第3章 锻　　压

3.1 锻压概述

对金属坯料施加冲击力或压力，使之产生塑性变形，以改变其尺寸、形状，并改善其性能的加工方法称为锻压。它是锻造和冲压的总称，其制件称为锻件或冲压件。

锻造是制造机械零件毛坯的重要方法之一，在一定的条件下也可直接生产机械零件。金属材料经过锻造后，其内部成分更加均匀，组织更加致密，晶粒得到细化，从而使其强韧性有所提高。所以各种机械上的传动零件，如主轴、传动轴、齿轮、凸轮、曲柄、连杆等，大都以锻件为毛坯。但由于锻造属于固态成形，因而锻件的形状一般不能太复杂，尤其难以锻出具有复杂内腔的锻件。

板料冲压是利用装在压力机上的模具对板料施压，使金属板料产生塑性变形或分离，从而获得零件或毛坯的加工方法。冲压是金属板料成形的主要方法，在各类机械、仪器仪表、电子器件、电工器材以及家用电器、生活用品制造中，都占有重要地位。冲压件具有刚性好、质量轻、尺寸精度和表面光洁程度高等优点，但其模具结构复杂，制造成本高，而且，生产一个冲压件往往需要多副模具，因此，板料冲压一般只适用于大批量生产的条件。

金属的锻压性能以其塑性和变形抗力综合衡量。塑性是指金属产生不可逆永久变形的能力，变形抗力是指在变形过程中金属抵抗工具（如锤头、模具）作用的力。显然，金属的塑性越好，变形抗力越小，锻压性能越好。金属的锻压性能首先决定于其化学成分和内部组织。例如，钢的碳质量分数越低，锻压性能越好；铸铁由于碳质量分数太高，塑性太差而不能锻压。同时，锻压性能还与金属变形时的温度、内部的应力状态及变形速率等加工条件有关。例如，将钢加热到800℃以上时，与在常温状态下相比，其塑性明显提高，变形抗力大大降低。因此，钢的锻造都是在加热到红热状态下进行的。各种板材的冲压加工，除中厚板（6～8mm以上）需加热进行外，通常的薄板（板料厚度大都不超过1～2mm）冲压都在常温状态下进行。因此，适于薄板冲压的材料主要是具有良好塑性和较低变形抗力的低碳钢及铝、铜等有色金属。

3.2 锻　　造

3.2.1 锻造方法分类

锻造方法有自由锻、模锻和胎模锻三大类。自由锻是将坯料直接放在锻造设备的上、下抵铁之间施加锻压力,并借助于简单的通用性工具,使之产生塑性变形的锻造方法,适用于单件和小批量生产的条件。自由锻又分为锤上自由锻和液压机上自由锻。一般中小型锻件采用锤上自由锻,即在锻锤上锻造,大型锻件要在液压机(主要是水压机)上锻造。模锻是将坯料放在固定于模锻设备的锻模模膛内,使坯料受压而变形的锻造方法,又分为锤上模锻和各种压力机上的模锻。模锻时,生产每一种锻件,都要制造一副至几副专用的模具,因而模锻只适用于大批量或较大批量生产的条件。另外,受模膛容积和锻压力的限制,模锻以生产小型锻件为主。胎模锻是一种介于自由锻和模锻之间的锻造方法,采用简单的非固定模具,在自由锻设备上生产小型模锻件,适用于中、小批量的生产条件。

3.2.2 坯料的加热

如前所述,加热可以改善金属的锻造性能。加热后锻造,可以用较小的锻压力使坯料产生较大,甚至很大的变形而不破裂。

1. 锻造温度范围

材料适于锻造的最高温度称为该材料的始锻温度。坯料的加热温度若超过始锻温度,则会造成过热、过烧等加热缺陷。

在锻造过程中,坯料随着温度的不断下降,塑性越来越差,变形抗力越来越大,以致越来越难以继续锻造。各种材料允许进行锻造的最低温度称为该材料的终锻温度。如果在终锻温度以下继续锻造,不仅变形困难,而且可能造成坯料开裂或模具、设备损坏。

从始锻温度到终锻温度的温度区间称为锻造温度范围。中碳钢的锻造温度范围为1200～800℃。

2. 加热方法

按使用的燃料不同,锻造坯料的加热方法有煤炉加热、油炉加热和电炉加热。煤炉加热是最传统的加热方法,但其加热效率低,对环境污染严重,在现代化生产中正逐步减少使用,而日益广泛地采用电炉加热。

