

冷挤压资料汇编

目 录

- 第一篇 冷挤压成形的基本原理.....交通大学530教研组
(1—53页)
- 第二篇 深孔薄壁零件冷挤压的实践.....缝纫机零件五厂
(1—26页)
- 第三篇 冷挤压工艺的应用.....上海电动工具厂
(1—16页)
- 第四篇 电工钢壳体冷挤压工艺试验总结.....上海仪表厂四车间
(1—10页)
- 第五篇 温热挤压工艺简介.....交通大学530教研组
(1—6页)
- 第六篇 滚轮体温热挤压.....上海工农动力机厂
(1—4页)
- 第七篇 黑色金属冷挤压模(凸模)的热处理.....华中工学院
交通大学
(1—35页)
- 第八篇 起动机磁极和整流子压圈的精密模锻.....上海汽车电机厂
(1—16页)
- 第九篇 推荐一种新模具钢——CG—2.....上海钢铁研究所一室
(1—10页)

冷挤压成形的基本原理

目 录

- 第一节 金属塑性变形的机理
- 第二节 加工硬化、恢复及再结晶
- 第三节 挤压加工的分类
- 第四节 附加应力及残余应力
- 第五节 主应力状态对挤压工艺的影响
- 第六节 金属的变形抗力
- 第七节 冷挤压压力计算及测量
- 第八节 冷挤压变形的许用变形程度
- 第九节 金属在挤压变形时的流动规律
- 第十节 冷挤压对金属组织及机械性能的影响

第一节 金属塑性变形的机理：

(叙述内容：1. 金属的构造

2. 弹性变形与塑性变形

3. 单晶体的塑性变形

4. 多晶体的塑性变形

5. 塑性变形的体积不变条件)

金属物体的变形是由于金属受外力作用后，晶体结构中原子之间的距离发生偏移的结果。金属的构造、晶体结构是怎么一回事呢？根据近代物理知识可知，一般地说，原子是处于热运动的状态中，此种原子运动的速度及特点即决定了物质组成的状态。在气体状态中，原子在空间的位置是杂乱无章的，并且以高速运行，原子间相互碰撞，排斥力占优势。到一定的温度及压力条件下，原子的运动速度降低，相互间的排斥力减小，即产生了液体状态。当温度继续降低，原子运动速度更趋缓慢，到达一定限度时，即产生了固体状态。在固、液态之间有着明显的、严格的分界，即固体物质，其原子在空间呈有规律性的周期性的分布。称做晶体结构（当然也有非晶体结构的固体，如玻璃、松香等。他们在实质上是过度冷却的液体，其原子处于不稳定的平衡状态，排列也无一定规律，因此不具有晶体结构的特性。）具有上述晶体结构的金属，在其晶格的结点处，存在的不是中性原子，而是带正电荷的离子。在金属晶格中所有的价电子组合在一起形成统一的电子系统。这个系统是一个异号电荷间的引吸力与同号电荷间的排斥力相平衡的系统，构成了整个晶格的稳定。而个别的原子仍围绕其稳定作振动而不是绝对的静止。是微观上的晶体构造。具有晶体构造的物质所表现的特征可归纳为三点：(1)有平面或直线的存在；(2)有不等物的方向性；(3)有内部结构规律性。然而我们平时接触到的供冷挤压用的金属是具有等方向性的，原因在于这种金属（它们）是由大量不同方向性的结晶体（单晶体）堆集而成的，单个晶体虽然具有方向性，但许多单晶体集合

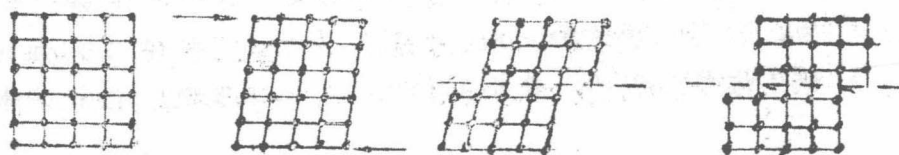
在一起所显示出的就是各向都一致了，这样的晶体结构为之多晶体结构。金属在冷却过程中结晶每个单晶（或称晶粒）是由嵌镶块所组成，嵌镶块的大小约为 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 厘米，相邻的嵌镶块方向夹角为 $10 \sim 20^\circ$ ，此外由于结晶过程各种条件的影 响，晶粒的外形也是不规则的，而且有不完善的缺陷（称做位错）存在。

