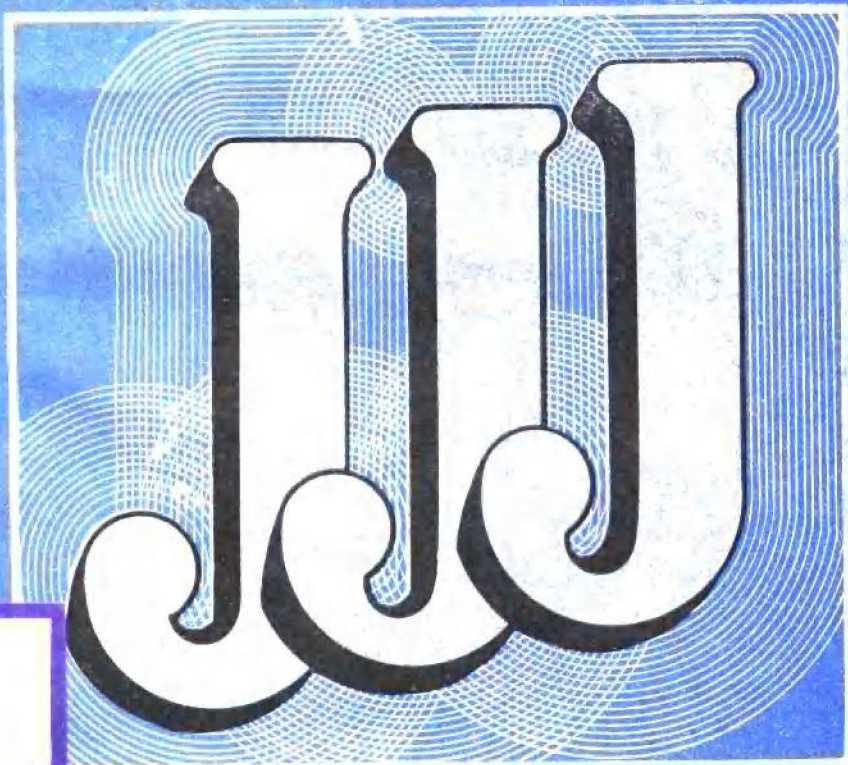


国家机械工业委员会统编

高级锻压工工艺学

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

高级锻压工工艺学

国家机械工业委员会 统编

67/00/1/1/1



机械工业出版社

本书内容包括：金属塑性变形理论、自由锻造和模型锻造、高合金钢和有色金属的锻造、水压机锻造工艺规程和典型工艺、特种锻造和国内外锻造新技术、新工艺、新材料和新设备等。

本书由第二重型机器厂贾金堂、沈士埏、贺如骥、齐桂林、王海荣编写，由四川省机械研究设计院谢懿、曾雅存、张有明审稿。

高级锻压工艺学

国家机械工业委员会 统编

责任编辑：王 斌 责任校对：孙志筠
封面设计：林胜利 方 芬 版式设计：胡金瑛
责任印制：张俊民

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $9 \frac{1}{4}$ · 字数204千字

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印数00,001-19,500 · 定价：3.25元

ISBN 7-111-01148-1/TG·289

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划,教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材149种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以

基本概念和原理为主,突出针对性和实用性,着重讲授基本知识,注重能力培养,并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发,努力做到理论联系实际,通俗易懂,具有工人培训教材的特色,同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接,便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂,长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位,组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人,在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际,谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员,各地的组织领导者,以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意!

编好、出好这套教材不容易;教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误,我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题,及时提出批评和指正,以便再版时修订,使其更完善,更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前 言

第一章	金属塑性变形理论基础.....	1
第一节	塑性变形的基本概念	1
第二节	金属的软化过程	18
第三节	金属塑性变形的分类	22
第四节	金属塑性变形的基本定律	24
第五节	影响金属塑性变形的因素	28
第六节	金属在锻造、拔长、冲孔等主要工序中的变 形特点	45
第七节	热变形对金属组织和性能的影响	52
复习题		55
第二章	自由锻造与模型锻造	57
第一节	锻压加工及其特点	57
第二节	锤上自由锻典型工艺实例	64
第三节	胎模设计的基本知识	70
第四节	模锻锻模设计基本知识	97
第五节	锻造缺陷分析及排除方法	136
复习题		141
第三章	高合金钢与有色金属的锻造	143
第一节	高合金钢中各种元素对钢性能的影响	143
第二节	几种高合金钢的锻造工艺示例	148
第三节	有色金属合金的锻造工艺	173
复习题		193
第四章	水压机锻造工艺规程和典型工艺	194

