

緒 論

为了使金属具有一定的形状，可以用各种方法，但归纳起来可分为三类：

1. 减少质量法，属于这种方法的有金属切削加工，冲裁，剪切以及切割等。此法的特点是加工前后只改变物体的形状而不改变金属的性质和組織，它可以得到尺寸精确和表面光洁的制品。工作上较为灵活，既可大量生产，又可单体生产。但缺点是金属和加工金属用能量的損耗大，产品成本高。

2. 增加质量法，属于这种方法的有鑄造，焊接，铆接等。此法的特点是沒有废料，易于得到較大和較长的制品。并且在一定条件下可能部分的影响产品的性质。

3. 质量不变法，所有的金属压力加工方法都属于此类。这种成型方法沒有金属損耗，生产率高，成本低，又适于大量生产并能得到尺寸较为精确的产品，而且金属的組織和性能也能得到相应的改善。本书所介紹的就是这种成形方法。

金属压力加工的方法是利用金属的塑性，对金属施加一定的外力，使其形状和性能发生改变而得到所要求的产品。这样的变形过程称为压力加工过程。金属压力加工的主要方法有軋制，挤压，拉伸，鍛造和冷冲等（图0—1）。

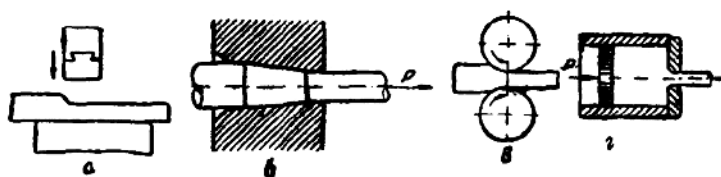


图0—1 金属压力加工基本方法示意图

a—鍛造；b—拉伸；c—軋制；d—挤压

軋制是金属压力加工中使用最广泛的方法之一，軋制过程是使金属通过两个轉动着的輥子中間（图中 B），改变其形状和尺寸——厚度減縮和长度增加。軋制可分为纵軋，橫軋及斜軋三种。它可以生产板、带、箔、管、棒及型材制品。

挤压是压力加工中比較新的方法，是把金属放在封閉的压挤筒中，靠压力的作用，迫使金属通过模孔而变形（图中 r）。这个方法被广泛地应用在生产有色金属及合金管、棒、型材及其他半成品，也用来生产拉伸和軋制用的坯料。

拉伸是将金属从錐形的模孔拉过而使其断面減小长度增加的压力加工过程。用拉伸方法可生产圓形或复杂断面的管、棒及綫材。拉伸所用的坯料一般是用挤压或軋制的方法得来的。

鍛造是在压力作用下使金属在高度上压缩，而在长和寬的尺寸上有所增加（图中 a）。鍛造又分为自由鍛与热模鍛两种。冷冲是在冷态下把金属放在压力机上，通过冲模的作用而使金属变形的压力加工方法。

金属通过上述的压力加工方法可以制得各种規格的板、带、箔、管、棒、綫及型材，这些产品在国民經济中应用得极为广泛。根据統計，在鉄路运输工具中所用金属压力加工产品占其金属制品的96%，在汽車和拖拉机制造业中約占95%，在农业机械中占80%，在航空工业中占90%，在机械制造业中占70%。特别是由于現代科学技术的发展，更要求有特殊性能的各种有色金属制品。我国是使用有色金属最早的国家之一，远在四千年前，就有了刀剑等压力加工制品的出現。自从全国解放后，在中国共产党的领导下，我国的有色压力加工工业在极短的时间內获得了迅速的发展，不但已能生产过去所不能制造的合金板带型材等产品，并且已能供应精密仪表、汽車、拖拉机、飞机制造等工业所需的有色金属与合金材料。对現代生产工艺的研究和迅速推广，也将不断丰富和发展有色金属压力加工的理論和技术。

