

中等专业学校教学用书

轧钢学

冶金工业出版社

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书

轧 钢 学

北京冶金机电学院 傅德武 主编

•

冶金工业出版社出版

(北京红古口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 32 3/4 字数 779 千字

1983年3月第一版 1983年6月第一次印刷

印数 00,001~5,000 册

统一书号: 15062·3983 定价2.60元

前 言

《轧钢学》一书，是根据1978年冶金部中等专业学校教材工作会议制订的轧钢专业教学计划和教学大纲编写的。全书有：金属塑性变形理论基础；轧制理论基础；轧制生产工艺的一般问题；钢坯生产；型钢生产；板、带钢生产；钢管生产；特殊形式的轧制生产及轧钢车间设计基础知识等九篇。本书主要作为中等专业学校轧钢专业教学用书，也可供大学有关专业和本专业工程技术人员学习参考。

本书由北京冶金机电学院傅德武主编。参加编写的有包头钢铁学院王鑫（第一、二篇）；傅德武（绪论，第三、四、五、六篇及其它篇的部分章节）；长沙冶金工业学校陈肃群（第七、八、九篇）。全书由北京冶金机电学院马玉森审阅。

本书部分初稿在有关学校的试用过程中和在最后修改定稿阶段，很多同志提出了宝贵意见。编者在这里谨向这些同志和审阅的同志表示感谢！

对本书中的缺点和错误，衷心希望读者批评指正。

编 者

1981.10.

目 录

绪论	1
第一篇 金属塑性变形理论基础	3
第一章 塑性变形的实质	3
第一节 力与变形	3
第二节 应力状态及其图示	7
第三节 变形图示与变形的力学图示	9
第四节 金属的塑性变形机理	11
第二章 塑性变形对金属结构与性能的影响	15
第一节 冷变形对金属结构与性能的影响	15
第二节 回复与再结晶	17
第三节 冷变形与热变形的概念	18
第四节 热变形对金属结构与性能的影响	20
第三章 塑性变形的基本定律	21
第一节 体积不变定律	21
第二节 最小阻力定律	22
第三节 极限状态理论	23
第四节 相似定律	26
第五节 塑性变形时的外摩擦定律	27
第六节 附加应力定律	28
第四章 金属的塑性与变形抗力	29
第一节 塑性与变形抗力的概念	29
第二节 塑性的测定与表示方法	29
第三节 各种因素对塑性的影响	30
第四节 金属与合金的超塑性	34
第五节 变形抗力	36
第二篇 轧制理论基础	39
第五章 轧制的一般问题	39
第一节 简单与非简单轧制条件	39
第二节 变形区及其参数	40
第三节 变形的表示方法	41
第四节 平均工作辊径与平均压下量	43
第五节 移位体积	45
第六节 变形速度	47
第六章 实现轧制的条件	49
第一节 摩擦力、摩擦系数与摩擦角	49
第二节 轧件与轧辊间的作用力与摩擦力	49

第三节	实现轧制的条件	50
第四节	最大压下量的计算方法	52
第五节	轧制时的摩擦系数	53
第六节	促进咬入的措施	56
第七章	轧制时的宽展	59
第一节	宽展的种类	59
第二节	宽展的分布	60
第三节	影响宽展的因素	61
第四节	宽展的实质	64
第五节	宽展计算公式	68
第八章	轧制时的前滑与后滑	69
第一节	前滑的测定与表示方法	69
第二节	前滑区、后滑区与中立面	69
第三节	前滑的计算方法	71
第四节	中立角	73
第五节	影响前滑的因素	75
第九章	轧件对轧辊的压力	77
第一节	一般概念	77
第二节	接触面积的确定	78
第三节	沿接触弧单位压力的分布	79
第四节	计算平均单位压力的公式	83
第十章	轧制时的功能消耗与各种力矩	89
第一节	功与力矩的种类	89
第二节	各种力矩的计算	90
第三节	能耗曲线与辊颈上的扭矩	93
第四节	轧制图表与静力矩图	94
第五节	动力矩图	95
第六节	主电机容量的核算	97
第三篇	轧制生产工艺的一般问题	99
第十一章	轧制的基本工艺过程	99
第一节	轧制产品的分类	99
第二节	轧制的原料	101
第三节	轧制前原料的准备	102
第四节	轧制前金属的加热	106
第五节	轧制	110
第六节	轧制后金属的冷却	113
第七节	钢材的精整	114
第十二章	孔型与轧制	116
第一节	孔型的形式与分类	116
第二节	孔型的构成	117
第三节	孔型在轧辊上的配置规则	119
第四节	轧辊的车削	123