第一节	拟定锻造工序的原则	194
第二节	“WHF”“JTS”法工艺和操作	221
第三节	水压机锻造工艺规程示例	242
复习题		260
第五章	特种锻造及锻造新技术、新工艺、 新设备、新材料简介.....	261
第一节	特种锻造简介.....	261
第二节	锻造新技术简介	270
第三节	锻造新工艺简介	274
第四节	锻压新设备简介	282
第五节	锻造新材料简介	286
复习题		288

第一章 金属塑性变形理论基础

金属塑性变形理论是压力加工的基础，各种形状的锻件就是利用金属的塑性变形来制造的。因此，掌握塑性变形的基本知识，在生产实际操作中将会有助于保证锻件质量，提高生产效率，降低原材料和能源的消耗。

第一节 塑性变形的基本概念

金属和合金的性能主要决定于它内部的组织结构。不同化学成分的金属材料，具有不同的组织结构，因而具有不同的性能。材料的内部组织结构包括原子，原子在晶体中、分子中与邻近原子的结合方式以及显微组织。压力加工与材料的性能有着密切的关系。材料在塑性变形时，随着内部组织结构的改变，材料的性能也随之发生变化。因此，在学习塑性变形理论时应建立材料的结构、性能与加工工艺相互间的依存关系的概念，并熟悉与之相关的常用术语，这对于掌握塑性变形的基本知识是十分重要的。

一、金属的结构

所有的固态物质，按其结构可分为晶体和非晶体两大类。在非晶体内，原子的排列是紊乱而无规则的，如松香、玻璃、赛璐珞等；在晶体内，原子是按照一定的几何形状有规律的在空间排列成结晶格子，简称晶格或点阵。晶格中各个方位上的原子层称为晶面，格点间的位向，称为晶向，见图1-1。绝大多数固态金属都是晶体。由于原子排列上的区

别，晶体和非晶体有明显不同的特性，晶体一般都具有规则的外形，一定的熔点和各向异性；非晶体则没有固定的熔点，并呈各向同性。

在金属晶体中，最常见的晶格类型有体心立方晶格(这种晶格类型的金属有铬、钼、钨等)、面心立方晶格(这种晶格类型的有铝、铜、镍等)和密排六方晶格(这一类型的金属有锌、镁等)三种，见图1-2。