加热炉的种类很多,煤炉加热多采用反射炉,油炉加热多采用室式炉,电炉加热则多采用箱式电炉或感应电炉。

3. 钢的加热缺陷

(1) 氧化与脱碳　钢是铁与碳的合金。钢料表层的铁原子和碳原子在高温下极易与炉气中的 O_2、CO_2、H_2O 作用,生成氧化皮(其成分为 FeO、Fe_3O_4、Fe_2O_3 等),并造成脱碳层

(碳与氧结合生成 CO)。

氧化皮的生成不仅使钢料烧损(坯料每加热一次,氧化烧损量占料重的 2%～3%),而且使锻件表面粗糙。氧化皮还对炉底有腐蚀作用。

脱碳使锻件表层软化,强度和耐磨性降低;脱碳严重的钢料在锻造过程中易发生龟裂。但是,如果脱碳层的厚度小于锻件的加工余量,则对零件没有什么实际危害。

(2) 过热与过烧　钢料加热超过始锻温度或在高温下停留时间过长,会引起晶粒长大,即晶粒互相合并形成粗大晶粒,这种现象称为过热。过热的钢料锻造时塑性有所降低,晶粒粗大的锻件力学性能较差,影响零件的使用。同时,过热还往往加重氧化和脱碳。

如果把钢料加热到高于始锻温度过多,甚至接近熔点的温度,晶粒边界会发生严重氧化甚至局部熔化的现象,称为过烧。过烧的钢料晶粒间的联系遭到破坏,锻打时必然碎裂。

3.2.3　自由锻锤

常用的自由锻锤有空气锤和蒸汽-空气自由锻锤两种,小型锻件多用空气锤锻造。

空气锤的结构和工作原理如图 3-1 所示,它靠自身携带的电动机通过减速机构和曲柄-连杆机构,推动压缩缸中的压缩活塞,产生压缩空气,再通过上、下旋阀的配气作用,使压缩空气进入工作缸的上部或下部,或直接与大气连通,从而使工作活塞连同锤杆和上抵铁一起,实现锤头上悬、下压、单击、连击等动作。这些动作是通过手柄或踏杆控制的。

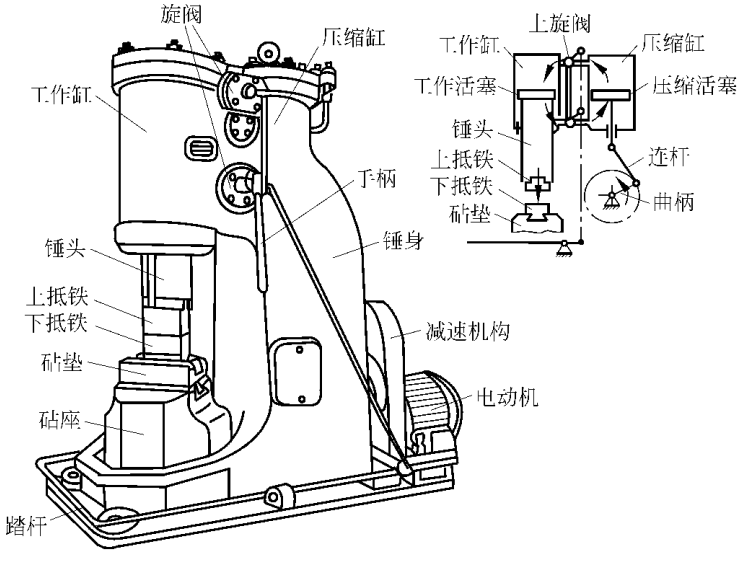


图 3-1　空气锤的结构和工作原理

空气锤的吨位以其工作活塞、锤杆和上抵铁等落下部分的质量表示。常用空气锤的吨位在 60～1000kg 之间,适用于锻造重量 100kg 以下的小型锻件。

3.2.4 自由锻的基本工序

自由锻的变形工序分为基本工序、辅助工序和精整工序三大类。基本工序是实现锻件基本成形的工序,有镦粗、拔长、冲孔、弯曲、扭转、错移等;辅助工序是为方便基本工序的操作而对坯料预加少量变形的工序,有压肩、压钳口、倒棱等;精整工序是在基本工序完成之后,对锻件进行整形,使锻件尺寸完全达到技术要求,并降低表面粗糙度的工序,有调直、矫正、滚圆、摔圆等。