以上所叙述的是金属的构造，晶体结构。下面再谈谈弹性变形与塑性变形的概念。

在有秩序、有规律排列的晶格中，原子之间距离为一定，在保持这种距离的情况下，原子间相互作用的能量为最小，为之稳定平衡状态。在外力作用下，原子离开了稳定平衡的位置，引起位能增加。原子相对位移的总和，表现为变形。当外力去掉时，原子又恢复到原来位置。物体恢复到原来的形状与大小，这种性能称做弹性，这种变形称做弹性变形。在弹性范围内，外力越大，则原子位置偏移的数值也越大，偏移的数值与变形力成正比，这就是众所周知的虎克定律。原因是在弹性范围内，金属原子所偏移的距离较小。（是小于晶距的。）当原子离开最小能量的稳定平衡位置之后，它总有着恢复到原来位置的趋势，这就产生内力，在弹性范围内，作用在金属上的外力与内力相平衡。

当金属原子移动的距离显著地超过了晶体结构中原子间的距离时，引起金属外形的改变，当外力去除时，金属再也不能恢复到原来的形状，这就不再是上述范围，而是被称做塑性变形状态。也就是说，原子相对移动到新的平衡位置，失去了恢复到原来位置的能力。金属一旦塑性变形，它的机械性能、物理性能甚至化学性能都起了变化。

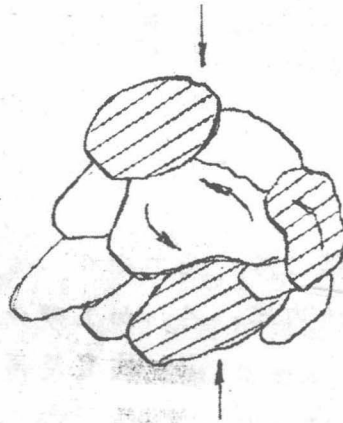
应该说，每一种金属进入塑性阶段之前，必然经过弹性阶段，所以总的变形量是由弹性变形与塑性变形两者组成，只是弹性变形将随着外力的去除而消失而已。例如下图所示的情况：



图(一) 单晶体的滑移

这是单晶体塑性变形的机理之一——滑移。所谓滑移即是在外力作用下，晶体的某些部分沿着一定的晶面，按一定的方向作相对的平行移动。（产生滑移的晶面称为滑移平面，产生滑移的方向称为滑移方向。）多晶体金属的变形机理就不这么简单，因为多晶体是由大量不同方向性的单晶体组合而成，如前所述，各单晶体本身是由铁原子堆集而成，单晶体与单晶体之间即晶粒之间存在着晶界，因此多晶体的塑性变形比单晶体具有更多的特点。它不仅在每个晶粒内部存在着和单晶体一样的塑性变形机理，而且还有晶粒之间的相互滑动和转动，称为晶间变形。图(二)是多晶体晶粒之间发生相互转动的可能性的示意图。

在多晶体发生的塑性变形中，有晶粒的变形，也有晶间的滑动转动而变形，这里而是以那一种机理为主要实现塑性变形的呢？这尚须看变形的温度——速度，晶粒强度与晶界强度之比值，化学成份以及晶粒的大小等等条件。应当指出，在再结晶温度（第二节将叙述关于再结晶的详细内容）以下的变



图(二) 晶粒之间相对转动示意图

形是晶粒内的变形过程组成多晶体形状变化的基本过程，而晶间变形仅占很小的地位。原因是晶粒间的相互移动，会使晶界受到破坏，从而导致多晶体的破坏（宏观表现为裂纹），只有在高温下变形时，晶间的这种破坏得到全部恢复，这时的晶间变形才具有较大的意义，换句话说，只有在热态对金属进行压力加工才能获得较大的变形量。这也就是俗话说要“趁热打铁”的道理。

最后谈一下关于塑性变形的体积不变条件。根据以上所叙述的金属塑性变形机理可知，在金属塑性变形时，由于塑性变形伴随有弹性变形发生，所以金属的体积总是要改变的。当载荷卸去时，弹性变形消失，与大塑性变形比较起来，弹性变形简直很小，所以在

