

中等专业学校教学用书

有色金属與合金的 压力加工

上 册

遼寧冶金学院有色金属及合金压力加工教研組編



中国工业出版社

中等专业学校教学用书



有色金属与合金的压力加工

上册

辽宁冶金学院有色金属及合金压力加工教研组编

中国工业出版社

本书是根据冶金工业部1959年中等专业学校有色金属与合金压力加工专业的指导性教育计划和教学大纲，并结合目前教学的实际情况编写的。

全书共四个部分，分上、下两册出版。第一部分为金属压力加工原理。主要是分析金属压力加工过程的应力状态、变形状态和金属塑性变形的基本定律，阐述塑性变形时的外摩擦和不均匀变形。同时还讨论了金属塑性变形时组织和性能的变化，以及变形的温度速度因素。此外，简要地叙述了制定工艺规程的原则和方法。

第二部分为有色金属及其合金的板带材生产。主要是讨论轧制时金属变形的特点，压力和电动机功率的计算，以及轧机类型的选择、主要零件的计算和轧制车间辅助设备的应用。对板带材生产工艺作了较详细的介绍，并举有实例。

第三部分为有色金属及其合金的管、棒、型和线材的生产。主要是讨论管、棒、型、线材生产中的轧制、挤压和拉伸理论和工艺技术，阐述车间设备的类型和选择方法，介绍有关的生产工艺计算。

第四部分为冷冲与锻造。着重介绍有色金属的冷冲压和锻造的基本知识。

本书由辽宁冶金学院有色金属及合金压力加工教研组编写，参加编写工作的主要人员有：刘鹤德、秦名良、陈祖锦、刘潮、郑明强等同志。

有色金属与合金的压力加工

上册

辽宁冶金学院有色金属及合金压力加工教研组编

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

地质印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $12 \frac{1}{2}$ · 字数 268,000

1961年10月北京第一版·1961年10月北京第一次印刷

印数 001—837 · 定价(9—4)1.20元

统一书号：15165·360(冶金-111)

目 录

緒論.....	5
---------	---

第一部分 金属压力加工原理

第一篇 金属压力加工原理

第一章 变形力和变形力学.....	8
§ 1 力和应力.....	8
§ 2 变形.....	10
§ 3 变形状态图.....	14
§ 4 不均匀变形和副应力.....	16
§ 5 极限状态理論.....	20
§ 6 金属压力加工中的外摩擦.....	22
第二章 金属塑性变形的物理性.....	24
§ 1 单晶体塑性变形.....	24
§ 2 多晶体塑性变形.....	26
§ 3 金属冷变形.....	27
§ 4 再結晶和金属热变形.....	29
§ 5 塑性变形时的温度速度因素.....	31
第三章 制訂工艺規程的原則.....	36
§ 1 基本工序工艺規程的制定.....	36
§ 2 金属的塑性和塑性指数的应用.....	38
§ 3 相似定律.....	40

第二部分 有色金属与合金的板带材生产

第二篇 軋制原理

概 論.....	41
第一章 軋制时金属的变形.....	42
§ 1 咬入条件.....	42
§ 2 金属的流动.....	47
§ 3 前滑.....	49
§ 4 寬展.....	50
第二章 軋制时金属作用于軋輥上的压力.....	53
§ 1 研究咬入弧上单位压力分布的意义.....	53
§ 2 咬入弧上单位压力分布的理論.....	54
§ 3 影响咬入弧上单位压力分布的因素.....	57
§ 4 咬入弧上单位压力分布的实驗研究.....	59
§ 5 金属对軋輥的全压力和平均单位压力的理論計算.....	61
§ 6 用实驗曲綫求金属对軋輥的平均单位压力.....	67
第三章 軋制时的能量消耗.....	73
§ 1 軋制时力的作用方向.....	74
§ 2 传动軋輥所需力矩的分析計算.....	75
§ 3 用能量消耗曲綫法計算传动軋輥所需的力矩.....	77
§ 4 靜负载图和主电动机功率.....	78
第四章 編制压下規程的概念.....	79
§ 1 合理压下規程的概念.....	79

§ 2. 热轧时温度降落的计算	80
§ 3. 编制压下规程的实例	81

第三篇 轧机及其附属设备

第一章 轧制车间设备概述	87
§ 1 轧制车间设备的组成	87
§ 2 板带材轧机的种类	87
第二章 工作机架的主要零件	92
§ 1 轧辊	93
§ 2 轧辊轴承	93
§ 3 轧辊的压下和平衡机构	102
§ 4 牌坊及其安装	112
第三章 轧辊传动装置的主要零件	116
§ 1 连接轴和连接器	116
§ 2 齿轮传动及其主要零件	119
第四章 轧机的附属设备	124
§ 1 带材卷取设备	124
§ 2 辊道	129
§ 3 升降台和旋转台	131

第四篇 板带材生产工艺

第一章 平辊轧制工艺	135
§ 1 板带材轧制的方法	135
§ 2 轧辊的选择和准备	139
§ 3 热轧	144
§ 4 冷轧	148
第二章 热处理	152
§ 1 热处理的意义	152
§ 2 退火	153
§ 3 淬火	157
§ 4 时效	161
§ 5 热处理废品	162
第三章 精整	164
§ 1 表面加工	164
§ 2 剪切	167
§ 3 矫直	173
第四章 板带材生产工艺特点及其过程	176
§ 1 铜及铜合金	176
§ 2 镍及镍合金	184
§ 3 锌及锌合金	188
§ 4 铝及铝合金	189
§ 5 铝箔	191
§ 6 镁合金	192
§ 7 钛与钛合金	193
§ 8 钴与钴合金	197
§ 9 高熔点金属	198
§ 10 双金属	198
参考文献	200