目 录

绪论.....	4
---------	---

第一篇 金属压力加工的理论基础

第一章 变形力和变形.....	6
§ 1 金属变形过程的基本概念.....	6
§ 2 力和应力.....	6
§ 3 变形.....	10
§ 4 塑性条件.....	14
§ 5 最小阻力定律.....	17
第二章 金属塑性变形的物理特性.....	18
§ 1 金属的塑性变形机构.....	18
§ 2 塑性变形所引起的后果.....	22
§ 3 恢复和再结晶.....	23
第三章 压力加工过程的外摩擦.....	24
§ 1 压力加工过程中外摩擦的特点.....	24
§ 2 摩擦机构.....	25
§ 3 外摩擦引起的后果.....	26
§ 4 压力加工过程中的润滑.....	27
第四章 金属塑性变形的不均匀性.....	27
§ 1 应力和变形不均匀分布的原因.....	27
§ 2 应力和变形不均匀分布的后果.....	30
§ 3 防止应力和变形不均匀分布的措施.....	33
§ 4 残余应力.....	34
第五章 金属的塑性和变形抗力.....	36
§ 1 金属的塑性.....	36
§ 2 金属的变形抗力.....	39
§ 3 变形力的计算原理.....	40

第一章 轧制理论基础.....	42
§ 1 轧制过程的基本概念.....	42

§ 2 軋制过程的建立	46
§ 3 金属在变形区内的变形	50
§ 4 金属对軋轡的压力	58
第二章 板帶材和型材軋制	69
§ 1 板帶材和型材軋制的一般概念	69
§ 2 軋轡孔型設計的基本概念	70
§ 3 管材軋制的一般概念	78
第三章 軋制車間設備	81
§ 1 軋制車間主要设备的分类及其特性	81
§ 2 軋机主要机列的組成部件	83
§ 3 軋制車間輔助设备	98
第四章 軋制生产工艺	107
§ 1 板帶材生产典型工艺流程	107
§ 2 型材生产工艺流程	113
§ 3 生产工艺过程举例	115

第三篇 金属挤压

第一章 挤压原理	118
§ 1 挤压的基本概念	118
§ 2 挤压过程中金属流动的性质	120
§ 3 挤压力及其計算	125
§ 4 挤压制品的品种及挤压方法的特点	127
第二章 挤压设备及工具	129
§ 1 挤压机的基本构造和操作	129
§ 2 挤压设备的驱动系統	131
§ 3 挤压工具	131
第三章 挤压的工艺过程	133
§ 1 挤压速度和挤压溫度	133
§ 2 挤压时变形程度的决定	134
§ 3 挤压制品的工艺过程	135
§ 4 挤压生产中的废品	137

第四篇 拉伸生产

第一章 拉伸的理论基础	138
§ 1 拉伸生产的基本概念	138
§ 2 拉伸时金属在变形区内的应力状态和流动特征	142
§ 3 拉伸力和拉伸应力	144
§ 4 拉伸配模	148
第二章 拉伸工具和拉伸设备	151
§ 1 拉伸工具的一般概述	151
§ 2 拉伸的主要设备——拉伸机	154
§ 3 拉伸车间的主要辅助设备	161
第三章 拉伸工艺	163
§ 1 拉伸工艺过程的其它工序	163
§ 2 拉伸时的润滑	164
§ 3 拉伸工艺流程举例	167

第五篇 锻造与冷冲

第一章 锻造	170
§ 1 锻造生产的一般概念	170
§ 2 锻造对产品的结构与机械性能的影响	171
§ 3 自由锻造	172
§ 4 模型锻造	173
§ 5 锻造和热冲工艺	174
§ 6 锻造车间的主要设备	175
第二章 冷冲	177
§ 1 冷冲的一般概念	177
§ 2 冲压设备及工具	182