确定塑性变形时，体积的弹性变化值通常可以略去不计。那么纯塑性变形是否引起体积变化呢？根据上述变形机理，由于晶粒内和晶粒间的破坏，会引起疏松，即引起体积增大。（这是对于没有再结晶伴随发生的冷塑性变形而言）例如软钢丝在冷拉拔变形以后，其密度与退火组织比较，约下降1%，即体积有增大现象。对于冷挤压的另件也有同样的实验结果，挤压件比同样体积的原棒料车制件轻，也说明其体积有增大现象。但是如果塑性变形伴随有再结晶发生，那么由于再结晶时晶粒内和晶粒间的疏松及显微空隙消失了，则密度就要增大，在这种情况下密度增加可达10%甚至更多，即体积有缩小现象。以上这两种体积变化所引起另件尺寸的变化与其塑性变形引起另件尺寸的变化比较起来，通常是很小的，因此得出一个原理叫做体积不变条件。认为金属在塑性变形时，体积是不变的，并用以解决另件的毛坯尺寸的计算等工艺问题。

第二节 加工硬化、恢复及再结晶：

（叙述内容：1. 加工硬化现象、产生原因及其生产中的应用
2. 恢复及再结晶现象、产生原因及其在金属塑性变形中的意义。）

多晶体在室温下塑性变形，其机械性能、物理性能及化学性能发生改变。随着变形程序的增加，所有强度指标（弹性极限、比例极限、屈服极限及强度极限）都有所提高，硬度也有所提高；塑性指标（延伸率、断面缩减率及冲击韧性）则有所降低、电阻增加、抗腐蚀性及导热性降低，并改变了金属的磁性等等。在塑性变形过程中，金属上述性质变化的总和被称为加工硬化。

近代对加工硬化问题的研究是随着对金属变形机理的研究的深入而不断深化的。上一节已讨论了金属变形机理的大概内容，我们不妨根据这些内容对金属在室温下变形后的加工硬化作些解释。共分四点解释如下：

(1)当一定外力作用在一个多晶体金属材料上时，金属逐步由弹性变形状态过渡到塑性变形状态。多晶体塑性变形的主要方式是滑

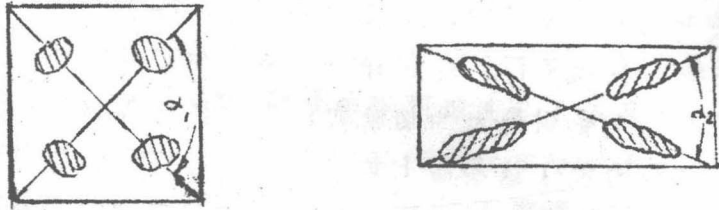
移。滑移的机理与单晶体一样，然而多晶体中晶粒的方向性对多晶体的塑变过程有很大影响，原来未变形时，各晶粒方向不同，即滑移面所处的方位也不同，在这许多滑移面中，只有那些与外力成 45° 夹角的滑移面上受到最大的切应力，当达到临界值时（即产生滑移所需要的切应力值）这些面上首先产生塑性变形，而邻近的晶粒，由于方向不符，在它的滑移面上没有得到足够大的切应力，尚不能产生塑性变形，这样滑移有先后的结果造成已滑移面的歪曲，从而使该面的继续滑移产生困难，在塑性力学上表现为晶粒内部的非常不均匀的应力状态。要它进一步变形就困难多了，即表现出上述的加工硬化现象。

（*用位错理论进行解释如下：多晶体的塑性变形主要形式是滑移，所谓滑移即位错运动的结果，所谓位错，顾名思义位置排错，即晶格的歪扭，这种位错（歪扭）使位能变化，或者增高，或者降低，分别称正位错及负位错，不同性能的位错各有其固有的特性：同号位错相斥，异号位错相吸，在这种固有的能量力场中，要它进一步改变现状（变形）就困难了，表现为加工硬化。）

(2)随着外力的增加，使晶粒产生滑移所需要的切应力的临界值逐步得到满足，产生塑性变形的晶粒数越来越多，外力再增加滑移又在另一滑移面上产生，就这样此起彼伏地在晶粒中不同的滑移面上发生着，滑移的结果使各个晶粒在主要流动方向上得到伸长，也就是晶粒的形状发生改变，使原来近于球形的晶粒而逐步变成纤维形状，（见“冷挤压技术”P·24·25）这就相对地增加了晶粒边界的表面积，因为在室温下，晶粒边界的强度比晶内强度高，所以如图所示的冷挤压变形后晶粒的变长就等于增加了难变形区的面积，表现为硬化。