緒 論

一、有色金属压力加工生产在国民經济中的作用

有色金属及其合金的压力加工課程是研究以軋制、挤压、拉伸、冲压和鍛造等方式生产有色金属及其合金制品的基本理論和实践的科学。它是中等专业学校里有色金属及其合金压力加工专业的主要专业課。

有色金属及其合金，常具有良好的导电性、导热性、耐蝕性和金属光澤。此外，某些合金还具有导磁性、反磁性、热电稳定性、耐磨性、弹性，以及較高的机械强度。因此，在国民經济各部門中；有其特殊的意义。它的制品如板、带、条、箔、管、棒、型和綫材等，广泛地用于工业，农业，交通运输，国防以及其他部門。尖端技术的发展，更需要有特殊性能有色金属及其合金。

二、我国有色金属压力加工事业的发展

金属的压力加工方法在我国起源很早。根据不完全的资料，已經可以知道，远在汉朝，就有了鍛鑄的应用；南北朝时，已經掌握了冷加工的技术来提高金属的强度；明末时，已用压力加工和热处理相配合的方法进行針的制造。但是由于几千年的封建統治和近百年来帝国主义的侵略，阻碍了生产力的发展。我們祖先早就掌握了金属压力加工技术，以及从实践中得出的一些理論知識，却没有得到系統的整理和进一步的发展，尤其是有色金属压力加工工业就更为落后。

解放后，在毛主席和中国共产党的英明领导下，由于全国人民的辛勤劳动，加之苏联及其它社会主义兄弟国家的援助，我国改建和新建了一批有色金属加工厂，为我国的有色金属加工工业打下了基础，并逐步地适应了我国經济建設和国防的需要。同时，在我国科学研究机构中也成立了相应的組織，积极从事金属压力加工的理論研究和新产品的試制工作，从1952年到1957年，我国鋼的生产增加270%，鋁增加243%，鋅增加252%，因此，促使有色金属压力加工工业有了相应的增长。在产品品种方面，到第一个五年計劃末期，我国不但已能生产过去所不能制造的絕大多数有色金属与合金板带材及其它产品，并且已能供应飞机、汽車、各种精密仪表制造等所需的大部分有色金属与合金材料。

在党的社会主义建設总路綫的指引下，1958年出現了一个历史上前所未有的大跃进。这一年有色金属中的鋼产量增加235%，鋁增加173%，并且生产出过去所不能生产的大量品种的稀有金属。

在三年連續大跃进的基础上，随着技术革新和技术革命广泛而深入的开展，已經出現并将继续出現許多先进生产方法，許多新技术正在积极的推广，这些都必将不断地丰富和发展金属压力加工的理論和生产工艺。

三、金属压力加工的基本方法

生产金属制品的方法一般归納为三大类：

1) 减质量法。如金属切削加工，剪切裁料，蝕刻以及气切和电切等，都属于这类

方法。

2) 增质量法。属于这类方法的有各种类型的鑄造，焊接与铆接以及粉末冶金等。

3) 不变质量法。金属的各种压力加工方法即属于此类。这种方法的优点是能同时改善金属制品的机械性能，而且金属的消耗量较第一类方法有显著的减少。但是此法要受到金属塑性的限制，只有当金属具有一定塑性时，才能承受压力加工，获得一定形状和性能的制品。

金属的塑性是指金属改变自己的形状而不发生破裂的能力。金属的基本塑性变形方式有鍛粗，軋制，挤压，冲挤，拉延，弯曲，扭转，拉伸和复合方式等(图0-1)。这些变形方式是金属压力加工生产过程的基础。