第五节 变形量的分配原则·····	124
第四篇 钢坯生产 ·····	127
第十三章 初轧坯生产·····	127
第一节 初轧机的分类·····	127
第二节 初轧车间及其生产工艺·····	128
第三节 初轧机的发展趋势·····	134
第四节 压下规程与孔型设计·····	135
第五节 可逆式轧机的速度制度·····	144
第十四章 中小型钢坯轧机——连轧机·····	157
第一节 钢坯连轧机·····	157
第二节 孔型设计特点·····	159
第十五章 中小型钢坯轧机——三辊式开坯机·····	164
第一节 三辊开坯车间及其生产工艺·····	164
第二节 “共轭”孔型的设计·····	166
第十六章 连铸坯生产·····	176
第一节 连铸法的发展·····	176
第二节 连铸生产工艺·····	176
第三节 连铸生产的现状与展望·····	180
第五篇 型钢生产 ·····	183
第十七章 型钢轧机·····	183
第一节 轨梁轧机·····	183
第二节 大、中型轧机·····	191
第三节 小型轧机与线材轧机·····	194
第十八章 延伸孔型设计·····	204
第一节 延伸孔型的种类及其特点·····	204
第二节 延伸孔型的结构·····	208
第三节 延伸孔型设计理论基础(5)·····	210
第四节 过渡断面的经验确定方法·····	217
第五节 设计实例·····	220
第十九章 简单断面钢材孔型设计·····	225
第一节 精轧孔型设计的一般问题·····	225
第二节 方钢的轧制方法与孔型设计·····	226
第三节 圆钢的轧制方法与孔型设计·····	231
第四节 扁钢的轧制方法与孔型设计·····	242
第五节 角钢的轧制方法与孔型设计·····	248
第二十章 异形断面钢材的轧制与孔型设计·····	258
第一节 异形断面钢材孔型设计基础·····	258
第二节 工字钢的轧制方法·····	262
第三节 工字钢的孔型设计·····	263
第四节 槽钢的轧制方法·····	271
第五节 槽钢的孔型设计·····	275
第六节 钢轨的轧制方法·····	278

第七节 钢轨的孔型设计.....	281
第二十一章 导卫装置及其设计.....	288
第一节 横梁尺寸的确定.....	288
第二节 卫板设计.....	289
第三节 导板设计.....	292
第四节 其它形式的导卫装置.....	294
第五节 围盘.....	297
第六篇 板、带钢生产.....	301
第二十二章 厚板生产.....	301
第一节 厚板轧机的型式.....	301
第二节 厚板的轧制方法.....	303
第三节 厚板车间及其生产工艺过程.....	305
第四节 厚板轧机发展趋势.....	307
第五节 厚板轧机的压下规程(4).....	309
第六节 辊型设计(劳特式轧机)(7).....	319
第二十三章 热轧(宽)带钢生产.....	328
第一节 带钢的热轧方法.....	328
第二节 带钢热连轧机发展概况.....	330
第三节 带钢热连轧车间概况.....	333
第四节 带钢热连轧机的变形制度.....	336
第五节 带钢轧机厚度自动控制工艺基础.....	342
第六节 轧辊凸度设计(8).....	349
第二十四章 冷轧带钢生产.....	356
第一节 轧机型式及其特点.....	356
第二节 辊型设计原则与控制方法.....	358
第三节 冷轧板、带钢工艺一般问题.....	361
第四节 冷轧硅钢生产工艺.....	363
第二十五章 迭轧薄板生产.....	371
第一节 迭轧薄板生产的特点及产品.....	371
第二节 迭轧薄板生产工艺.....	372
第三节 迭轧薄板的轧辊.....	380
第四节 辊型的控制与调整.....	383
第五节 压下规程设计(4).....	386
第七篇 钢管生产.....	395
第二十六章 自动轧管机组生产无缝钢管.....	395
第一节 自动轧管机组.....	395
第二节 生产工艺与坯料准备.....	397
第三节 穿孔原理及工具设计.....	399
第四节 轧管、均整及工具设计.....	410
第五节 定径、减径和张力减径.....	415
第六节 钢管精整.....	419
第七节 轧制表的编制.....	421