(3)通过挤压变形的金属，其晶粒方向逐趋一致，变形程度越大，晶粒方向的一致性也越大。从几何学角度分析，图(三)所示的情况，设原来晶轴的方向与正方形的对角线重合，在变形过程中正方形逐渐变成更长的长方形，使晶轴有越趋于平行的情况，图中 $\alpha_2 < \alpha_0$ ，变形越大，这种方向一致性也就越大。这种现象称为形成织构。从

而变形抗力也大一些。表现出加工硬化现象。



图(三) 晶粒趋向整体排列
的几何解释

(4)此外在塑性变形中，由于外摩擦的作用及工具形状的影响，造成变形金属内部产生附加应力。因为多晶体金属中，晶粒彼此连结在一起是由于原子间吸引力的作用及纯粹机械连锁力的作用，这是在金属结晶过程中产生的，它使金属的变形具有整体性。（或连续性）在受到外摩擦作用处的金属变形与没有受到外摩擦（如金属的中心部分）的金属变形有区别，但由于这种整体性的关系，金属在其一部分与另一部分之间，晶粒与晶粒之间，甚至晶粒内部之间产生了一对平衡的应力——附加应力（后面另一小节详述）在外力消除以后，它并不消除，仍然残留在金属内部（为之残余应力）它的存在也引起金属变形抗力的增加，就表现出加工硬化现象。

以上从变形机理的角度分析了加工硬化，产生的四点原因，关于加工硬化的本质，早有不少人从事研究。有人指出，在塑性变形时滑移平面附近析出超显微的质点或碳化物，阻碍了滑移的进行，所以呈现上述的硬化现象。这种理论没有被人们广泛接受，但在生产上应用冷变形获得加工硬化的产品却积累了悠久的历史，到目前为止冷变形硬化仍然是提高金属强度指标的可靠的方法。我校生产的12V200柴油机中，活塞肖衬套及付连杆衬套两另件为锡磷青铜材料，为了达到其耐磨性的要求，采用冷挤压变形，使硬度 HB 从 75 kg/mm^2 提高到 $105 \sim 130 \text{ kg/mm}^2$ 以满足机器设计要求。

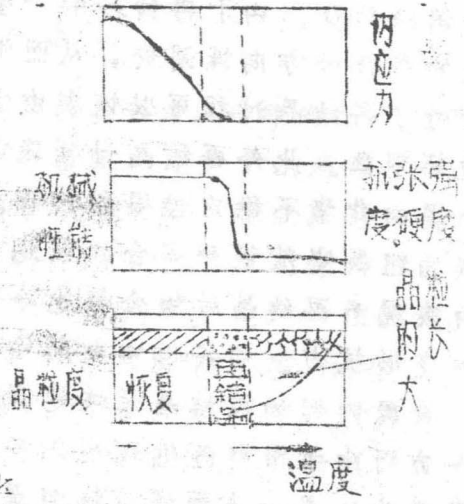
下面再谈谈关于恢复及再结晶现象，产生原因，及其在塑性加

工中的意义：

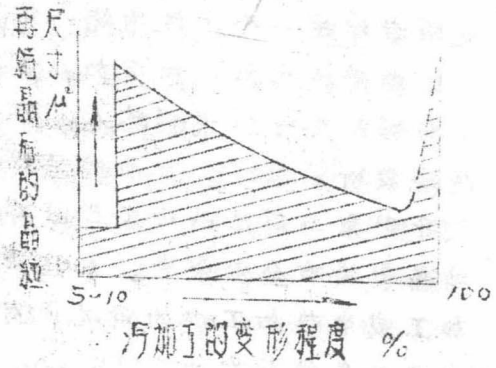
(图四)所示是冷变形的产品在退火加热时所显示的效果。

加热使原子的热振动增加，而有利于原子恢复到原来的平衡位置，使内应力消除，(在温度不太高时阶段)但并不能改变晶粒的形状及晶粒变形后所构成的方向性，晶格仍然是歪扭的。表现为机械性能变化不大。(由图中曲线平直的一段)，一般金属材料在加热到高于 $(0.25 \sim 0.3) T_k$ 绝对熔化温度时，便有这种恢复现象。而当温度再高，高于约 $0.4 T_k$ 绝对熔化温度时，就有再结晶现象产生。这种再结晶现象是在变形后具有歪扭了的晶格中，具有多余位能的晶粒中产生新的结晶中心。(通常以小晶粒或晶间破碎物为核心)在此中心上长出正常的没有被歪曲的晶格，原子重新进行规律性的聚集，形成不具有应力状态的晶格。这样扭曲的晶格得到纠正，这种晶格也不是无止境地一直长大下去，而是与原先的冷变形程度有关系的，这种关系有如下的实验曲线可以表明。