下面介绍镦粗、拔长和冲孔这三个最常用的基本工序。

1. 镦粗

镦粗是使坯料横截面增大、高度减小的锻造工序,有整体镦粗和局部镦粗两种,如图3-2所示。

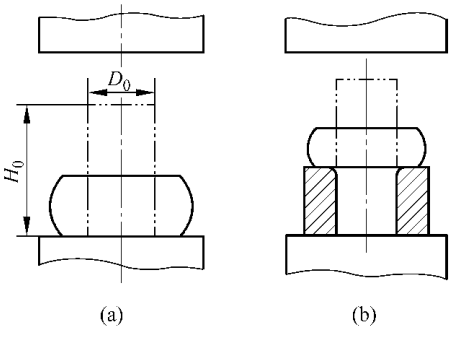


图3-2 镦粗

(a)整体镦粗;(b)局部镦粗

2. 拔长

拔长与镦粗相反,是使坯料长度增加、横截面减小的锻造工序,如图3-3所示。

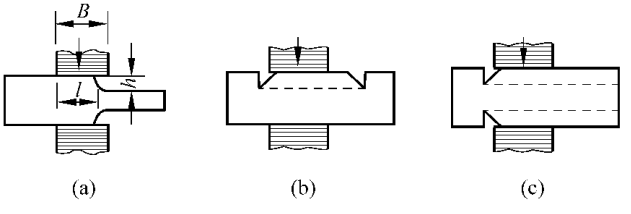


图3-3 拔长

B—抵铁宽度;l—送进量;h—压下量

3. 冲孔

在坯料上冲出透孔或盲孔的工序称为冲孔,一般锻件的透孔采用双面冲孔法冲出,如

图 3-4 所示，即先从一面将孔冲至坯料厚度 2/3～3/4 的深度，取出冲子，翻转坯料，再从反面将孔冲透。

为防止冲孔过程中坯料开裂，一般限制冲孔孔径要小于坯料直径的 1/3。超过这一限制的孔，要先冲出一较小的孔，然后采用扩孔的方法达到所要求的孔径尺寸。常用的扩孔方法有冲头扩孔和芯轴扩孔。冲头扩孔(图 3-5)利用扩孔冲子锥面产生的径向分力将孔扩大。扩孔时，坯料内产生较大的切向拉应力，容易胀裂，故每次扩孔量不宜过大。

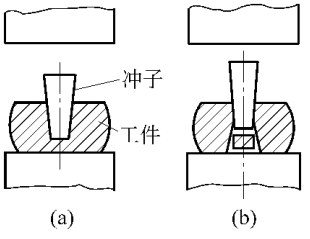


图 3-4　双面冲孔的过程

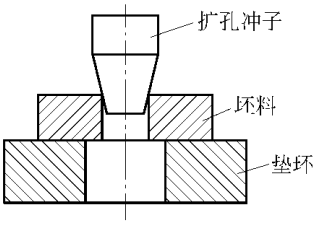


图 3-5　冲头扩孔

3.2.5　自由锻的变形工艺

自由锻变形工艺的安排主要取决于锻件的形状。无孔的饼块类锻件可通过镦粗的方法制造。轴杆类锻件则主要由拔长完成。盘状的空心锻件可采用镦粗—冲孔工序，或冲孔后再进一步扩孔；筒形的空心件则采用镦粗—冲孔—芯棒拔长的方法制造。所谓芯棒拔长，即将冲孔后的坯料套在直径略小于内孔的芯棒上进行拔长。弯曲类锻件大都是先锻出具有直轴心线的轴杆件，再行弯曲。形状复杂的锻件，如果实在难以整体锻出，也可将锻件分成几块锻制，然后焊接成整体，或者经切削加工后采用机械的方法连接起来(图 3-6)。