在金相显微镜下观察经过磨光、浸蚀后的试片，可以看到明暗程度不同的、外形呈不规则多边形的小颗粒，把这种小颗粒称之为晶粒，晶粒之间的交界面称为晶界。见图1-3。

由一个晶粒构成的晶体称为单晶体。单晶体的晶格是整齐均一的，因为构成晶格的晶胞是按相同的方位排列起来的，因而表现为各向异性，见图1-4。

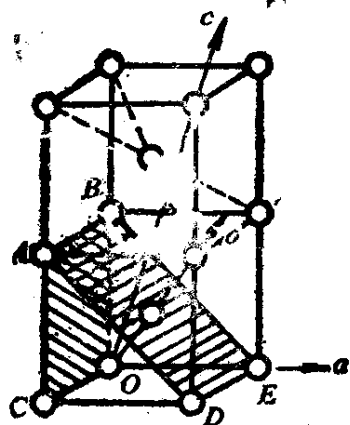


图1-1 晶格中的晶面与晶向

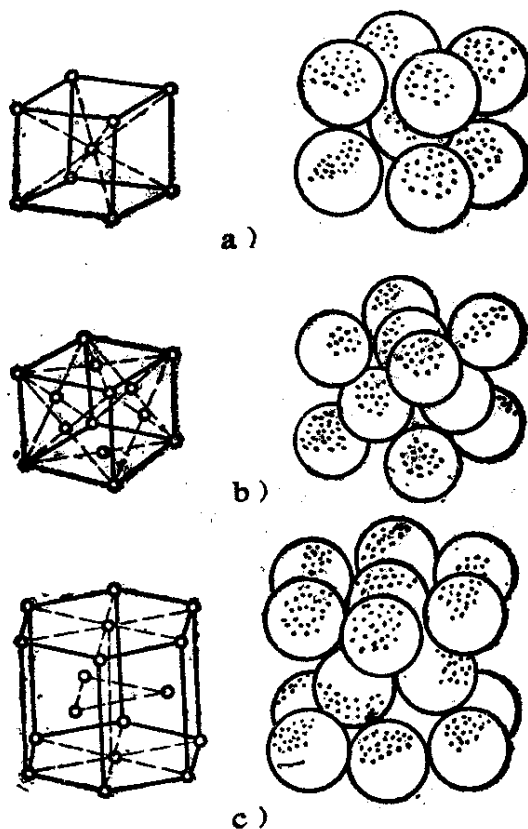


图1-2 金属晶格的基本类型

a) 体心立方晶格 b) 面心立方晶格
c) 密排六方晶格

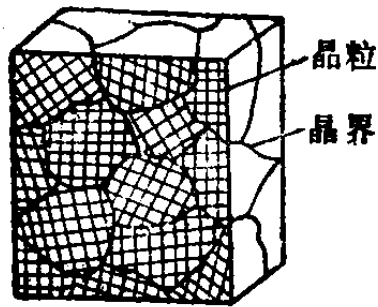


图1-3 多晶体结构示意图

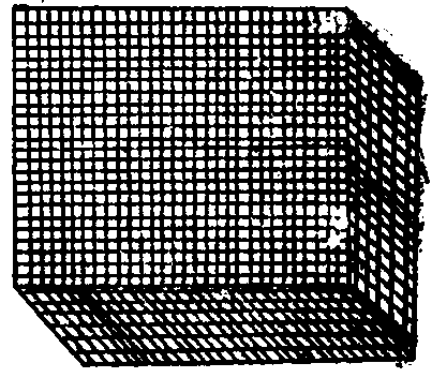


图1-4 单晶体结构示意图

由许许多多晶粒构成的晶体称为多晶体。在多晶体内，各晶粒的晶格位向互不相同，因而表现为各向同性(见图 1-3)。

在金属的晶体结构中，认为每个结点上都有一个原子，这是理想的晶体结构。实践已经证实，原子在晶格中的规则排列并不是完整无缺的，而是存在着各种缺陷，即晶体缺陷。晶体缺陷对金属材料的机械性能和物理，化学性能都有着显著的影响。根据晶体缺陷的几何特点，晶体缺陷分为点缺陷、线缺陷和面缺陷三种。

1) 在晶体中原子是以平衡位置(结点)为中心振动着的，如果由于某些原因，原子获得足够大的振动能量，离开平衡位置，而跳到点阵中的间隙位置，原先的结点成了“空位”，进入点阵间隙的原子则称为“间隙原子”。这类晶体的缺陷称为点缺陷。无论是形成空位或间隙原子，晶格结构的规则就都遭到破坏，从而导致晶格发生歪曲畸变，见图1-5。

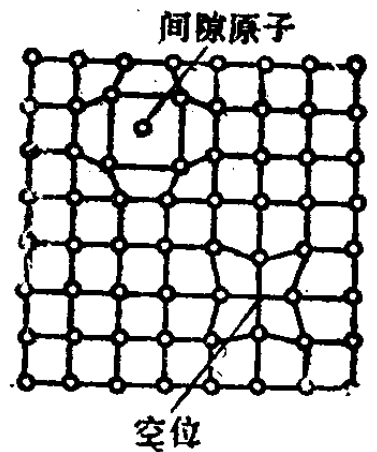


图1-5 点缺陷示意图

2) 晶体中有一列或若干列原子发

生某种有规律的错排现象，称为位错。因为位错是晶体中某一平面上呈线状分布的缺陷，所以又称为线缺陷。位错有两种基本形式，即刃型位错与螺型位错。刃型位错可以描述为晶体结构内有多余半原子面的刃口，见图1-6。随着刃型位错的出现，晶体内形成压缩区和拉伸区，所以沿位错线能量总是增加的。螺型位错象一个螺旋斜面，位错线沿着它的轴向方向，见图1-7。与上述刃型位错一样，在位错线附近的原子间产生了附加能量。在晶体结晶过程中，两类位错都可能发生，当塑性变形时，位错就会发生运动和增殖。因此，位错是现代金属塑性变形和强度理论的基础。