图(五)是冷加工变形程度与再结晶后的晶粒大小之间的关系。当变形程度相当小的时候，曲线有一台阶，这时曲线突然上升，也就是说在此变形程度下，所得到的再结晶晶粒非常大，这种情况所对应的变形程度定名为临界变形程度，一般都在5~10%之间，几乎所有的多晶体金属都能做得如图(五)的实验曲线。由图(四)上部图形



图(四) 冷变形的产品在退火加热过程中的效果

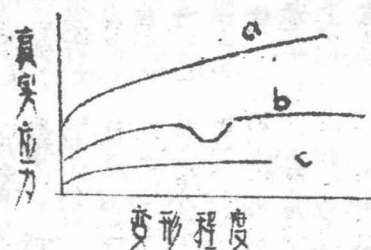


图(五) 冷加工变形程度与再结晶后晶粒大小之关系曲线

可见，在再结晶过程中，内应力是进一步消除，在再结晶结束之前，几乎消除到0。由于再结晶的产生，使晶粒形状改变，使冷变形所产生的晶粒的方向性消失，从而消除了异向性。（个别情况下保留异向性）再结晶过程可以恢复由于冷加工变形形成的晶间破坏及晶内破坏现象。此外再结晶过程能促进变形扩散机构的强化，并能帮助金属的化学不稳定性得到平衡。再结晶过程还能促使变形过程中形成的粗晶空隙得到焊合，因此金属的致密性得到提高，这些情况总的表现为再结晶后的金属比冷变形过的金属具有更高的塑性和更低的变形抗力。如图(四)的中间图形曲线在再结晶阶段显著下降。

金属内部的再结晶及恢复现象可以在塑性变形的过程中发生。即一方面由于滑移等机理引起多晶体的塑性变形，伴随着加工硬化现象产生，另一方面还有恢复及再结晶的现象产生，当然这是在一定变形温度或一定变形速度的条件下产生的。根据上述恢复及再结晶现象的分析，它是促成加工硬化的解除的，一个产生，一个解除，这两者组成一个矛盾的统一个体，如图(六)可见，a曲线有加工硬化现象，随着变形程度的增加，真实应力增加。而c曲线所示的真实应力与横坐标平行，说明其在不同变形程度之下的加工硬化完全被再结晶现象所消除了。b曲线呈波浪曲折状态，说明变形过程中的加工硬化现象与再结晶现象同时并存，两种趋势优劣不等，没有全部再结晶也没有全部硬化。（注意：这里a、b、c三种曲线都是在热加工或半热加工中的情况，对于冷加工，其再结晶必须在变形后重新加热的条件下发生。）

以上讨论的加工硬化、恢复及再结晶问题可以进一步帮助我们认识金属塑性变形对产品性能方面所起的影响，从而指导我们的生产实践。金属在冷挤压塑性变形后，加工硬化效果显著地提高了金属的机械性能，参考“冷挤压技术”P39~40，各图所示曲线，可供生产中选用代用材料作参考。