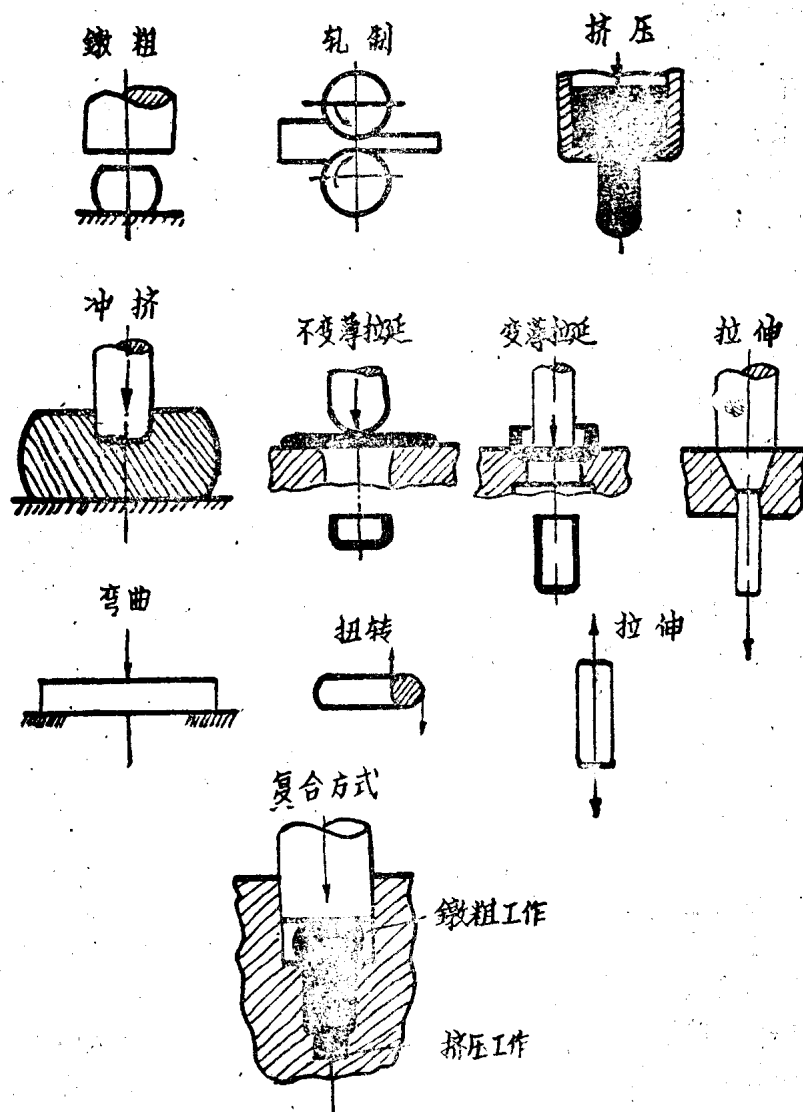


图 0-1 几种基本变形方式

金属压力加工生产的基本方法有：軋制、挤压、拉伸、鍛造和冲压(图 0-2)。

鍛造是使金属在高度上受鍛压，而在长度和宽度上有增加。鍛造时，如果金属向四周的流动不受限制，则称为自由鍛；相反，在鍛模中进行鍛造，金属的流动要受鍛模型

腔的限制，則称为模鍛(整体模鍛)。鍛造生产主要是鍛制各种零件，供給制造各种机器，机床和仪器等。

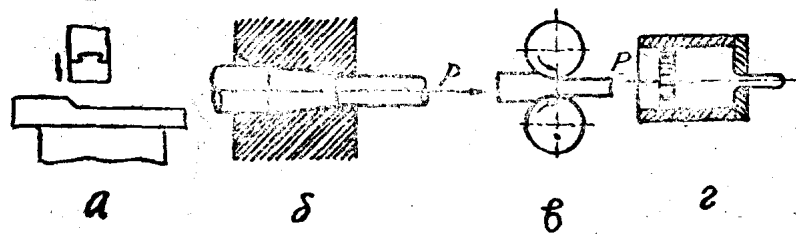


图 0-2 金属压力加工的基本方法

a—鍛造；b—拉伸；c—軋制；d—挤压

冲压是用軋制、挤压或拉伸的半成品进行最后加工的过程，多半是生产各种零件时的成品加工过程。

拉伸是在外力作用下使金属通过錐形模孔而縮小断面的过程。用拉伸方法，可以生产圆形或断面形状复杂的管、棒和綫材。拉伸所用的坯料，一般是用挤压或軋制方法得来的，但也可直接采用鑄造坯料，如連續拉鑄法生产的綫坯就是直接供給綫材拉伸的。

軋制是使金属通过两个或两个以上旋轉着的軋輥中間，从而改变断面形状，使断面減縮而长度增加的过程。各种尺寸的板、带、箔材，以及許多种型材和管材，都是用軋制方法生产的，軋制是金属压力加工中应用最广泛的方法之一。

挤压是压力加工中比較新的方法(1894 年才开始采用)，此法是使金属經過模孔而挤出。由于它有很多优点，因此，被广泛用来生产有色金属管、棒、型材及其它半成品，也用以生产拉伸和軋制用的坯料。

第一部分 金属压力加工原理

第一篇 金属压力加工原理

第一章 变形力和变形力学

§1 力和应力

两个相互接触的物体，彼此间作用的力称为外力。金属的压力加工就是在这种外力的作用下进行的。

金属压力加工时所受的外力可以分为以下三种：(1)所施加的作用力；(2)工具对金属的约束反作用力；(3)摩擦力。

压力加工时的作用力是由所使用的各种变形机械的动作产生的，如锻造时锻锤对金属的打击，轧制时旋转着的轧辊对金属的压力等。

约束反作用力或者由于金属的运动受到阻碍而产生，如锻造时铁砧对金属的反压力；或者由于金属的变形受到工具的限制而产生，如模锻时下模侧壁对金属的横向反压力。反作用力在任何情况下都是与工具和金属的接触面垂直的，而不一定和作用力在同一作用线上。如线材拉伸时，反作用力 P_0 的方向就与作用力 P_{np} 的方向不一致（图 1-1），但是仍然垂直于线材和拉伸模的接触面。

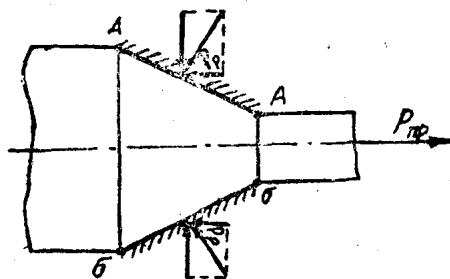


图 1-1 线材拉伸时金属所受的外力

在一切方式的压力加工中，变形工具与金属之间都有摩擦力产生。摩擦力的作用可以是有利的，也可以是无利的。例如，轧制时摩擦力将金属拉入辊缝，以实现轧制过程，这时起有利的作用；相反，锻造时摩擦力阻止金属沿锤头工作表面向四周移动，这时又对变形过程有不良影响。锻造时金属所受的外力如图 1-2 所示。