目 录

绪论.....	4
---------	---

第一篇 金属压力加工的理论基础

第一章 变形力和变形.....	6
§ 1 金属变形过程的基本概念.....	6
§ 2 力和应力.....	6
§ 3 变形.....	10
§ 4 塑性条件.....	14
§ 5 最小阻力定律.....	17
第二章 金属塑性变形的物理特性.....	18
§ 1 金属的塑性变形机构.....	18
§ 2 塑性变形所引起的后果.....	22
§ 3 恢复和再结晶.....	23
第三章 压力加工过程的外摩擦.....	24
§ 1 压力加工过程中外摩擦的特点.....	24
§ 2 摩擦机构.....	25
§ 3 外摩擦引起的后果.....	26
§ 4 压力加工过程中的润滑.....	27
第四章 金属塑性变形的不均匀性.....	27
§ 1 应力和变形不均匀分布的原因.....	27
§ 2 应力和变形不均匀分布的后果.....	30
§ 3 防止应力和变形不均匀分布的措施.....	33
§ 4 残余应力.....	34
第五章 金属的塑性和变形抗力.....	36
§ 1 金属的塑性.....	36
§ 2 金属的变形抗力.....	39
§ 3 变形力的计算原理.....	40

第一章 轧制理论基础.....	42
§ 1 轧制过程的基本概念.....	42

§ 2 軋制过程的建立	46
§ 3 金属在变形区内的变形	50
§ 4 金属对軋轡的压力	58
第二章 板帶材和型材軋制	69
§ 1 板帶材和型材軋制的一般概念	69
§ 2 軋轡孔型設計的基本概念	70
§ 3 管材軋制的一般概念	78
第三章 軋制車間設備	81
§ 1 軋制車間主要设备的分类及其特性	81
§ 2 軋机主要机列的組成部件	83
§ 3 軋制車間輔助设备	98
第四章 軋制生产工艺	107
§ 1 板帶材生产典型工艺流程	107
§ 2 型材生产工艺流程	113
§ 3 生产工艺过程举例	115

第三篇 金属挤压

第一章 挤压原理	118
§ 1 挤压的基本概念	118
§ 2 挤压过程中金属流动的性质	120
§ 3 挤压力及其計算	125
§ 4 挤压制品的品种及挤压方法的特点	127
第二章 挤压设备及工具	129
§ 1 挤压机的基本构造和操作	129
§ 2 挤压设备的驱动系統	131
§ 3 挤压工具	131
第三章 挤压的工艺过程	133
§ 1 挤压速度和挤压溫度	133
§ 2 挤压时变形程度的决定	134
§ 3 挤压制品的工艺过程	135
§ 4 挤压生产中的废品	137

第四篇 拉伸生产

第一章 拉伸的理论基础	138
§ 1 拉伸生产的基本概念	138
§ 2 拉伸时金属在变形区内的应力状态和流动特征	142
§ 3 拉伸力和拉伸应力	144
§ 4 拉伸配模	148
第二章 拉伸工具和拉伸设备	151
§ 1 拉伸工具的一般概述	151
§ 2 拉伸的主要设备——拉伸机	154
§ 3 拉伸车间的主要辅助设备	161
第三章 拉伸工艺	163
§ 1 拉伸工艺过程的其它工序	163
§ 2 拉伸时的润滑	164
§ 3 拉伸工艺流程举例	167

第五篇 锻造与冷冲

第一章 锻造	170
§ 1 锻造生产的一般概念	170
§ 2 锻造对产品的结构与机械性能的影响	171
§ 3 自由锻造	172
§ 4 模型锻造	173
§ 5 锻造和热冲工艺	174
§ 6 锻造车间的主要设备	175
第二章 冷冲	177
§ 1 冷冲的一般概念	177
§ 2 冲压设备及工具	182

緒 論

为了使金属具有一定的形状，可以用各种方法，但归纳起来可分为三类：

1. 减少质量法，属于这种方法的有金属切削加工，冲裁，剪切以及切割等。此法的特点是加工前后只改变物体的形状而不改变金属的性质和組織，它可以得到尺寸精确和表面光洁的制品。工作上较为灵活，既可大量生产，又可单体生产。但缺点是金属和加工金属用能量的損耗大，产品成本高。

2. 增加质量法，属于这种方法的有鑄造，焊接，铆接等。此法的特点是沒有废料，易于得到較大和較长的制品。并且在一定条件下可能部分的影响产品的性质。

3. 质量不变法，所有的金属压力加工方法都属于此类。这种成型方法沒有金属損耗，生产率高，成本低，又适于大量生产并能得到尺寸较为精确的产品，而且金属的組織和性能也能得到相应的改善。本书所介紹的就是这种成形方法。