在认识了冷加工硬化、恢复及再结

加工硬化，恢复及再结晶的矛盾统一个体在真实应力上的反应

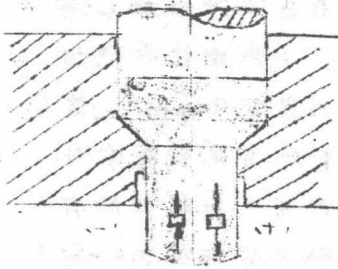
晶现象以后，我们可以讨论挤压变形的分类问题。

第三节 挤压加工的分类

在金属压力加工原理中把金属的再结晶温度——即产生再结晶现象的最低温度定为区别加工类型的分界线，凡高于此温度的加工为热加工类，凡甚低于此温度的加工为冷加工类。所以象铅和铯在室温下的加工就已经算热加工了，而钨在约 1000°C 时的加工还只算作冷加工，故所以与生产中的概念有所不同。生产中往往把加热后的变形加工称为热加工，而把室温下的变形加工定为冷加工，这种仅仅把变形分成冷热两种类型，还并不足以完全说明变形过程本身以及变形后金属性能的特征。因为变形过程是以与压机行程速度有关的一定速度来进行的，而再结晶过程是以与变形温度有关的一定速度来进行的，所以必须将这两种速度加以比较，由此而作出的加工分类才能较完整地揭示金属变形过程的特征以及变形后金属性能的特征。目前的挤压加工共分三大类型，(1)冷挤压，(2)温挤压，(3)热挤压。所谓冷挤压是指在室温时的挤压加工，其过程的特点是最后保留加工硬化现象，而并没有恢复及再结晶现象，所以变形抗力较高，这样的变形过程往往需要中间退火。变形后所获得的组织结构特点是晶格较大的歪扭，晶粒在变形主要流向上被拉长。所谓热挤压是指在大于终锻或终轧温度的挤压加工，是以完全能产生再结晶的速度进行的挤压加工，这时工件所获得的组织是等轴再结晶组织。所谓温挤压是指在高于室温而低于终锻温度下的挤压加工，当温度较偏低时，(以黑色金属而言一般指 $200^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$)挤压过程中不仅有加工硬化产生，同时还有恢复现象产生，依靠恢复可以大大减少附加应力同时引起残余应力的降低或部分地消除，但其挤压加工后所获的组织仍是与冷挤压后的组织相同；当温度较偏高时，(在等于或非常接近再结晶温度，对黑色金属而言一般指 $400\sim 600^{\circ}\text{C}$)，其变形过程是以再结晶不能完全产生的速度进行的，其组织结构既具有再结晶组织又具有非再结晶组织，从而引起内应力的增加，抗力提高，塑性降低，甚至会引起工件破裂。当在更偏高些的温度温挤压加工时(—

以黑色金属为例一般于 $600\sim 800$ 或 900°C 冷属的变形过程还伴随着重结晶现象，使变形金属组织具有更细的等轴细晶粒。这三种不同温度范围的温挤压分别定名为“低温温—热挤压”，“中温挤压”和“高温温热挤压”。

至于确定何种变形温度，是应根据生产条件、变形材料及其后继工序情况而定。



第四节 附加应力及残余应力

(叙述内容：1. 基本应力与工作应力的概念。
2. 附加应力及残余应力的产生原因、分类、残余应力在冷挤压变形件中的害处以及消除办法。)

冷挤压，基本应力是三向压应力，这是众所周知的，什么是基本应力呢？弹性变形物体中的基本应力是这些力，即如果作用力作用在形状完全相同的弹性变形的物体中也会发生的那些应力。作用力一旦解除基本应力也消失。塑性变形的物体在外力作用下，一旦超过了弹性范围进入塑性变形状态，则在其内部存在的“工作应力”。

“工作应力”是基本应力与变形过程中产生的附加应力两者的叠加。

关于附加应力在变形过程中是怎样产生的呢？在塑性变形时，所有的金属层都必然是彼此互相连接的，不能够单独自己产生变形而对邻的金属毫无影响。而且应力与变形在物体上的分布总是不均匀的，金属的各层、各基元体都要求得到不同数量级的变形，而这种变形又被金属的完整性（或称连续性）所阻碍，所以得到较大变形的金属将给予得到较小变形的金属以增大变形的应力，而得到较小变形的金属将给予得到较大变形的金属以减小变形的应力，这种在金属变形过程中成对地出现又相互平衡的应力称做附加应力。例如在正挤压时，中心层金属没有接触到模壁，没有受到模具给他的摩擦阻力，所以伸长变形较大，或称流动较快，而周边金属受到模壁给予的摩擦阻力，流动就困难些，变形比较小，这样相互间牵制。

用边金属得到中心金属给它的增大变形的附加应力——拉应力；而中心层金属受到周边金属给它的减小变形的附加应力——压应力，这一对相互平衡的应力即为在正挤压金属中产生的附加应力。

附加应力可分为三种：在变形物体中各大部分之间由于不均匀变形所产生的附加应力叫做第一种附加应力；在两个或几个晶粒之间由于不均匀变形所产生的附加应力叫做第二种附加应力；在一个晶粒内部由歪扭变形所产生的附加应力叫做第三种附加应力。

当引起塑性变形的作用力取消以后，仅基应力随之消除，而附加应力并不消失，还遗留在物体内部构成残余应力，这是因为附加应力并不是由外力所引起的，而是塑性变形体为了自身的平衡而引起的。残余应力同样可以分为以上三种不同类型。