如果在金属上施加外力，并且阻止金属因受外力作用而发生的运动，则金属晶体内原子间距离将要发生改变，产生变形。此时，金属中将产生内力，以使原子趋于恢复到原来的位置。内力的产生有时不仅是为了平衡外力的机械作用。在各种物理及物理化学的作用下，由于某部分的变形受到阻碍时，亦会出现内力。例如加热不均匀的金属棒中所产生的内力（图 1-3）。

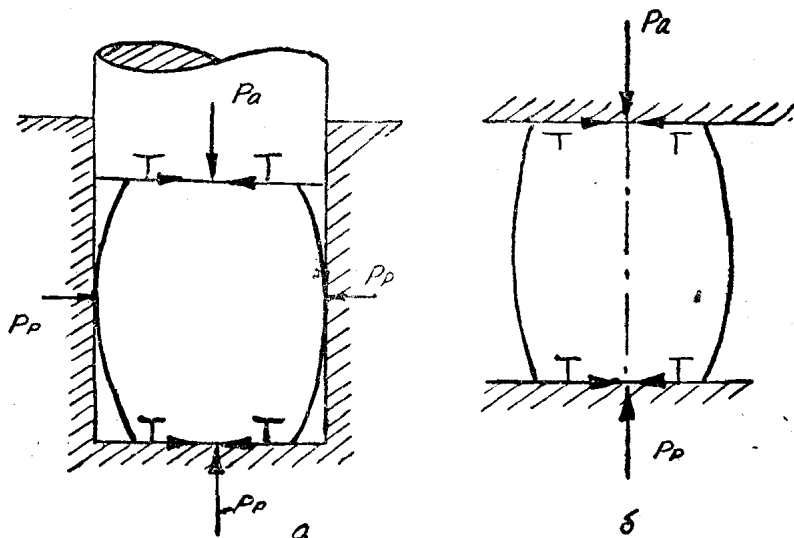


图 1-2 自由鍛和模鍛時金屬所受的外力

內力的強度稱為應力，即作用在微小面積上的內力與該面積的比值，以下式表示：

$$\sigma = \frac{dP}{dF}。$$

如果金屬中內力的分布是均勻的，則應力可表示為：

$$\sigma = \frac{P}{F}。$$

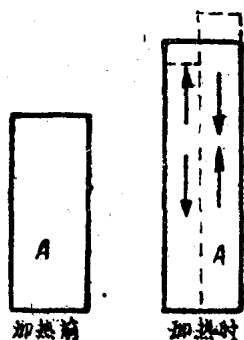


图 1-3 內力平衡示意图

對於分布不均勻的內力來說，上式所表示的應力，為該斷面上內力的平均值。

在外力的作用下，金屬中原子被迫偏離其穩定平衡位置，因而產生內力以使其原子趨於恢復原位的状态，稱為金屬的應力状态。根據力的作用不同，應力状态分為綫（一向）、面（二向）和體（三向）應力状态三種。

點的應力状态和物體的應力状态是有区别的，前者表示作用於某一點任意方位的微小面積上的應力數值和方向。如果已知作用於通過一點的三個座標軸方向上的應力，則一點的應力状态即可決定。此結論是根據以下原理得來的：已知作用於一點互相垂直的三個面上的應力，則其它通過該點任意一平面上的應力亦可計算出來。

根據力學的概念，作用在物體任一截面上的力，可以分解成兩個分力：垂直作用於該面上的正壓力和平行作用於該面上的切力（圖 1-4）。因此，正壓力引起的正應力（法綫應力） σ_n ，切力引起的切應力（切綫應力） τ 與總應力 σ 間的關係為：

$$\sigma_n = \sigma \sin \alpha；$$

$$\tau = \sigma \cos \alpha。$$

在圖 1-5 中，假設 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ 等力以不同方向作用於 A 物體上（圖 1-5）。在物體中取一無限小的平行六面體，其境界面與所取座標軸 XYZ

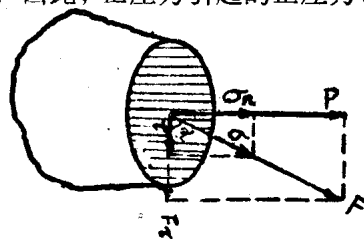


图 1-4 總作用力和總應力的分解
F—總作用；P—正壓力； F_t —切力

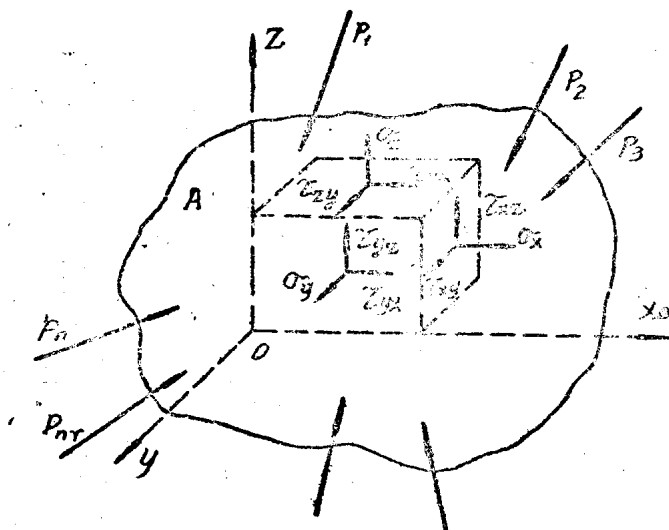


图 1-5 受力物体中无限小的平行六面体上的应力状态

相平行。在平行六面体上则将作用着与外力平衡的应力，而通常这些应力不垂直于境界面，则每个境界面上的应力都可以分解成三个分应力。因此，与 ZOY 面平行的面上就作用着正应力 σ_x 和切应力 τ_{xz} 和 τ_{xy} ①；在与 XOY 平面相平行的面上，则作用着 σ_z ， τ_{zy} 和 τ_{yz} ；而与 XOZ 平面相平行的面上，则作用着 σ_y ， τ_{yz} 和 τ_{yx} 。