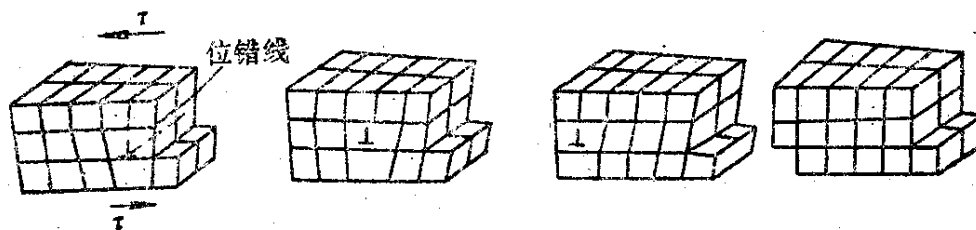


图1-6 刃型位错示意图

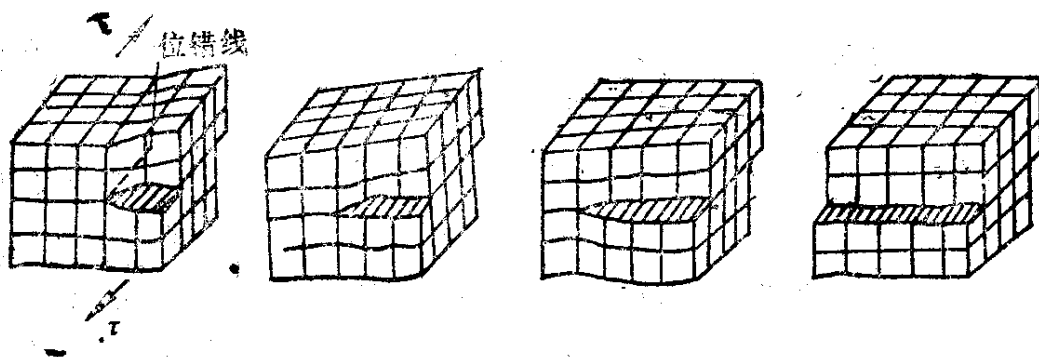


图1-7 螺型位错示意图

3) 实际金属的界面是晶体的面缺陷，最明显的界面就是外表面，晶界或晶粒内的嵌镶块边界(或称亚晶界)都是属

于原子不规则排列的界面，晶格在这里也发生了畸变，能量增高。

二、锻造时坯料的受力情况

在锻造时坯料所受的力分外力和内力两大类。坯料受到变形工具(砧子、模具)对它的作用力(包括坯料与工具之间接触面上的摩擦力)叫外力；坯料内部两部分之间的作用力与反作用力叫内力。

1. 外力 锻造时，使金属材料发生变形的力称为外力。外力有作用力，反作用力，摩擦力等，见图1-8。

(1) 作用力 在锻造设备的机械动作下，借助于工作或模具传给金属坯料的打击力或静压力，称为作用力。作用力是使金属坯料产生塑性变形的主要原因。作用力的大小是由锻造设备的能力决定的。