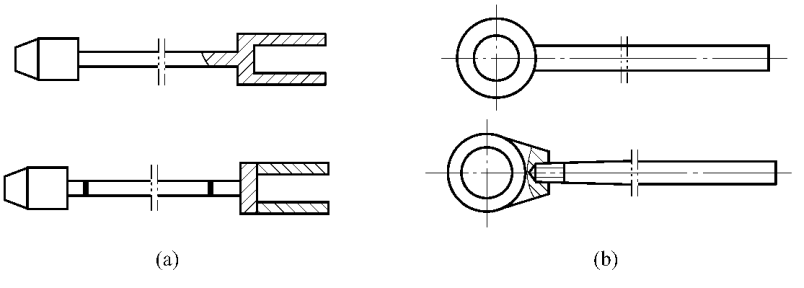
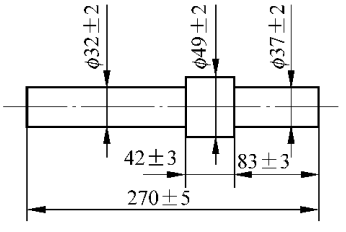
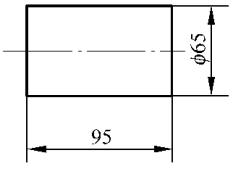


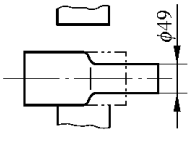
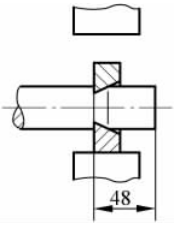
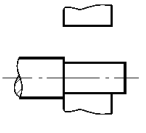
图 3-6　将复杂锻件分段锻造的整体实施方案

(a) 分段锻造—焊接—切削加工；(b) 分段锻造—切削加工—机械连接

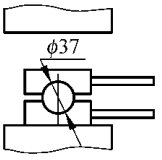
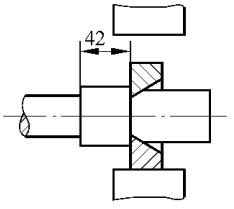
表3-1列出台阶轴坯的自由锻变形工艺过程。这也是一般中、小型台阶轴类锻件比较典型的自由锻过程。表中工序简图栏内所标注的尺寸是各工序操作中必须测量的工艺尺寸或锻件尺寸,其中压肩位置尺寸需经过计算确定。

表3-1 台阶轴坯自由锻工艺

锻件名称	台阶轴坯	工艺类别	自由锻
材料	45钢	锻造设备	150kg空气锤
加热火次	2	锻造温度范围	1200～800℃
锻件图		坯料图	
			

序号	工序名称	工序简图	使用工具	操作要点
1	拔长		火钳	整体拔长至φ(49±2)mm
2	压肩		火钳 压肩摔子	找准压肩位置后边轻打边旋转锻件
3	拔长一端		火钳	将压肩一端拔长至直径略大于37mm

续表

序号	工序名称	工序简图	使用工具	操作要点
4	摔圆		火钳 摔圆摔子	将拔长部分摔圆至 ϕ(37±2)mm
5	压肩		火钳 压肩摔子	截出中段 42mm 后，将另一端压肩
6	拔长	（略）	火钳	将压肩一端拔长至直径略大于 32mm
7	摔圆	（略）	火钳 摔圆摔子	将拔长部分摔圆至 ϕ(32±2)mm
8	修整	（见锻件图）	火钳、卡钳、钢板尺	修整轴向弯曲、检查各部分尺寸

3.2.6　自由锻安全操作规程

(1) 上锤操作前，要穿戴好围裙、手套及劳保鞋等保护用品。

(2) 使用设备前要对各加油点加油，使用中注意观察设备润滑情况。

(3) 启动锻锤时，应先将操作手柄放在“空转”位置。

(4) 正确握持火钳，不要把钳把对准腹部，不要将手指放在两钳把中间。

(5) 锤击过程中，要将火钳平放并夹紧工件，以防工件飞出伤人。

(6) 翻转工件时，要停止锤击，以防工件飞出。

(7) 非操作人员不要离锻锤太近，站立位置要避开工件可能飞出的方向。

(8) 要尽量将工件放在砧铁的中部，避免偏心锻击。

(9) 要控制锻造温度，达到终锻温度的工件要及时停锻，重新加热。

(10) 严禁锻打冷坯料。避免锻打过薄的工件。

(11) 停锤后再将工件取出，以防止上、下砧铁直接对击。

(12) 锤头上悬的时间不宜过长，以减少工作缸发热。

(13) 工作中如发现锻锤有不正常声音，要立即停锤，检查原因。

(14) 不要用手触摸锻后颜色已发黑的工件，以防灼伤。

(15) 工作完成后，及时拉闸断电，清理场地。

3.3 板料冲压

3.3.1 冲床

冲床是进行冲压加工的基本设备。常用的开式可倾斜式冲床的结构如图3-7所示。接通电源后,电动机带动带轮(飞轮)旋转,踩下踏板使离合器闭合,从而带动曲轴旋转,曲轴带动连杆使原处于最高极限位置的滑块沿导轨向下运动,进行冲压。模具分为凸模(又称冲头)和凹模,分别装在滑块的下端和工作台上。