第二十七章 热轧无缝钢管的其它生产方法	427
第一节 周期式轧管机	427
第二节 连续式轧管机	429
第三节 挤压钢管生产	432
第四节 顶管生产	435
第五节 三辊式轧管机组	437
第六节 各种无缝钢管生产方法的比较	439
第二十八章 焊接钢管生产	442
第一节 焊接钢管生产概述	442
第二节 连续式炉焊钢管生产	447
第三节 电弧焊接钢管生产	449
第四节 焊接钢管生产的发展方向	454
第二十九章 钢管的冷轧和冷拔	456
第一节 冷轧和冷拔钢管生产特点	456
第二节 钢管的冷轧	457
第三节 钢管的冷拔	460
第四节 旋压法生产无缝钢管	468
第八篇 特殊形式的轧制生产	471
第三十章 周期断面型钢生产	471
第一节 纵轧周期断面钢材生产	471
第二节 纵轧周期断面——螺纹钢筋生产	473
第三节 横轧周期断面钢材生产	476
第三十一章 其它特殊断面钢材生产	478
第一节 整轧车轮与轮箍生产	478
第二节 钢球的轧制	482
第三节 弯曲型钢	483
第九篇 轧钢车间设计基础知识	487
第三十二章 轧钢机的生产能力	487
第一节 轧机生产率	487
第二节 轧制图表与轧制节奏	488
第三节 轧机的平均生产率	491
第四节 轧机综合年产量	492
第三十三章 轧钢车间技术经济指标	494
第一节 轧钢车间技术经济指标	494
第二节 一吨产品的原材料消耗	494
第三十四章 轧钢车间设计一般知识	498
第一节 轧钢车间在联合企业中的地位	498
第二节 轧钢车间设计	500
主要参考书	511

绪 论

炼铁、炼钢与轧钢是钢铁工业的三个主要生产过程。概括的讲，炼铁生产是铁矿石的还原反应过程；炼钢生产是生铁中所含杂质（碳、硅、锰、磷及硫等）的氧化反应过程；轧钢生产则是对炼钢车间所生产的钢锭或连铸坯进行加工成型的过程。钢锭的内部组织比较疏松多孔，晶粒粗大且不均匀，偏析现象比较严重（连铸坯的质量一般较模铸钢锭为高），因此，通过加工不仅能够改变金属的断面形状和尺寸，同时也改善了其组织结构与性能。轧钢学就是研究以轧制方法生产钢材的一门科学。

使物体成型的方法，归纳起来可分为以下三种基本方式。

1. 以减少变形物体质量的方法进行成型。如各种车削加工，随加工过程有碎的废屑生成。

2. 以增加变形物体质量的方法进行成型。如焊接（铸造生产也应属于此法之列）加工等，将一些局部的单元体，拼组成一定的形状。

3. 保持变形物体质量不变的成型方法。如轧制、锻造、拉拔、冲压、挤压等，对这些各具其特点的加工方法，统称之为“金属的压力加工”。如不计加工过程中金属的切损、烧损等诸项损失（因这些并不属于成型方式造成的损失），均可认为加工前后金属的质量相等。如忽略变形过程中金属的密度变化，可认为变形前后金属的体积不变。

金属压力加工与其它加工方式相比，有以下特点：1）因无加工废屑生成，可以节约大量金属；2）可以改善金属的铸造组织和性能；3）生产率较高，适于大规模生产。

金属压力加工生产过程，也可以说是使被加工金属产生塑性变形的过程，故又可称其为金属的塑性加工。由于上述特点，占产量90%以上的钢，都需经过压力加工而使之成坯或成材。

如上所述，金属压力加工的具体生产方法很多，为说明各种方法的特征，通常可选择以下两种方法对其进行分类。

1. 按加工时的温度特征 可分为：冷加工与热加工（有人主张在介于二者之间还有一种所谓的温加工）。

2. 按工件的受力与变形的特征 可分为：主要靠压力成型，如锻造、轧制及挤压等；主要靠拉力成型，如拉拔、冲压、拉伸等；主要靠弯矩或剪力成型，如弯曲、剪切等。此外，为了扩大品种和提高成型效率，也可使用上述两种或两种以上的方法组合加工方式，如锻造-轧制、轧制-挤压等。

在上述诸方法中，使用最为广泛的、生产率最高、产量最大、产品种类最多的要属轧制方法，以致在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、板钢及钢管等）的生产体系。

轧制生产至今已有一百多年的历史（这是西方的提法，按苏联人的说法，他们在十六世纪就已研制出了轧机。我国的近代钢铁企业始建于1890年，所建的轧钢机于1907年投产）。最初的轧制方法，是以单辊传动的二辊式轧机轧制薄板。现在的轧机就轧辊的数目

已有三辊、四辊……十二辊、二十辊等多种形式，并且使其适于某种产品的轧制。轧机架数也从一架到数架，甚至数十架之多，而轧制产品的种类和规格也数万种。轧机的种类和规格虽然很多，但总的说来轧制的基本方式，不外乎如下图所示的三种。