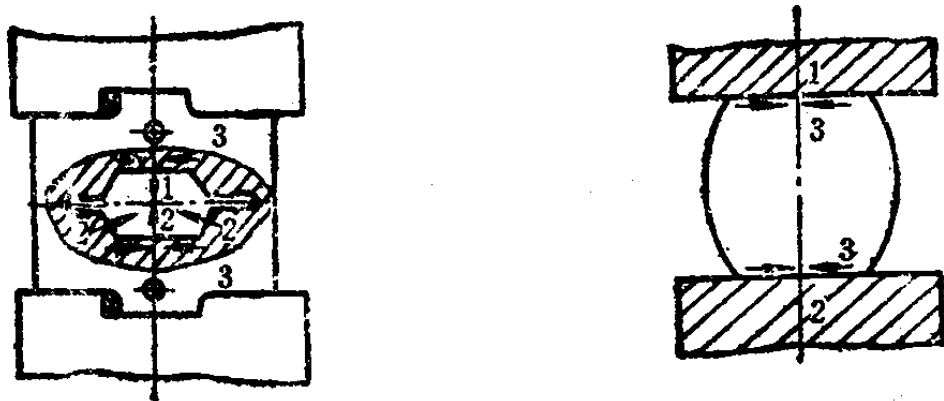


图1-8 金属塑性变形时的受力情况

1—作用力 2—反作用力 3—摩擦力

(2) 反作用力 在锻造过程中，金属除受到作用力外，还受到砧子或模具等限制其运动或变形的力，这就是反作用力。反作用力的方向始终垂直于工模具的工作表面而指向金属坯料。

(3) 摩擦力 金属在外力作用下发生变形而引起相对

运动时，金属坯料与工模具的接触面之间的由摩擦作用所产生的反作用力称为摩擦力。摩擦力作用于接触面的切线方向，与金属流动方向相反。金属变形时摩擦力的大小与工模具表面的粗糙度及润滑条件有关，粗糙度细和润滑条件好的摩擦力小，反之摩擦力就大。

除上述三种力外，在高速变形过程中，惯性力的作用较为突出。当惯性力的方向与金属流动的方向一致时，将有助于金属充满模膛。设计锤上锻模时，多把难充满的较深部分放在上模，就是这个道理。

2. 内力和应力

(1) 内力 在外力作用下金属发生的变形，是金属晶体内部晶粒和晶界位移的体现。晶体变形的结果，使晶格内原子之间相互位置发生变化，但原子间的相互作用力仍有恢复到原始状态的能力，这种对变形产生的抗力称为内力。应当指出，不仅在外力作用下，金属内部会产生内力，而且在变形不均匀，坯料加热和锻后冷却过程中，也会产生内力。这种内力是金属为保持其完整性，对各部分不均匀变形产生阻碍作用而引起的。

(2) 应力 单位面积上的内力被称为应力。它常用来表示金属的强度。应力的单位是Pa。

直接由外力作用引起的应力叫基本应力。由于金属组织、化学成分和温度差等原因导致坯料不均匀性变形而引起的应力叫附加应力。

去掉外力后，仍然残留在坯料内的附加应力叫残余应力。残余应力的危害性极大，它会导致工件发生扭曲变形，甚至产生裂纹。

在一般情况下，应力的方向并不一定与所取的截面相垂

直。因此，在研究应力与金属变形的关系时，常将一般方向的应力 f 分解成两个特定方向的应力，即：沿截面法线方向的正应力，以“ σ ”表示；沿截面切线方向的切应力，以“ τ ”表示，见图1-9。正应力与剪应力对于金属变形将起完全不同的作用。

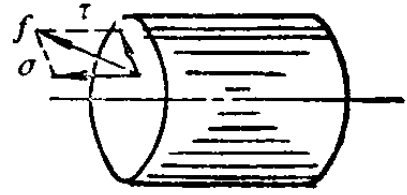


图1-9 截面上的应力

三、变形、变形程度和变形速度

1. 变形 金属坯料在外力的作用下，其尺寸和形状都发生改变，这种变化过程叫做变形。单位长度的变形叫做应变，或称变形程度，用 ϵ 表示。金属的变形一般可分三个阶段，即弹性变形、塑性变形和断裂(破裂)。