根据平行六面体的平衡条件(没有转动)，切应力必须成对而且相等，即

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}; \tau_{xz} = \tau_{zx}; \tau_{yz} = \tau_{zy}.$$

因而，无限小的平行六面体(点)的应力状态，可以不用九个而只用六个分应力来表示，这就是切应力互等定律。

在塑性理论中可以证明，任何一个受复杂应力的物体中，都可以找到三个适合的座标轴，而使得与这些座标轴相垂直的平面上只作用着正应力，而切应力则等于零。这些正应力称为主应力，其所作用的平面称为主平面，此平面的法线方向称为主方向或主轴。

由于考虑到以六个分应力表示物体应力状态的复杂性，在金属压力加工原理中常采用主应力来表示。那么物体的体应力状态就可以用三个主应力来表示，而面应力状态有两个主应力，线应力状态仅有一个主应力。

§2 变 形

固体在外力作用下常产生变形，也就是在不同程度上改变自己的形状和尺寸。如果在去掉作用力后，物体完全恢复原来的形状和尺寸，则这种变形称为弹性变形。如果在去掉作用力后，物体不能完全恢复原来的形状和尺寸，则这种变形称为塑性变形。

在解决金属压力加工中的许多问题时，都必须知道应力随着变形而变化的关系。对有显著塑性变形的塑性金属，其应力和延伸率的关系曲线如图 1-6 所示。根据这个曲线可以确定弹性变形部分和塑性变形部分：完全的弹性变形只有在弹性极限 σ_e (点 A)内才可能，应力更大时就出现塑性变形；但即使到应力超过屈服极限 σ_s ，塑性变形仍旧伴

① 切应力的表示法如下：角码第一个字母表示平面与那个座标轴垂直，第二个字母表示切应力的方向。

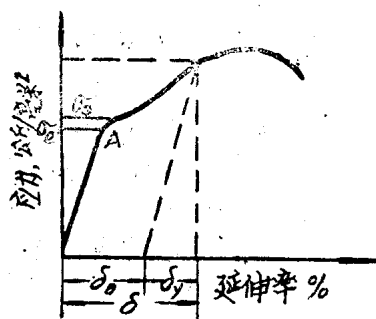


图 1-6 延伸率和应力的关系曲线 塑性变形时伴有弹性变形的定律。在压力加工过程中确定工具尺寸时必须考虑这一定律。

塑性变形是金属压力加工过程的基础。压力加工过程中，塑性变形量的大小常以发生在主应力方向上的变形来表示，此变形称为主变形。

设尺寸为 H, B 和 L 的物体在塑性变形后尺寸变成 h, b 和 l (图 1-7)。在三个主轴方向发生变形，其绝对变形量： $\Delta h = H - h$ ； $\Delta b = B - b$ ； $\Delta l = L - l$ 称为绝对主变形。三个主轴方向上的相对主变形 (以后简称主变形)，则可用以下三种形式表示。

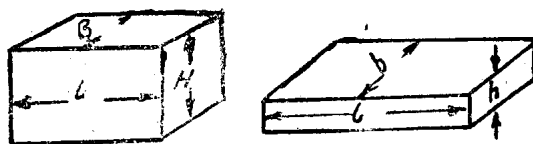


图 1-7 表示变形量的示意图

第一种形式是以绝对变形量与变形前的尺寸之比来表示：

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1^I &= \frac{\Delta h}{H} \\ \varphi_2^I &= \frac{\Delta b}{B} \\ \varphi_3^I &= \frac{\Delta l}{L} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

第二种形式是以绝对变形量与变形后的尺寸之比来表示：

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1^{II} &= \frac{\Delta h}{h} \\ \varphi_2^{II} &= \frac{\Delta b}{b} \\ \varphi_3^{II} &= \frac{\Delta l}{l} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

第三种形式是根据主变形应该是无穷小的主变形之总和这一观点提出的，其式为：

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \ln \frac{l}{L} \\ \sigma_2 &= \ln \frac{b}{B} \\ \sigma_3 &= \ln \frac{h}{H} \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

第三种形式最精确地表示出变形程度，故亦称为真实主变形，用符号 σ 表示，以区别于主变形的近似值 φ 。

根据塑性变形过程中的体积不变条件，可以得到物体各向主变形間的一定关系。所謂体积不变条件，就是說：物体的体积，在塑性变形过程中为一常数。此条件与实际情况有一定的误差，但误差很小，在塑性变形的各种运算中可以忽略不計。