1. 纵轧 如图 1 所示，工作辊的转动方向相反，轧件的纵向轴线与工作辊的水平轴线在水平面上的投影相互垂直，轧制后的轧件不仅断面减小、形状改变，长度亦有较大的增长。

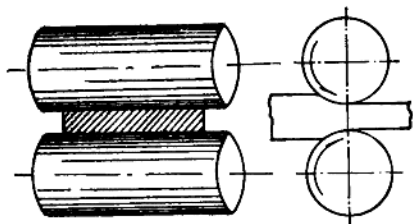


图 1 纵轧

2. 横轧 如图 2 所示，工作辊转动方向相同，轧件的纵向轴线与轧辊轴线平行或成一定锥角，轧制时轧件随轧辊作相应的转动。

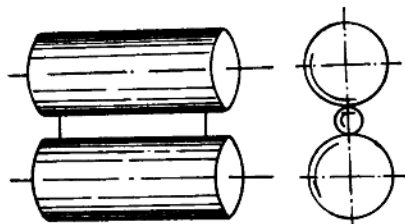


图 2 横轧

3. 斜轧 如图 3 所示，工作辊转动方向相同，其轴线与轧件纵向轴线在水平面上的投影相互平行，但在垂直面上的投影各与轧件纵轴成一交角，因而轧制时轧件既旋转，又前进。

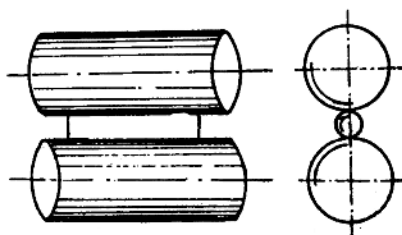


图 3 斜轧

这三种轧制方法，纵轧法应用最广，而横轧与斜轧主要用于回转体的轧制。本书中以对纵轧法的介绍为主，斜轧法主要用于钢管生产，对横轧法仅作一般性介绍。

第一篇 金属塑性变形理论基础

金属压力加工原理是随着金属压力加工和机械制造业的发展,为解决理论与实践方面的需要,而建立和发展起来的一门学科,所涉及的内容也比较广泛。这里所指的金属塑性变形理论基础,乃为结合本课学习轧制原理和生产工艺的需要,从这门学科中所提取出来的一些必要的基础知识。

金属塑性变形理论基础主要包括两部分内容——塑性金属学与塑性力学。前者用于阐述塑性的概念,金属塑性变形的实质,以及塑性变形对金属结构和性能的影响;后者则为应力与变形间关系的近代学说,在金属压力加工过程中的应用,以及对研究塑性变形过程中的一些基本定律的论证。以上这些内容,虽然其中有些还不能直接用于轧制过程中的定量计算,但用以定性地解释塑性变形过程中的一些现象,还是非常必要的。总之,为进一步研究轧制原理和解决轧制生产工艺中的一些问题,这些内容都是非常必要的。

第一章 塑性变形的实质

第一节 力与变形

力作用于物体,可产生两种效果:一是改变物体的运动状态;二是在一定条件下造成对该物体运动的阻碍,在物体内产生相应的内力,同时引起物体形状和尺寸的改变——变形。这种变形有两种可能,一是暂时的,即当导致变形的因素不存在时,物体回复原状,称这种变形为弹性变形;另一种是,当导致变形的因素不存在时,物体不回复原状,称这种变形为塑性变形。我们这里讨论的是后一种变形。

一、外力

在压力加工过程中金属所承受的外力,可以归纳为以下三种。

作用力——通常将压力加工设备的可移动工具部分施于变形金属上的外力,称为作用力或主动力。如

图(1-1)为自由锻造,锻压加工时锤头可移动部分所施加于金属上的压力 P ;

图(1-2)为拉拔,拉拔加工时工件所承受的牵引力 P ;

图(1-3)为挤压,挤压加工时活塞对金属推挤的压力 P 等。

作用力的大小由被加工金属变形时所需的能量大小而定,即取决于其所需的变形功。变形功等于所施于金属上的作用力与工具可动部分的位移的乘积。

压力加工中的作用力,可以在压力加工过程中用仪器进行实测,也可以根据理论和经验方法进行计算。根据所得的作用力大小,可对加工机械设备的强度和动力设备的功率进行核算。

约束反力——工件在主动动力 P 的作用下，其运动受到工具另外组成部分的阻碍而产生约束反力时，才有可能使金属产生变形。即作用力与约束反力是由工具的不同组成部分共同施加于变形金属上的外力。由于约束反力的作用方向总是通过工具表面的法线方向，故又称为正压力。应该注意：不能把约束反力与物理中的反作用力的概念混淆起来。