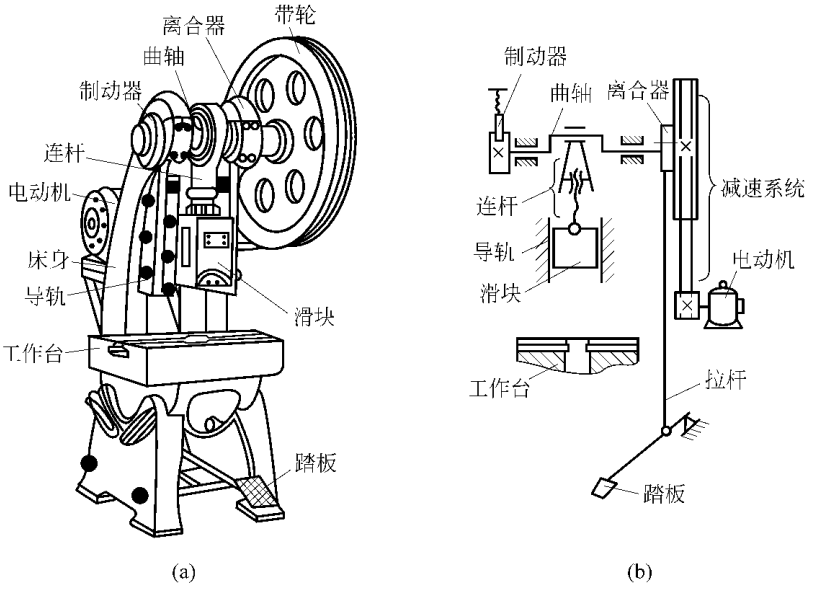


图3-7 冲床

(a)外观图;(b)传动简图

冲压操作时,如果踩下踏板后立即抬起,使离合器随即脱开,滑块则在完成一次冲压后,在制动器的作用下停止在最高位置上,完成一个单次冲压;如果不松开踏板,则可进行连续冲压。

冲床属于机械压力机类设备,其规格以公称压力表示,也称为冲床的吨位。例如,J23-63型冲床。型号中的"J"表示机械压力机,"63"表示冲床的公称压力为630kN(型号中的"23"表示机型为开式可倾斜式)。

3.3.2 板料冲压的基本工序

板料冲压的工序分为分离工序和成形工序两大类。分离工序是使板料沿一定的线段分

离的冲压工序，有冲裁、切口、切断等；成形工序是使板料产生局部或整体变形的工序，有弯曲、拉深、胀形、翻边等。

1. 冲裁

冲裁是使板料沿封闭轮廓线分离的工序，如图 3-8 所示。

冲裁包括冲孔和落料两个具体工序。它们的模具结构、操作方法和板料的分离过程完全相同，但各自的作用不同。冲孔是在板料上冲出孔洞，冲下的金属是废料（见图 3-9）；落料是从板料上冲下成品，板料本身则成为废料或余料（见图 3-10）。

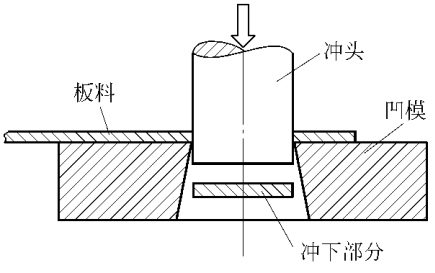


图 3-8　冲裁

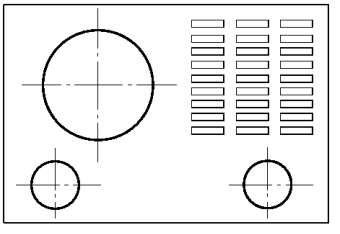


图 3-9　冲孔

为了顺利地将板料分离，并使切口比较整齐和尺寸准确，冲头和凹模的工作部分都有锋利的刃口。此外，为保证冲裁质量，冲头和凹模之间要有相当于板料厚度 5%～10%的间隙。