設物体在变形前的体积为 V_{HBL} ，变形后的体积为 V_{hbl} ，根据体积不变条件，得：

$$V_{HBL} = V_{hbl}$$

就六面体来說，上式可以写作：

$$HBL = hbl,$$

即：

$$\frac{hbl}{HBL} = 1.$$

取上式的对数关系：

$$\ln \frac{h}{H} + \ln \frac{b}{B} + \ln \frac{l}{L} = 0,$$

亦即

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0, \quad (1-4)$$

这就是說，三个主变形之和等于零。

当塑性变形很小时， $\varphi^i = \delta$ ，則第一种形式的主变形之和亦等于零，即：

$$\varphi_1^i + \varphi_2^i + \varphi_3^i = 0. \quad (1-5)$$

公式 1-4 是塑性变形体积不变的基本条件，故亦称为体积不变的条件方程式。

由公式 1-4 可以得出以下結論：

1) 不論是什么方式的变形，其中一个主变形的符号一定与其余两个主变形的符号相反，此符号不同的主变形，称为最大主变形；

2) 如果已知一个主变形的数值，則其余两个主变形的变化，必然是一个增加，而另一个减少。

塑性变形过程中物体尺寸的变化，可以根据体积不变条件和各向主变形間的关系，通过简单的計算求出。例如，尺寸为 205×500 毫米的鑄錠，挤压成圆棒，挤压过程的变形程度为 90%，圆棒材的长度就可通过以下計算求得（根据挤压过程变形程度是以断面縮减程度表示的）：

$$\frac{205^2 - d^2}{205^2} = 0.9,$$

故圆棒的直径为：

$$d = 64.8 \text{ 毫米};$$

根据体积不变条件得：

$$\frac{\pi}{4} 205^2 \times 500 = \frac{\pi}{4} 64.8^2 \times l$$

故圆棒的长度为：

$$l = \frac{205^2 \times 500}{64.8^2} \approx 5000 \text{ 毫米}^{\text{①}}.$$

① 此处忽略了挤压过程中的压余損失，实际上由于必須留有压余，圆棒长度是不足 5 米的。

塑性变形过程中，变形在三个主軸方向上的分布，决定于外部阻力的情况(外摩擦，工具形状和变形物体的形状等)，二者之间的关系，可以用变形最小阻力定律来说明。

最小阻力定律是说当物体在变形过程中，其质点向各个方向上移动时，质点将向着阻力最小的方向移动。也就是当物体有向各个方向自由变形的可能时，其最大的变形将是发生在阻力最小的方向上。

例如，在带有水平刻槽的軋輥中軋制时(图 1-8)，金属的延伸受到阻碍，而宽度增加；相反，如在带有垂直环状刻槽的軋輥中軋制时，则宽展受阻碍，而延伸增加。

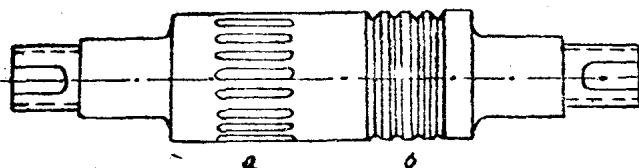


图 1-8 附有限制金属流动的軋制条件

a—在延伸方向；b—在宽展方向

实验证明，在有外摩擦的条件下锻造方形或其它断面形状的试样时，试样总是向着圆形方向改变自己的横断面形状(图 1-9)。这说明最小阻力是在最短法线方向上，也就是不阻碍质点移动的侧面方向上。由于正方形试样各区域的质点，都向着自己的法线方向移动，而且愈接近于每边中点的地方，质点移动数量愈多，对角线上质点的移动就少，因此正方形断面最终就成了圆形。当锻造矩形试样时，开始是矩形的各边向外凸出，变成如图 1-9 虚线所表示的那样，继而变成椭圆形，然后椭圆的大多数质点将向着短轴的方向移动，最终也变成圆形。

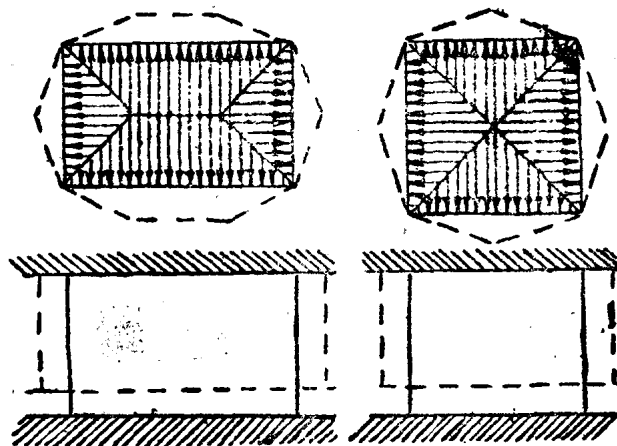


图 1-9 锻造前(实线)和锻造后(虚线)正方形和矩形试样的断面

根据最小阻力定律可以知道，在有足够的加工率和较大的摩擦系数的情况下，任何断面形状最终都会变成圆形，也就是具有最小周边的形状，因此，在锻造过程中，最小阻力定律又称为最小周边条件。

最小阻力定律是塑性变形理论中的基本定律之一，在解决压力加工的各种实际问题时，都要运用它，例如选择原始坯料的尺寸和形状，确定加工工具的孔槽尺寸和形状等，都需要分析物体在变形时各方向上的阻力，从而保证得到合格的产品。

§3 变形状态图

物体的点应力状态和塑性变形情况，常以主应力图和主变形图来表示。主应力图提供在所研究的点上；有无主应力和主应力符号的图示。主变形图则提供在所研究的点上，有无主变形和主变形符号的图示。

主应力图共有九种：其中两个为一向的主应力图，三个为二向的和四个为三向的（图 1-10）。金属压力加工中通常都是三向主应力图，如图中 e 即为轧制和挤压时的主应力图，图中 s 则为拉伸时的主应力图。在三向和二向主应力图中，主应力符号相同的称为同号应力图，而符号不同的则称为异号应力图（拉应力用正号表示，压应力用负号表示）。