摩擦力——在变形过程中，沿工件与工具接触表面间金属质点有相对运动或有产生运动的趋势时，其接触面上就要产生摩擦力。摩擦力的作用方向总是沿着工具表面并且与金属质点运动的方向相反。摩擦力虽然发生于工具与工件的接触面上，但其对变形的影响并不仅限于在接触面上，即其影响随距接触面间距离的增加而逐渐减弱，如图（1-1）所示，变形后的金属侧面产生畸形而呈鼓形。不难看出，摩擦力对变形的金属也有一定的制约作用，因此摩擦力又是另外一种形式的约束反力，只是作用的方向不同罢了。也就是说加工工件的变形是在主动力的作用下，其整体运动和金属质点的流动受到约束反力的作用而产生的。

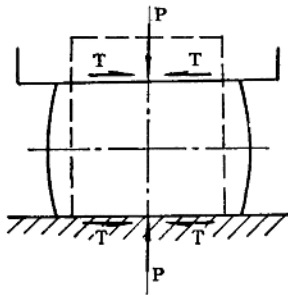


图 1-1 自由锻造

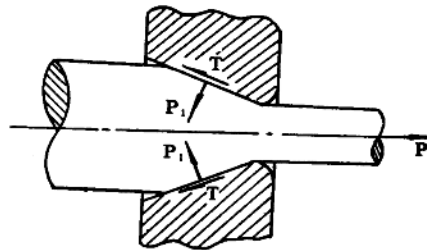


图 1-2 拉拔

轧制时金属所受的外力还要更复杂一些，关于这一点将在轧制理论中进一步地研究。

二、内力与应力

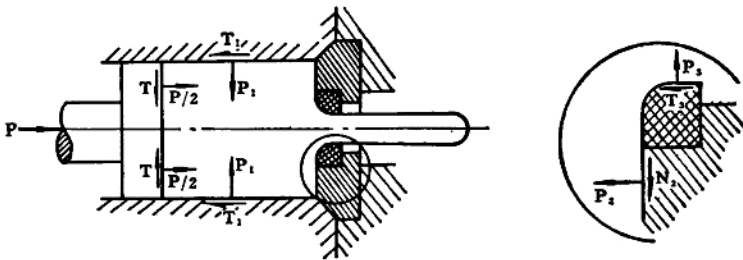


图 1-3 挤压

内力——金属与合金都是结晶结构，即其原子是按一定顺序和间距结合在一起的。在这些原子间既存在有使之不能分离的吸引力，又有使之不能致密无间的排斥力，在理想条件下这种吸引力和排斥力的代数和应等于零，各原子间相互处于一种稳定平衡的间距之下，使各原子的位能保持最小的数值，其内力等于零。若原子间的这一平衡间距遭到破坏，则在物体内部将有内力存在。如受压时原子间排斥力将增加，当受到拉伸时，吸引力将

随之而增长。

综上所述，以下两种情况均可导致内力的发生。

1. 为平衡外部机械作用而引起的内力 如前所述，在外力的作用下并造成物体运动的阻碍时，为平衡外力的作用而在物体内部产生内力。也就是说在压力加工过程中为平衡作用力与约束反力（有时还有摩擦力）的作用而产生的内力。

2. 由于物理或物理-化学等过程而引起的内力 不均匀变形、不均匀加热或冷却（物理过程）及金属内部的相变（物理-化学过程）等，也可以促使金属内部产生内力。例如，一金属块由于温度不均匀而引起两侧膨胀的大小不一致，此金属为一整体，故高温侧的膨胀将受到低温侧的抑制而受到压力，而低温侧则受到张力。在无外力作用的条件下，由于这种力的结果，在金属内部也产生了内力。这种内力有时也能到达很大数值，以致使金属产生变形甚至破裂。

应力——内力的强度称为应力，或者说是内力的大小以应力来度量，即以单位面积上所作用的内力大小表示之。为平衡外部机械作用而产生的内力强度称为显应力；由于物理或物理-化学过程而产生的内力称为隐应力。

当所研究的截面上其应力为不均匀分布时，内力与该截面面积的比值称为平均应力。在这种情况下，如欲表示截面上某一处的实际应力时，可用该处一极小面积上的内力 ΔP 与极小面积 ΔF 的比值的极限表示之，即

$$\sigma = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta Q}$$

当内力均匀地分布于所研究的截面上时，方有可能以其上某一点的应力表示该截面上应力数值的大小。按图（1-4），拉伸时截面为 Q 的试样，它与作用力成不同角度时截面上的应力大小分别为

$$\sigma = \frac{P}{Q}$$
$$\sigma_x = \frac{P}{Q_x} = \frac{P}{Q/\cos x} = \sigma \cos x$$