金属压力加工的方法是利用金属的塑性，对金属施加一定的外力，使其形状和性能发生改变而得到所要求的产品。这样的变形过程称为压力加工过程。金属压力加工的主要方法有軋制，挤压，拉伸，鍛造和冷冲等（图0—1）。

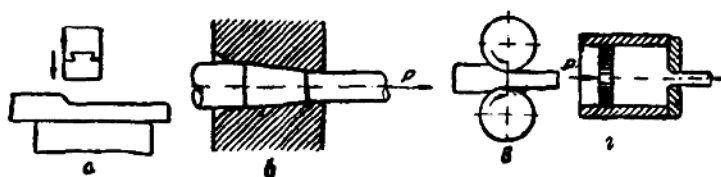


图0—1 金属压力加工基本方法示意图

a—鍛造；b—拉伸；c—軋制；d—挤压

軋制是金属压力加工中使用最广泛的方法之一，軋制过程是使金属通过两个轉动着的輥子中間（图中 B），改变其形状和尺寸——厚度減縮和长度增加。軋制可分为纵軋，橫軋及斜軋三种。它可以生产板、带、箔、管、棒及型材制品。

挤压是压力加工中比較新的方法，是把金属放在封閉的压挤筒中，靠压力的作用，迫使金属通过模孔而变形（图中 r）。这个方法被广泛地应用在生产有色金属及合金管、棒、型材及其他半成品，也用来生产拉伸和軋制用的坯料。

拉伸是将金属从錐形的模孔拉过而使其断面減小长度增加的压力加工过程。用拉伸方法可生产圓形或复杂断面的管、棒及綫材。拉伸所用的坯料一般是用挤压或軋制的方法得来的。

鍛造是在压力作用下使金属在高度上压缩，而在长和寬的尺寸上有所增加（图中 a）。鍛造又分为自由鍛与热模鍛两种。冷冲是在冷态下把金属放在压力机上，通过冲模的作用而使金属变形的压力加工方法。

金属通过上述的压力加工方法可以制得各种規格的板、带、箔、管、棒、綫及型材，这些产品在国民經济中应用得极为广泛。根据統計，在鉄路运输工具中所用金属压力加工产品占其金属制品的96%，在汽車和拖拉机制造业中約占95%，在农业机械中占80%，在航空工业中占90%，在机械制造业中占70%。特别是由于現代科学技术的发展，更要求有特殊性能的各种有色金属制品。我国是使用有色金属最早的国家之一，远在四千年前，就有了刀剑等压力加工制品的出現。自从全国解放后，在中国共产党的领导下，我国的有色压力加工工业在极短的时间內获得了迅速的发展，不但已能生产过去所不能制造的合金板带型材等产品，并且已能供应精密仪表、汽車、拖拉机、飞机制造等工业所需的有色金属与合金材料。对現代生产工艺的研究和迅速推广，也将不断丰富和发展有色金属压力加工的理论和技术。

第一篇 金屬压力加工的理论基础

第一章 变形力和变形

§1 金属变形过程的基本概念

为了使金属发生变形，必須对其施加一定的外力，若其因受外力作用而产生的运动受到阻碍时，則金属内部原子被迫偏离其平衡位置，晶格发生歪扭，因而引起金属外形及尺寸的变化，即产生弹性变形。此时，也引起金属内部位能的增加，因而产生内力。内力就是原子对偏离其平衡位置的抵抗力。在把外力取消后，由于内力的作用，原子恢复到原来的平衡位置，晶格和金属形状均回到原来状态，变形也就消失了。但是，如果外力继续增加，超过了原子对偏离其平衡位置的最大抵抗力（即所謂弹性极限），破坏了原来的晶格，使金属晶体彼此之間或晶体內各部分之間，沿一定的結晶面作相对移动，則当取消外力后，金属也不能恢复其原始的形状和尺寸。这种变形則称为塑性变形。