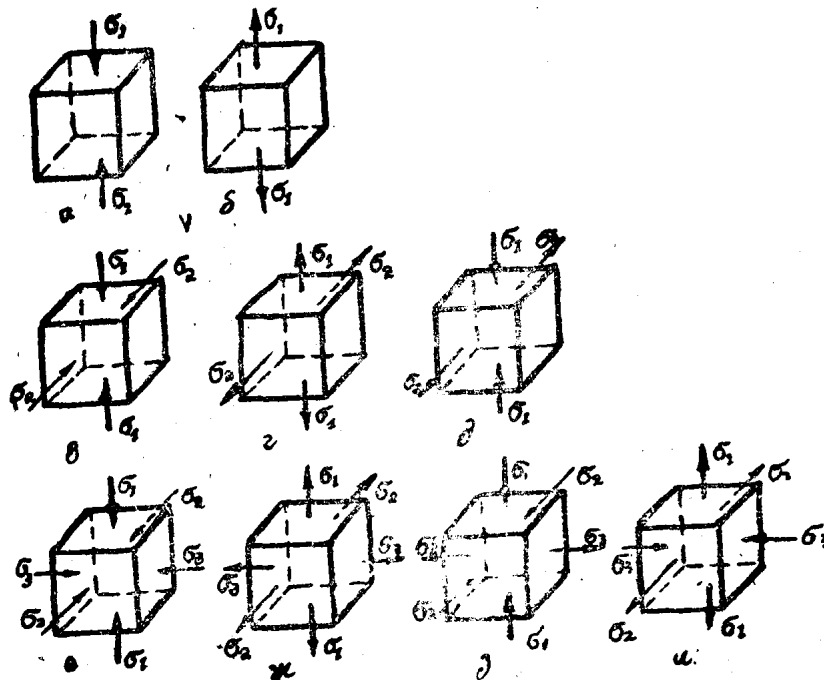


图 1-10 主应力图

由于塑性变形体积不变条件的限制，主变形图不象主应力图那样多。因为，按照体积不变条件，不可能出现一向的主变形图，二向拉伸或压缩的主变形图，以及三向拉伸或压缩的主变形图。因此，主变形图只有三种形式（图 1-11）：一向拉伸一向压缩的二向主变形图；两向压缩一向拉伸和两向拉伸一向压缩的三向主变形图。

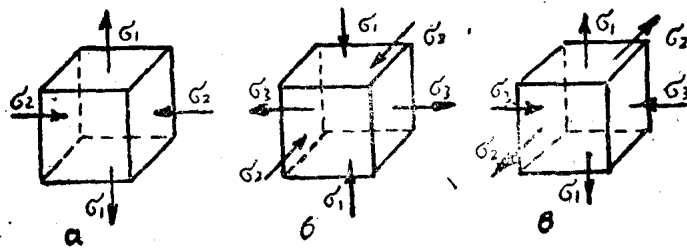


图 1-11 主变形图

主应力图和主变形图的组合，称为变形状态图。变形状态图反映了外力的作用情

况，决定了变形的方向。说明了对塑性和变形抗力(以外力所产生的单位压力表示)有影响的物理状态，因此是塑性变形过程中的基本指标。图 1-12 为挤压和 镦粗 两种不同的塑性变形过程的变形状态图。显然，变形状态图对变形过程中物体的塑性和变形抗力的影响，决定于主应力图和主变形图对塑性和变形抗力的影响(实际上，主变形图对变形抗力的影响不大)。下面根据实验结果和实际情况分别叙述。

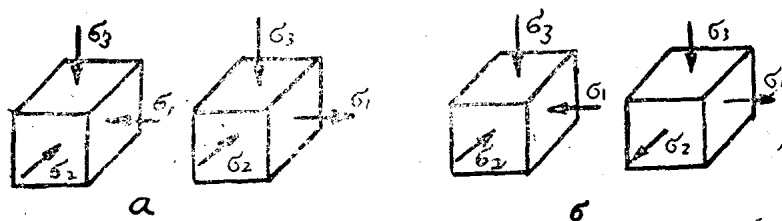


图 1-12 变形状态图

主应力图对塑性的影响是：压应力比拉应力显示的塑性大，愈接近于三向压缩应力状态，即 $\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ 和 $\frac{\sigma_3}{\sigma_1}$ 的比值愈大时，塑性亦愈大；相反地，主应力图中拉应力数目愈多，塑性降低愈快，以三向拉伸应力状态的塑性为最小。主应力图对塑性产生上述影响的原因可以解释为：1) 三向压缩主应力能阻碍结晶体的晶间移动，从而增加了晶体内部的变形，减少了由于晶间移动而引起的物体破坏；2) 压应力能阻碍结晶体内微小裂纹的发展，减小其扩展程度。