为便于研究可将任一截面 F_x 上的应力 σ_x 分解为垂直于该截面上的法线应力 σ_n 与平行于该截面的切应力 τ ，即

$$\sigma_n = \sigma_x \cos x = \sigma \cos^2 x \quad (1-1)$$

$$\tau = \sigma_x \sin x = \frac{1}{2} \sigma \sin 2x \quad (1-2)$$

如图（1-4）所示，在任意截面 Q_x 上，既作用有法线应力 σ_n ，又有切应力 τ 。在截面 Q 上只有法线应力存在，其切应力为零。把切应力为零的截面称为主平面，作用于主平面上的法线应力为主应力。相应，沿着主应力方向所发生的变形称为主变形。

三、变形

在物体上施以外力，并由约束反力的作用而造成该物体运动的阻碍，物体内部相应地产生内力，同时引起物体的变形，故物体的变形是受外力与内力同时作用的结果，而物体中内力的出现就是为了平衡外力的作用。

如前所述，金属是通过原子间的作用力（吸引力与排斥力），把原子紧密地结合在一

起的。为使金属开始产生变形，所施加的外力就必须足以克服其原子间所相互作用的力或能。

图(1-5)为一理想晶体中的原子点阵及其势能曲线示意图。当原子彼此处于一平衡间距时，原子间的吸引力与排斥力相等。各原子均处于最稳定的位置上，其间势能最低，即内力为零。显然，在AB一线上的原子处于 A_0 、 A_1 、 A_2 等位置时最为稳定。如果 A_0 处的原子要移到 A_1 位置上去，就必须越过高为 h 的“势垒”方为可能。

当所施于物体上的力或能不足以克服上述势垒时，仅能迫使原子离开其稳定平衡位置而处于不稳定状态，即原子间距有所改变，势能随之增高，卸载后原子仍要回到其原有的平衡位置上去，结果使变形消失，在其内部所蓄积的能量也就不复存在了，这就是所谓的弹性变形（又称可逆变形）。既然弹性变形过程中原子的间距发生微小的改变，当然物体的体积也必然会相应地有所变化。若能突破上述势垒而使大量原子定向地从原有的平衡位置而转移到另一平衡位置上去，这就产生了塑性变形（又称不可逆变形）。在塑性变形过程中虽然物体的形状和尺寸发生了改变，但其原子间距仍与变形前一样，因此在塑性变形过程中，金属体积保持不变。在塑性变形过程中所施于变形金属的能量，也就转变为热能而散失。

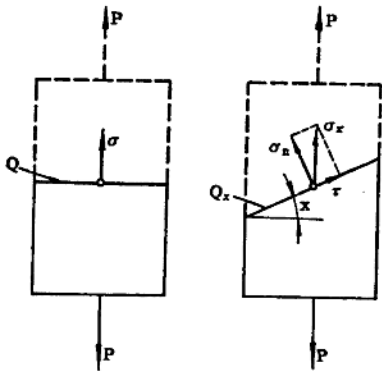


图 1-4 主应力、正应力与切应力

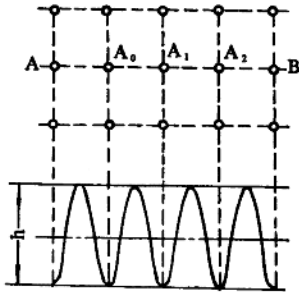


图 1-5 理想晶体中原子排列及其势能曲线

如上所述，变形既然从原子离开其稳定平衡位置而开始，超越势垒后经过不稳定位置又重新回到另一个稳定平衡位置上去，那么塑性变形开始前，弹性变形就已经开始发生了。因而卸载后这部分处于不稳定状态下的原子，也要重新就范回到稳定平衡位置上去。