因此，金属在塑性变形过程中，一定也有弹性变形存在，这是金属变形的一个重要現象，在实用上有很大意义。

§2 力和应力

1. 外力。在压力加工过程中，被加工的金属所遇到的外力計有以下三种：

1) 作用力，这是使金属变形的主力。作用力的大小决定于金属抵抗变形的能力。一般情况下，作用力是由机械作用产生的，例如錘头落下打在金属上的力。

2) 反作用力，这是由于工具阻碍金属在某个方向上的运动或变形而产生的。如图1--1所示当外力 $P_{\text{外}}$ 作用在金属上，企图

使金属向下运动，由于底板的阻碍，便产生反作用力。同时在金属内部也产生内力，以平衡外面的作用力和反作用力。又如图1—2所示，金属在凹模内变形，由于受到模内壁的阻碍，就产生反作用力。反作用力总是垂直于工具的工作表面，而不一定和作用力的方向一致。

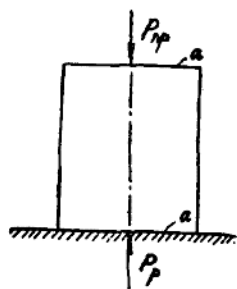


图 1—1 由于金属运动受到阻碍而产生的反作用力

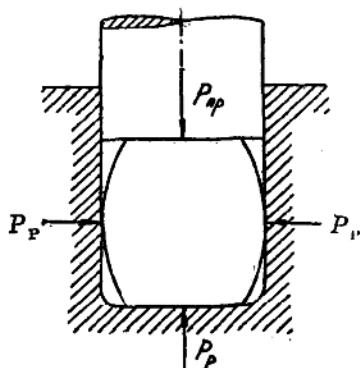


图 1—2 由于金属变形受到阻碍而产生的反作用力

3) 摩擦力，在任何压力加工过程中，变形金属和加工工具之间都存在摩擦力。摩擦力既能起阻碍作用，也能起有效作用。例如在平锤头上锻粗变形（图1—3），金属要沿着与锤头接触的表面移动，而摩擦力阻碍金属的流动，即起阻碍变形的作用。但在轧制时，轧辊和变形金属间的摩擦力有利于把金属引进轧辊的孔隙中去，因此它是起有效作用的（图1—4）。

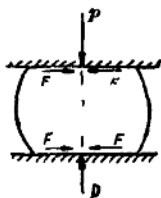


图 1—3 由摩擦引起的“腰部膨胀”

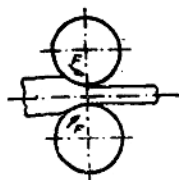


图 1—4 轧制时摩擦力所起的有效作用

2 内力和应力。内力的产生可由二种情况引起：

1) 为了平衡外部机械作用所产生的内力。当外力作用使金属发生变形时, 便产生与作用力、反作用力和摩擦力平衡的内力。

2) 由于物理过程或物理-化学过程所产生的在金属内部相互平衡的内力。如图1—5所示, 如金属板材加热不均匀, 右半边的温度比左半边的升高得快, 则由于热膨胀, 右半边板材的长度比左半边增加得快。但金属板材是一个整体, 它各部分的延伸是相等的, 因此板材右半边内因伸长受左半边的牵制而产生压缩内力; 而左半边也因被迫延伸而产生拉伸内力。它们在板材内部相互平衡。

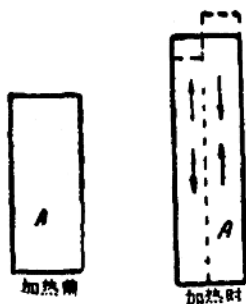


图 1—5 在不均匀加热时的坯料

内力的大小, 即内力的强度称为应力。在数值上等于在一个无限小的面积上内力和该面积比值的极限值。即:

$$\sigma = \lim \frac{\Delta P}{\Delta F}$$

式中 ΔP ——极微小的面积 ΔF 上的总内力。

实际上, 在大多数情况下, 内力的分布是不均匀的。因此只能采用平均应力的概念。

3. 应力状态。当金属受外力或物理-化学过程的作用而出现内力时, 称金属处于应力状态。

应该区别点的应力状态和体的应力状态这两个概念。前者是指该点的应力张量, 用以表示作用于该点的应力的数值和方向。而后者表示金属在外力作用下, 原子被迫偏离其稳定平衡位置, 因而原子有趋于恢复原位的状态。