主应力图对变形抗力的影响是：同号主应力图使变形抗力增加，异号主应力图使变形抗力降低。不难证明，主应力图对变形抗力的上述影响。以二向应力状态图为例，取

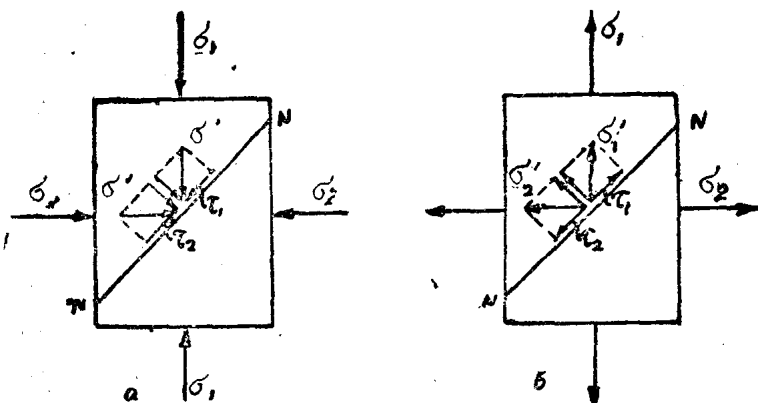


图 1-13 说明无塑性变形时的平面应力状态图

a—相等的双向压缩；b—相等的双向拉伸

NN' 截面(图 1-13)，其上作用着应力 σ_1 和 σ_2 ；这两个应力可以分解为切应力 τ_1 和 τ_2 及垂直作用于 NN' 截面的两个正应力。图中各应力之间的关系如下：

$$\sigma'_1 = \sigma_1 \cos \alpha;$$

$$\sigma'_2 = \sigma_2 \sin \alpha;$$

$$\tau_1 = \sigma_1 \cos \alpha \sin \alpha;$$

$$\tau_2 = \sigma_2 \sin \alpha \cos \alpha.$$

对于同号应力图， NN' 截面上的切应力为：

$$\begin{aligned}\tau &= \sigma_1 \cos \alpha \sin \alpha - \sigma_2 \sin \alpha \cos \alpha \\ &= \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha;\end{aligned}$$

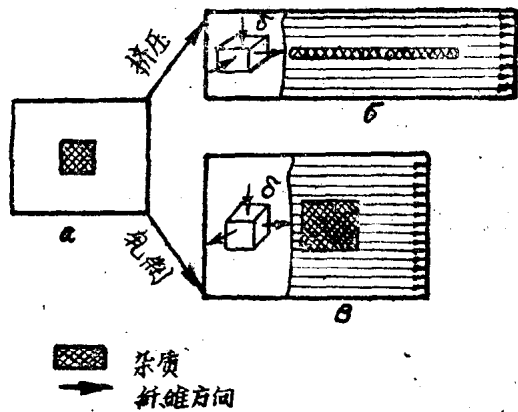
对于异号应力图，其切应力则为：

$$\begin{aligned}\tau &= \sigma_1 \cos \alpha \sin \alpha + \sigma_2 \sin \alpha \cos \alpha \\ &= \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \sin 2\alpha.\end{aligned}$$

假设应力 σ_1 由作用力产生，应力 σ_2 由工具的反作用力产生，则为了得到使物体开始发生塑性变形所必需的一定数值的切应力起见，同号应力图中 σ_1 必须大于异号应力图中的 σ_1 ，亦即是同号应力图变形抗力增加。

不同的主变形图，对物体塑性有不同的影响，两向压缩一向延伸的主变形图最能发挥物体的塑性，两向延伸一向压缩的主变形图则最不容易发挥物体的塑性。其所以产生此现象，是因为在有两向压缩变形的情况时，物体内的夹杂物，只在一个延伸方向能够暴露，因而降低了夹杂物对塑性的危害，对于两向延伸的变形情况，夹杂物体在两个方向暴露，因而增加了夹杂物对塑性的危害。

如图 1-14，物体中一块能降低金属强度的杂质，在挤压过程中变成如图中 δ 的情形，变形程度愈大，杂质断面愈小，降低强度和塑性的作用亦愈小；同一块杂质，在轧制过程中变成如图中 ϵ 的情形，降低强度和塑性的作用很大。



掌握了变形状态图影响塑性和变形抗力的基本规律，不仅能够分析和判断任何一个塑性变形过程的基本特征，而且能够运用它来解决金属压力加工中的实际问题。例如，

模锻活塞时，采用倾斜度很小的模壁能够改

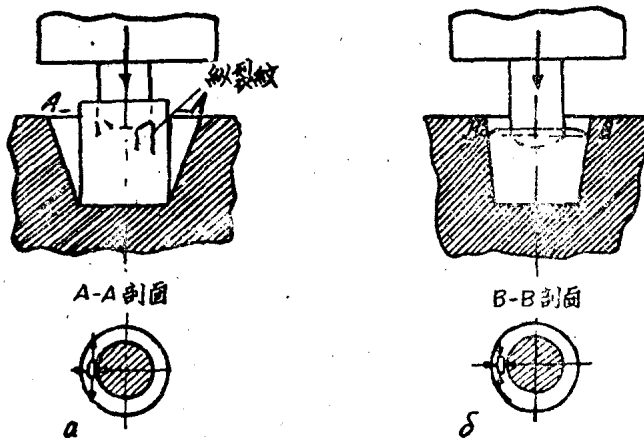


图 1-15 锻制活塞时的主应力图

a —A-A 剖面的主应力图； δ —B-B 剖面的主应力图

善主应力图，从而使得纵向裂纹减少，提高成品率(图 1-15)；带材轧制时，由于采用带拉力的方法改变了轧制过程的主应力图，因而显著地降低了单位压力。又如低塑性的镁基合金，为了使合金能显示出更大的塑性，实现塑性变形，常采用挤压方法供给继续冷变形所需要的坯料等。

§4 不均匀变形和副应力

在塑性变形过程中，由于某些内部和外部因素的影响，变形