(1) 弹性变形 将引起金属变形的作用力去除以后，金属仍能恢复到原来的尺寸和形状的变形叫做弹性变形。

从宏观力学讲，材料的初始应变是与应力成正比的，而且是可恢复的。应力消除以后，应变也跟着消失。我们把这种线性的可恢复的应变称为弹性应变。线性系数 E 称为弹性模量其值为：

$$E = \sigma / \epsilon$$

从微观结构看，弹性变形的实质是由于原子被迫暂时离开了原来的平衡位置，晶格间距离发生了变化的结果。当外力去除后，原子由于互相间的吸引立即恢复到原来的平衡位置。以单晶体为例，图1-10a表示变形前原子的排列情况。图1-10b表示变形时的情况，当外力消失，单晶体的原子排列也就恢复原状(图1-10a)。

因此单晶体弹性变形具有以下特点：

1) 原子离开平衡位置产生微量位移，位移量不超过一个

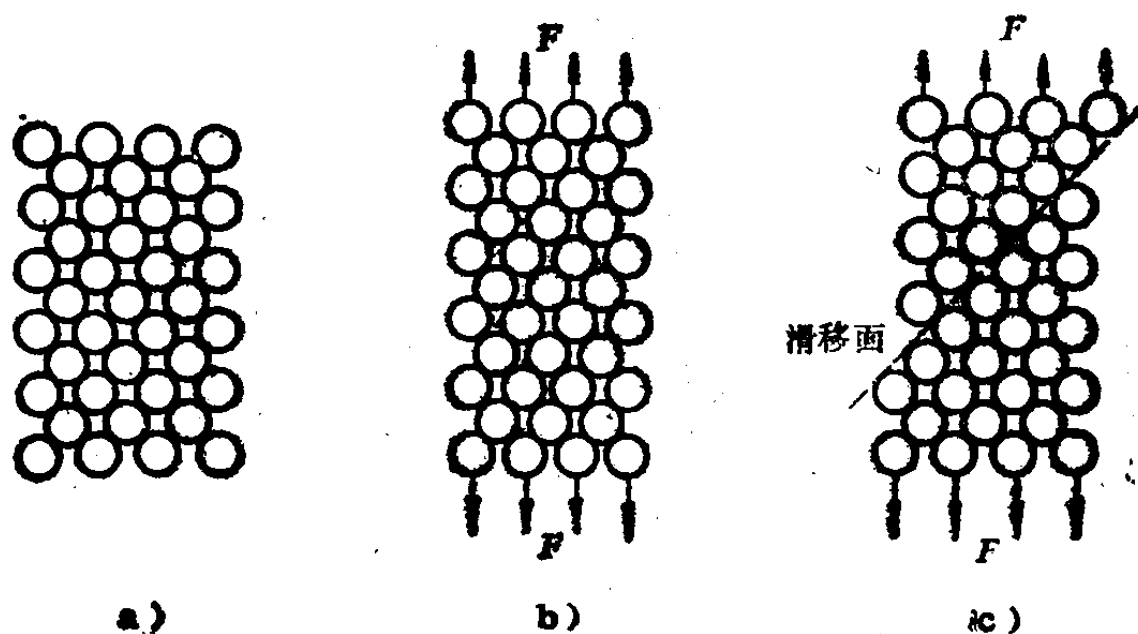


图1-10 单晶体的弹性变形和滑移示意图

a) 变形前的金属结构 b) 弹性变形的原子位移 c) 滑移

原子间距；

2) 位移的大小与作用力成正比关系；

3) 去除外力后单晶体立即恢复原状。

(2) 塑性变形 将引起金属发生变形(但不造成金属的破坏)的作用力去除以后, 金属不能恢复到变形前的形状和尺寸, 所残留下来的永久变形, 叫做塑性变形。金属承受永久变形而不破坏的能力, 叫做塑性。各种金属的塑性是不一样的, 塑性也不是金属固有的属性, 它不仅决定于金属本身的内部结构, 并且和变形的外部条件也分不开。同一金属的塑性在不同情况下有不同的值。塑性除了用变形程度 ε 来表示外, 还可用延性指标或韧性指标来度量。延性是指材料破裂前永久变形的数值, 常用的有延伸率(δ)和断面收缩率(ψ)。韧性是指材料破坏时吸收的能量的数值, 常用冲击韧性(α_k)表示。