由弹性力学可知: 变形物体中任一点的应力状态, 可用三个主应力来表示。也就是说, 通过该点由三个主平面组成的立方体

上的应力，能够决定此点的应力状态。

说明变形金属内某一点的三个主应力是否存在及其正负号的示意图形，称为主应力状态图或简称为主应力图。如整个金属内各点的主应力图是相同的，则主应力图就可表示整个金属的应力情况。

可能有的主应力图共有九种。苏联学者巴甫洛夫将无应力时的零应力状态加入到九个可能的主应力图中，而组成所谓应力状态三角形图示，如图1—6。在这九种主应力图中，一向压缩主应力图实际上是不存在的，因为金属和工具表面间不可避免地会产生摩擦力。一向拉伸主应力图的情况存在于拉力试验时的开始阶段，当出现细颈现象时在细颈部分变成三向拉伸主应力图。这说明在同一加工过程中，由于变形情况不同则主应力图也不同。压力加工中最常遇到的是三向压缩主应力图(轧制、挤压、锻造)，

而拉伸过程的主应力图则是二向压缩一向拉伸主应力图。

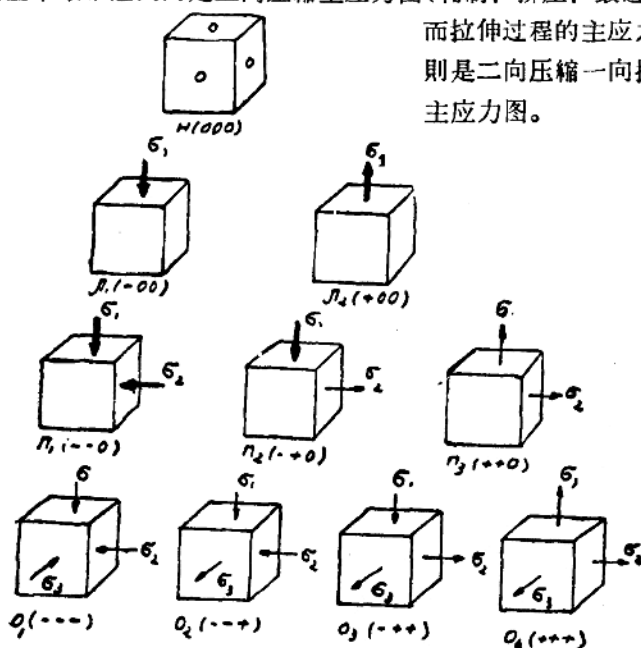


图 1—6 应力状态图示三角形

主应力图对变形阻力及塑性的影响很大。主应力图中有拉应力存在，会使金属塑性降低，特别是在三向拉伸应力状态时，金属是不可能发生塑性变形的，只会导致金属破断。而主应力图中有压应力存在，则会使金属塑性提高。而且压应力的数值愈大，它們之間的差值愈小，則塑性愈好（但当三个压应力数值完全一致时，則不可能产生塑性变形）。例如平輥軋制和挤压都是三向压应力状态，但挤压的主应力数值較大而且它們二者之間差值也較小，故金属在挤压时表现的塑性比在平輥軋制时为好。

金属在異号主应力图时，比在同号主应力图时的变形阻力为小；压应力数值愈大，則变形抗力也愈大。这样就碰到一个很重要的矛盾現象，即：压应力是对金属塑性是有利的条件，但又是使金属发生变形的不利条件。这样就需要根据金属本身的特点来选择适当的加工方法，使金属既有良好的塑性，而加工时又比較省力。