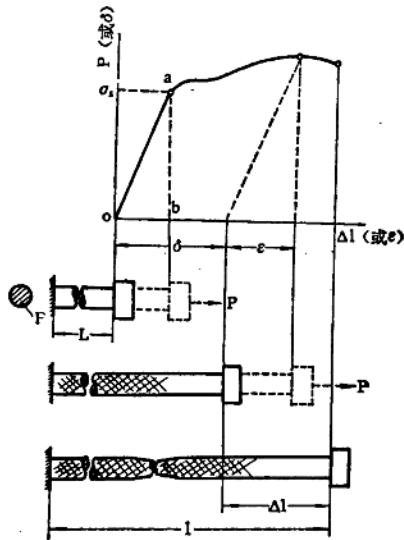


图 1-6 拉伸时力与变形的关系

也就是在塑性变形过程中，必然会有一小部分弹性变形得到恢复。实际上由于在压力加工过程中塑性变形要比弹性变形大得多，所以可把弹性变形忽略不计。

图(1-6)为力学实验拉伸试样时力(拉力P或应力 σ)与变形(伸长量 Δl 或应变 ε 、 δ)间相应关系的示意图。图中试样的虚线部分表示卸载前的状态，实线为卸载后的情况。试样在弹性变形阶段，应变随着应力成正比的增加，亦即在其内部所积累的势能增加。试样从弹性变形开始过渡到塑性变形其内部所积累的势能——单位变形能，应为图中三角形oab的面积，即

$$e = \frac{1}{2} \sigma_e \varepsilon$$

弹性变形与塑性变形间的关系为：1) 物体在塑性变形前先产生弹性变形；2) 在塑性变形阶段也存在有弹性变形；3) 总变形量为弹性变形与塑性变形量之和。

第二节 应力状态及其图示

一、物体的应力状态与点应力状态

物体的应力状态与变形物体内某一点的应力状态有不同的涵义。

在力系的作用下物体相应地呈现了应力状态。即所谓的物体应力状态乃由物体内部原子偏离原有的稳定位置而增加了势能，因而其本身具有使之趋于恢复稳定平衡位置的倾向。

点应力状态又称应力张量，系指通过物体内部任一截面截取一个三棱边相等且相互垂直的微小单元——体素上所作用的应力来表示。应该指出：对该体素所存在的截面而言，可认为其足以小到能与一点相重合，但与一晶胞相比，其体积还是相当大的。

在金属的塑性加工过程中，外力从不同的方位作用于被加工金属之上，使之处于复杂的应力状态之中，然而在任一截面上截取一体素，其上所作用的应力均可归纳为沿三个坐标轴方向的九个应力分量，如图(1-7)所示。这些应力分量是：与坐标轴(即体素棱边)方向一致的正应力 σ_x 、 σ_y 、 σ_z ；切应力 τ_{xy} 、 τ_{yx} 、 τ_{yz} 、 τ_{zy} 、 τ_{zx} 及 τ_{xz} (其脚码前者表示与其相应的正应力方向，后者为作用方向)。

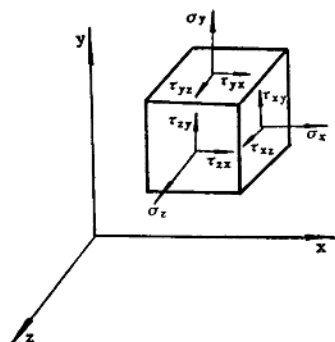


图 1-7 直角坐标系的应力分量

实际上如欲决定变形物体内部某一点的应力状态，只要知道作用于体素上的三个主应力(σ_1 、 σ_2 及 σ_3)就够了。因为当作用于一点的三个相互垂直的主应力为已知后，通过该点任何方向的应力都可以用数学方法计算出来(这里对计算方法就不详加讨论了)。

二、应力状态图示

如果在所截取的体素上，按 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ (指代数值)的顺序以符号表示主应力的有无和作用方向的方法(规定拉应力为正，压应力为负)称其为应力状态示意图或简称应力状态图示。当变形物体内部任何一点的应力状态均为一致或基本上一致时，则该点的应力状态就可用以表示整个变形物体。故通常可根据变形区内一点的应力状态图示来判断和表示各种不同压力加工方法所承受应力状况的特征。

确定应力状态图示的方法和步骤如下：1) 在变形区内沿坐标轴方向截取一体素；2) 按 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ 的规定标出作用于体素上的主应力及其作用方向。