从宏观力学来讲，当弹性变形的应力再增加时，材料内除了弹性应变以外，金属中还会产生永久变形，这种永久变形在作用力去除以后是不可恢复的，我们称它为塑性应变。这种应变在材料加工中是十分必要的，但在产品使用时，常常需要避免塑性变形。

从微观结构来看，当作用于晶体的切应力达到某一特定值，晶体的原子则沿一定的晶面和晶向移动一定的距离，进入新的平衡位置，应力消失后，原子不再回到原来的位置，发生了永久变形，即为塑性变形(见图1-6和图1-7)。

(3) 破裂 晶体的变形是有限度的，当变形力达到一定程度时，晶体会发生破裂。正应力和剪应力都能引起破裂。当作用在晶面上的正应力超过原子间的吸引力时，晶体便在垂直于这个面的方向上裂开或断开，这种破裂叫做解离。引起解离的最小正应力叫做临界正应力，产生解离(破裂)的晶面叫做解离面。由于正应力不能使晶体发生塑性变形，因此，正应力所造成的破裂没有塑性变形发生，故把这种破裂叫做脆性破裂。

当作用在晶面上的剪应力达到一定程度，且所有可以产生滑移的自由方向都消失，塑性变形不再继续，晶体便会沿着某一滑移面发生破裂。这种破裂叫做剪断。由于剪断是在塑性变形之后发生的，故把这种破裂叫做塑性破裂。

2. 单晶体塑性变形 单晶体塑性变形的的基本方式是滑移和孪生。

(1) 滑移 当作用在晶体上的切应力增大到一定数值，使原子的位移达到一个原子间距或几个原子间距时，由于原子已处于一个新的稳定平衡位置(见图1-10c)，因此，即使剪应力消除以后，原子也不恢复原位，这样单晶体便产生了

塑性变形。

滑移是金属塑性变形最常见的一种方式，滑移总是发生在原子密度最大的晶面和晶向上。一个滑移面及其面上的一个滑移方向，组成一个滑移系。每一个滑移系，表示晶体在产生滑移时，可能采取的空间位向。在条件相同情况下，晶体的滑移系越多，则滑移时可能出现的滑移位向就越多，金属的塑性就越好。但金属塑性的好坏，不仅取决于滑移系的多少，还与温度、载荷等外部条件有关。图1-1中的阴影面为三种晶格的滑移面。

(2) 孪生 当作用在晶体上的切应力达到一定的数值时，晶体沿着一定的晶面和方向，一部分原子相对于另一部分原子发生转动，结果形成相互对称的变形部分和未变形部分，这种变形方式称为孪生，或称为双晶，见图1-11。变形部分和未变形部分的交界面，称为孪晶面。孪生总是成对地发生，形成孪晶带，即塑性变形区。孪生发生时，原子相对移动的方向相同，但相对移动的距离与原子离开孪晶面的距离成正比，即每个相邻原子间的移动，只有一个原子间距的几分之一。

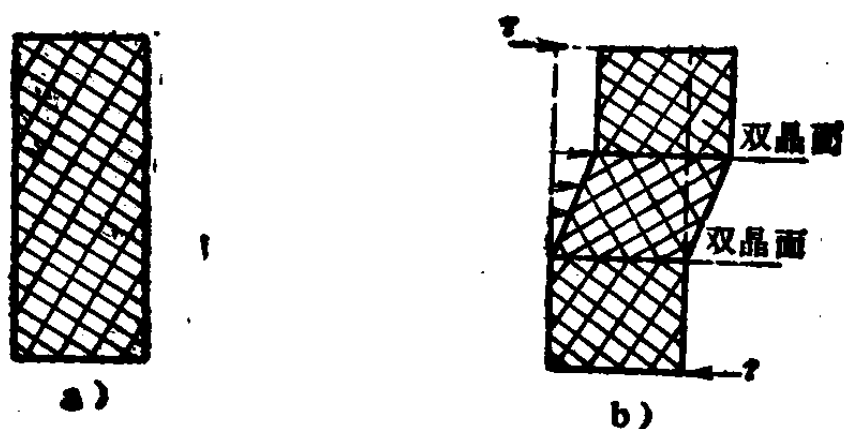


图1-11 孪生变形示意图

a) 变形前 b) 变形后