§3 变 形

1. 金属塑性变形前后的体积不变条件。我們假定金属在塑性变形过程中，其体积为一常数。实际上金属在塑性变形中其体积会发生一些很微小的变化，如在热軋时，就会使鑄錠中的縮孔、疏松等缺陷压紧而使体积减小。但这种体积变化微小到可以忽略不計，这样对計算上带来很大方便。在数学上可把这个条件表示为：

$$V_1 = V_2$$

式中 V_1 为变形前体积， V_2 为变形后体积。对于立方体可以写成：

$$HBI = hbi$$

式中 H 、 B 、 I 为变形前的高、寬和长度。 h 、 b 、 i 为变形后的高、寬和长度。

2. 主变形。主变形是指发生在主軸方向上的塑性变形，亦即在主应力方向上所发生的塑性变形。如图1—7所示，绝对主变形公式为：

$$\Delta h = H - h;$$

$$\Delta b = b - B;$$

$$\Delta l = l - l_0.$$

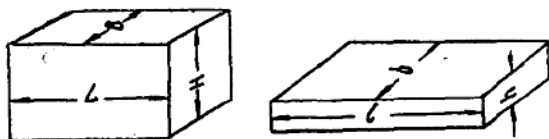


图 1-7 矩形坯料变形前后的尺寸变化

故金属在三个主軸上总的最后变形量需用以上三个式子表示。但这组公式没有相对比较的意义，所以在大多数的情况下，采用相对主变形来表示。相对主变形的公式有三种：

第一种是绝对主变形与原来尺寸之比，即：

$$\epsilon_1^1 = \frac{\Delta h}{H}; \quad \epsilon_2^1 = \frac{\Delta b}{B}; \quad \epsilon_3^1 = \frac{\Delta l}{L}.$$

第二种是绝对主变形与变形后尺寸之比，即：

$$\epsilon_1^2 = \frac{\Delta h}{h}; \quad \epsilon_2^2 = \frac{\Delta b}{b}; \quad \epsilon_3^2 = \frac{\Delta l}{l}.$$

这两种相对主变形的表示方法都不能准确地表示出金属在变形过程中尺寸的真实变化过程。因为，在变形过程中，金属各部分的尺寸在任何瞬间都是不同的。因此还采用第三种相对主变形的表示方法。这种方法是用某瞬间变形尺寸的无限小增量与该瞬间尺寸数值的比值之积分来表示相对主变形，即：

$$\epsilon_1^3 = \int_H^h \frac{dh_x}{h_x} = \ln \frac{h}{H};$$

$$\epsilon_2^3 = \int_B^b \frac{db_x}{b_x} = \ln \frac{b}{B};$$

$$\epsilon_3^3 = \int_{l_0}^l \frac{dl_x}{l_x} = \ln \frac{l}{l_0}.$$

这种对数变形式，因为考虑了金属变形整个过程的情况，故称为真实主变形式。为了进一步了解真实主变形的物理意义，我们引入移动体积的概念。

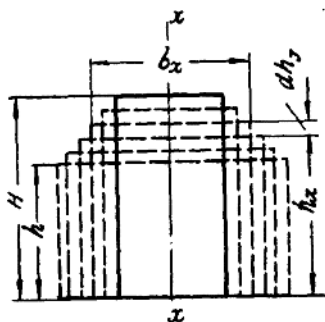


图 1-8 移位体积的示意图形

大家知道，金属的塑性变形是其内部质点相互转移的结果，也即金属各部分体积相互转移的结果。因此，移动体积的大小，即表示金属的变形程度。

现假设锻造一矩形界面体（如图 1-8 所示），在某瞬间六面体的

尺寸为 h_x , b_x , l_x 。给六面体以无穷小的压缩量 $(-dh_x)$ ，则六面体的宽及长有相应的增量 db_x 及 dl_x 。而高向的移位体积为：

$$dV_h = b_x l_x (-dh_x);$$

同样

$$dV_b = l_x h_x db_x;$$

$$dV_l = b_x h_x dl_x.$$

根据体积不变条件，高向移动体积应等于宽向及长向移动体积之和。即：

$$dV_h = dV_b + dV_l$$

$$b_x l_x (-dh_x) = l_x h_x db_x + b_x h_x dl_x$$

整理上式，得：

$$V \frac{(-dh)}{h_x} = V \frac{db_x}{b_x} + V \frac{dl_x}{l_x}$$

进行积分，则得：

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

上式各项表示相应的长宽高方向的移动总体积。由此可知，高宽长方向的单位移动体积，等于相应方向的真实主变形。