图(1-8)例举了各种不同加工方法的应力状态示意图。

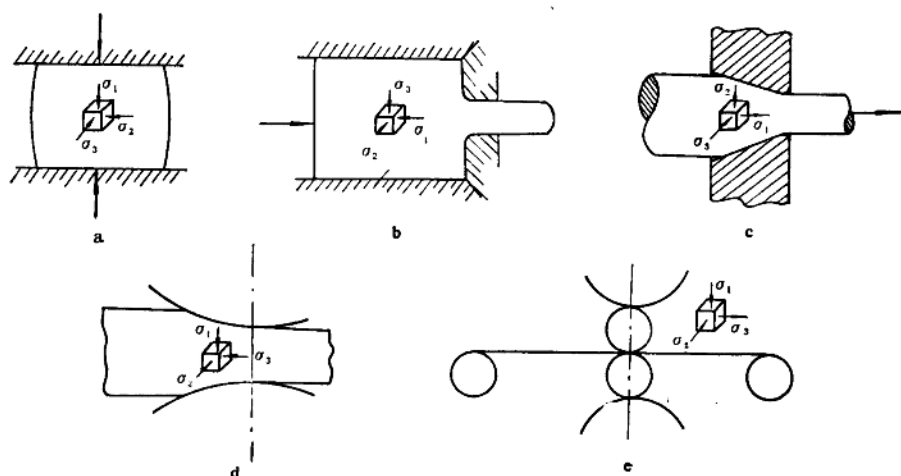


图 1-8 在不同加工条件下的应力状态示意图

a—微粗；b—挤压；c—拉拔；d—轧制；e—张力轧制

三、可能的应力状态图示

总的说来，可能的应力状态图示可归纳为三类计九种。

1. 线应力状态 仅存在一个主应力，即 $\sigma_2 = 0$ 、 $\sigma_3 = 0$ 。这种应力状态有两种，如图(1-9a)所示；

2. 面应力状态 其中有一个主应力不存在，即 $\sigma_2 = 0$ 。这种应力状态有三种，如图(1-9b)所示；

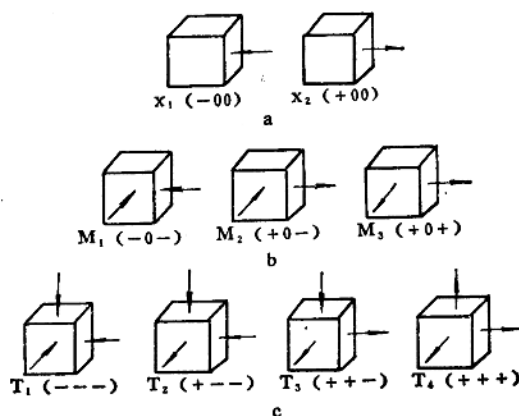


图 1-9 可能的应力状态图示

a—线应力状态；b—面应力状态；c—体应力状态

3. 体应力状态 三个主应力同时存在。这种应力状态有四种, 如图 (1-9c) 所示。

为了简便, 有时也可以采用代号来表示各种应力状态图示, 如图 1-9 中的 $x_1 \sim x_2$ 、 $M_1 \sim M_3$ 及 $T_1 \sim T_4$ 。

在各种不同方式的压力加工过程中, 金属反映出有不同的加工性能, 也就是说由于应力状态不同的影响, 可使被加工的物体呈现出有异反常态的情况。根据实验 [1] 在强烈的三向压应力状态下, 甚至可使脆性材料砂石或大理石也能发生一定程度的塑性变形。相反, 在三向张应力状态下, 即使是一般公认的高塑性金属材料铅也会很快地失去塑性而断裂。因此, 对某些低塑性的材料, 可以采取挤压的方式进行加工, 而张力轧制的特点之一就是可以相应地降低金属的变形抗力。

这里应指出: 不同部位金属的应力状态有时也不是完全一致的, 如图 (1-10) 所示。此外, 在变形过程中金属所处的应力状态, 也不是一成不变的, 而是可以互相渗透和转化的。如图 (1-11) 所示, 拉伸圆断面试样, 当出现细颈时该处即由线应力状态 x_2 过渡到体应力状态 T_4 。但总的说来, 在一定的加工过程中, 其应力状态可以某一为主的示意图表示之。

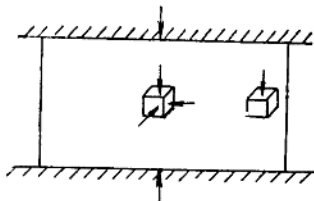


图 1-10 锻造时不同部位的应力状态示意图



图 1-11 拉伸时不同部位的应力状态示意图

第三节 变形图示与变形的力学图示

一、变形图示

变形图示乃指主变形方式的示意图。

在金属的塑性变形过程中, 尽管加工方式各有不同, 但就金属的变形方式而言, 归纳起来只有三种可能的方式, 按变形过程中延伸系数由小到大的顺序排列, 如图 (1-12a) 所示。对这三种变形也可以分别以符号 D_1 、 D_2 及 D_3 表示之, 其中:

D_1 ——金属沿一个轴被压入, 沿另外两个轴流出, 加工过程中金属变形时既有延伸又有宽展;

D_2 ——金属沿一个轴被压入, 沿另一个轴流出, 而沿第三轴无变形, 对这种只有延伸没有宽展的变形, 称其为平面变形;

D_3 ——金属沿两个轴被压入, 沿第三轴流出。

为简化图形, 也可以模仿应力状态图示的形式, 以标有指示变形方向的体素——变形