在变形物体中存在残余应力并不是我们预期的目的，在不少情况下，残余应力是有害的，残余应力的害处归纳为如下几点：

(1)残余应力的存在将降低金属的抗腐蚀性能。

(2)残余应力的存在将使工件在遇到温度急剧变化时，出现开裂现象。如正挤黄铜棒其表面有残余的拉伸应力，一遇到温度变化就表面开裂，形成表面裂纹。

(3)残余应力还能引起工件的形状及尺寸的变化。本来在工件内的残余应力是平衡的，当工件受力后（使用中一般都是在弹性范围），此种平衡破坏，工件的应力状态也发生变化，相应地引起形状及尺寸的变化，所以对此现象要给予预先考虑，以足够的公差来保证其使用性能。

(4)具有残余应力的物体在承受负荷时，物体的一部分工作应力是残余应力与外力之和，而另一部分工作应力是残余应力与外力之差，由此引起应力分布不均匀，并有可能使合应力超过许可限度而导致破裂。

综上所述，残余应力有那么多害处，我们必须采取有效的措施来消除残余应力，其措施如下：

(1)热处理的方法：回火，通常称“去应力回火”。对于第一种残余应力可以用低温回火的方法去除之，（对钢而言200~300

C, 铝 110°C 左右) 这种低温回火仍然保留工件的加工硬化效果。对于第二种或第三种残余应力, 必须用再结晶退火方法才能去除。

(2) 表面加工的方法: 如表皮精压, 表面喷砂处理等方法。用这种表面变形办法产生与工件中残余应力相反的附加应力从而来减少或抵消残余应力。

(3) 采取合理的变形方法可以减少残余应力。在温度、速度、变形程度、工具形状、坯料形状、摩擦等因素都适合的条件下, 可以不产生残余应力, 温挤工艺可以比冷挤工艺具有更少的残余应力, 或者根本不产生残余应力。

第五节 主应力状态对挤压工艺的影响:

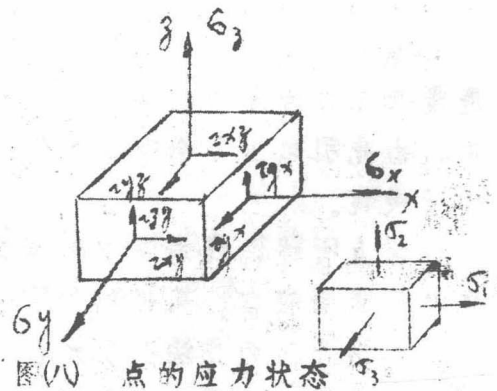
- (叙述内容: 1. 应力状态的概念
2. 主应力为压应力时, 对金属塑性的影响
3. 主应力状态对变形抗力的影响)

关于应力状态的概念:

所谓应力是变形物体的内力。取变形物体的某一质点, 示为正六面体, 在 6 个平面上分别有应力存在, 表示质点应力情况的这种正六面体简图为之应力状态图。如图(1)所示, 在与六面体各应力面垂直的方向上分别有 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 称为正应力; 在应力面上分别有三对切应力 $\tau_{zx}, \tau_{yx}, \tau_{xz}, \tau_{yz}, \tau_{xy}, \tau_{zy}$ 。质点的应力状态可以用这几个方面的应力表示之, 当单元体处于某一恰当方位时应力面上不存在切应力时 ($\tau_{zx} = \tau_{yx} = \tau_{xz} = \tau_{yz} = \tau_{xy} = \tau_{zy} = 0$) 即只有正应力存在时, 把这种情况的正应力称为主应力,

对每一质点而言, 总有一方向只存在主应力, 分别以 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 表示之。

关于主应力状态对金属塑性的影响如何? 首先谈谈关于金属的塑性。



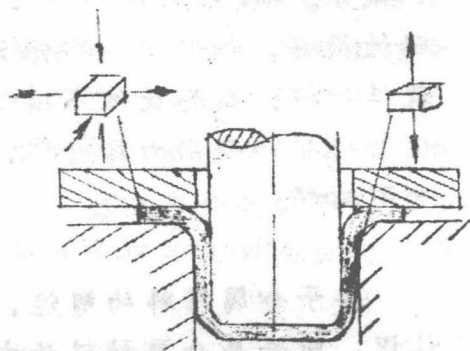
我们把塑性理解为：在外力的作用下，金属能稳定地改变自己的形状而质点间的连系又不破坏的能力。塑性和柔软性是两种不同的概念。金属的软性是表示金属对变形的抵抗能力的属性，例如铅塑性很好，但它塑性变形又不必花费很大的力，所以说塑性既好柔软性也好；而奥氏体不锈钢可以在室温下产生较大的变形而不破坏，但所需要的变形力却很高，所以说奥氏体不锈钢的塑性很好但柔软性不够好。

