程。拔管过程是在外力作用下将中空管坯通过模孔（用芯棒或不用芯棒）使管径变小、管壁减薄（或加厚）的过程；拉丝是使金属线材通过模孔，从而使金属断面缩小、长度增加的一种加工方法，如图 0-6 所示。

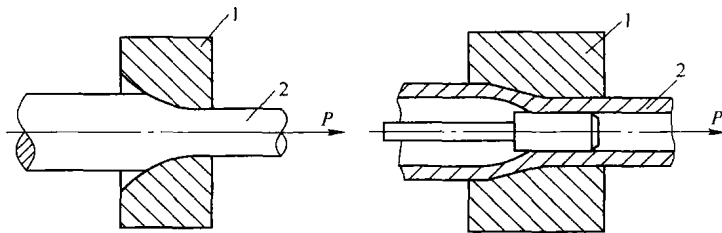


图 0-6 拉拔简图

1—模子；2—制品

拉拔一般多在冷状态下进行，可拔制断面较小的产品（如直径 0.015mm 的金属丝，直径 0.3mm 的金属管），且产品表面光洁，尺寸精确。拔制时由于产生加工硬化，金属的强度和硬度均有所增高。

0.1.3.5 冲压

冲压是靠压力机的冲头把厚度较小的板带顶入凹模中，冲压成需要的形状。用这种方法可以生产有底薄壁的空心制品，如图 0-7 所示。

薄板冲压的产品有飞机零件、弹壳、汽车外壳、零件以及各种仪器的零件及日常生活用品，如碗、盆等。