在满足使用要求的前提下，合理设计落料件的形状及其在板料上的排列方案，对于提高材料的利用率有重要的意义。图 3-11 所示的落料件在孔距不变的情况下，改进设计后，材料利用率由 38%提高到 79%。图 3-12 则表示，合理的排料方案可以大大节省原材料。

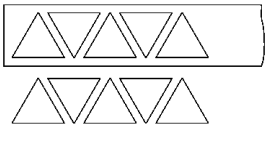


图 3-10　落料

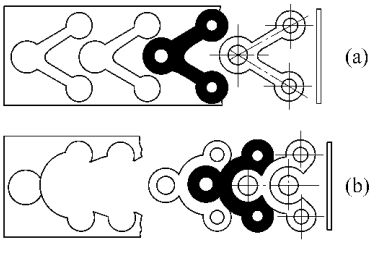


图 3-11　改进零件设计节约原材料

（a）改进前；（b）改进后

切口可视作不完整的冲裁，其特点是将板料沿不封闭的轮廓线部分地分离，并且，分离部分的金属发生弯曲或胀形（见图 3-13）。切口部位有良好的散热作用，因此，切口工艺在各类机械及仪表外壳的冲压中大量采用。

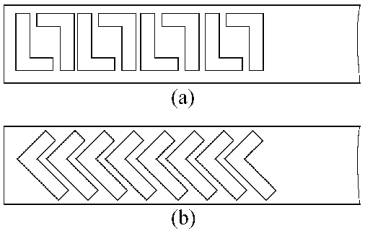


图 3-12 改进排料方案节约原材料

(a) 改进前;(b) 改进后

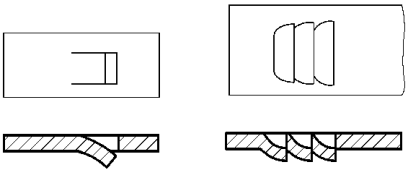


图 3-13 切口

2. 弯曲

弯曲是将板料弯成具有一定曲率和角度的变形工序,如图 3-14 所示。

弯曲时,板料受弯部分的内层金属被压缩,外层金属受拉伸作用。为防止板料被拉裂,冲头端部不仅要做成圆角,而且弯曲半径(即冲头的圆角半径 r)也不能太小。此外,为防止板料在弯曲过程中沿凹模边缘滑动时被擦伤,凹模边缘也要加工出圆角。

弯曲时,受弯部分的金属发生弹-塑性变形。冲头回程时,弯曲件有回弹现象(见图 3-15)。回弹的角度 $\Delta\alpha$ 称为回弹角或弹复角。因此,板料实际弯成的角度不是 α,而是 $\alpha+\Delta\alpha$。$\Delta\alpha$ 的大小与板料的材质、厚度及弯曲角 α 等因素有关。

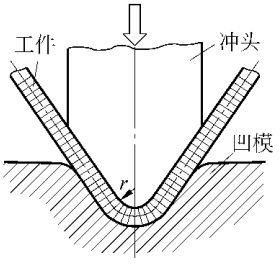


图 3-14 弯曲

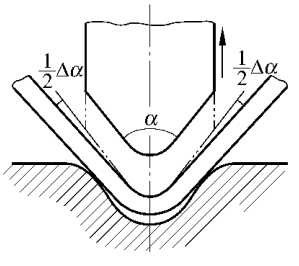


图 3-15 弯曲件的回弹现象

3. 拉深

拉深是将平直板料成形为空心件的变形工序,又称拉延,如图 3-16 所示。

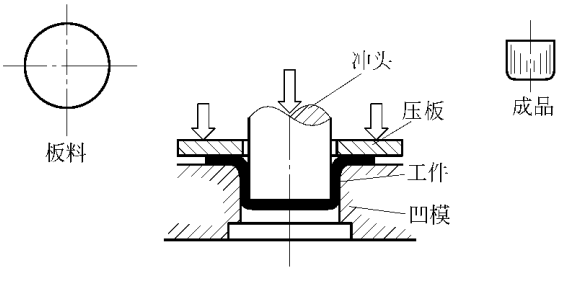


图 3-16 拉深