关于金属材料的塑性，应该这样来认识：塑性是金属材料的本性，脆性也是金属材料的本性，但世界上没有完全塑性的材料，也没有完全脆性的材料。塑性和脆性是矛盾的两个方面，同时共存于某一个材料之中，既对立，又统一。当塑性作为矛盾的主要方面并起着主导作用的时候，材料就表现出比较好的挤压性能，例如挤压加工中常见的有色金属，低碳钢等材料。相反当脆性起着主导作用的时候，就无法进行某种压力加工。例如HPb59-1黄铜在冷挤压加工时就显得十分困难。正因为任何矛盾的发展总是不平衡的，经过斗争，在一定条件下，矛盾的主要与次要方面可以互相转化。既然每一种材料都有塑性与脆性两个方面，那么我们就可以发挥人的主观能动性，创造条件，促使矛盾朝着有利于塑性的方面转化，目前研究的超塑性问题就是为了做这种转化工作的。既然可以有办法使塑性极好的铅，变成脆性断裂（有实验例证）当然也有办法使塑性较差的材料达到预期的塑性变形。例如静液挤压工艺就可以使高速钢完成较为满意的挤压变形，而在一般挤压工艺下，高速钢的挤压件表面往往出现裂纹，“静液挤压”新工艺就是通过创造外界条件，促使象高速钢这类低塑性金属向着有利于塑性方面转化的例证。

当主应力为压应力时，对金属的塑性产生何种影响呢，以下面的实验例子说明之：

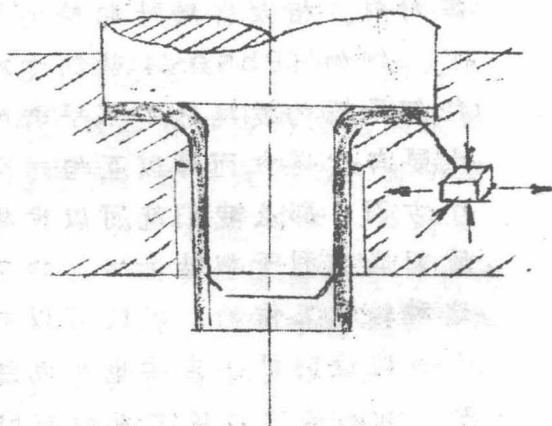
“冷挤压技术”P. 16图2-2，图2-3，是纯铝仪表零件为拉延变形工序，和冷挤压工序图，用拉延工艺要三道工序才能

成形，否则将出现现象 P。16 图 2—4 的开裂情况。而用挤压工艺，一次挤压变形就能代替三次拉延的变形而不产生破裂。原因在于拉延变形时的主应力状态是图(九)的情况，为两压一拉的应力状态，在杯形壁部是一向拉伸应力状态，而挤压变形时金属的应力状态是三向压应力状态，如图(十)。可见，主应力为压应力时，有利于金属材料塑性的发挥，可以实现较大变形的加工。



图(九) 拉延变形时金属的应力状态

“冷挤压技术” P 18 图 2—7 至图 2—11 是中碳钢(45 钢)在不同的气压下进行拉伸试验，所获得的不同断口情况，可知，周围压力越大(压应力越大)金属材料所表现的塑性越好，断口面积越小。同样，大理石在三向压应力的高压下的粉碎变形也能说明压应力有利于材料发挥出塑性。(在一个大气压下的大理石，其 $\epsilon_h=0.8\%$ ，而在 >650 大气压中的大理石，其 $\epsilon_h=9\%$ 。)



图(十) 挤压变形时金属的应力状态

为什么主应力是压应力能提高塑性呢，现作如下三点解释。

(1)多晶体变形常出现晶体间脆化机构，因为晶粒间相对位移破坏了晶粒边界及金属的完整性，在发生较大位移之前，多晶体的破坏已经发生，因此晶间变形是一种不理想的变形，拉伸应力容易使晶间变形，这种晶间变形的积聚就是破坏。而压应力能阻止这种破坏，因此压应力能提高塑性。

(2)压应力能使金属压结实，各种微观破坏甚至宏观缺陷得到弥