



锻 压

3.1 基本知识

3.1.1 锻压概述

锻造和冲压总称为锻压,是一种利用外力使金属产生塑性变形,使其改变形状、尺寸和内部组织,获得型材或锻压件的加工方法。

锻造生产是机械制造行业中提供毛坯的重要途径之一。锻造在国民生产中占有很高地位,在国防工业、机床制造业、电力工业、农业等方面应用非常广泛。按所用的设备和工(模)具的不同,锻造可分为自由锻造、胎模锻造和模型锻造等。根据锻造温度不同,锻造可分为热锻、温锻和冷锻三种,其中热锻应用最为广泛。除了少数具有良好塑性的金属在常温下锻造成形外,大多数金属均需通过加热来提高塑性和降低变形抗力,达到用较小的锻造力来获得较大的塑性变形,这种锻造称为热锻。热锻的工艺流程包括下料、坯料加热、锻造成形、锻件冷却和热处理等过程。

经过锻造后的坯料内部消失了孔洞和疏松,金属晶体结构发生了改变。碳化物和某些金属元素、纤维组织分布均匀,密度提高。由于金属的组织得到改善,使锻件的强度和冲击韧性显著提高。同时锻造成形还具有节省材料、提高生产率的特点。例如,齿轮、机床主轴、汽车曲轴、起重机吊钩等都是以锻件为毛坯加工的。

用于锻造的金属必须具有良好的塑性。金属的塑性越好,变形抗力越小,其可锻性越好。锻造所用的材料通常采用可锻性较好的中碳钢和低合金钢。

板料冲压件一般采用塑性良好的低碳钢、铜板和铝板等。冲压包括冲裁、拉伸、弯曲、成形和胀形等,属于金属板料成形。冲压制品具有质量轻、刚度好、强度高、互换性好、成本低等优点,易于实现机械自动化,生产率高,应用十分广泛。

铸铁等脆性材料不能进行锻压加工。

3.1.2 锻造设备与工艺

1. 锻造设备

在锻造生产中,根据热源的不同,分为火焰加热和电加热。前者利用烟煤、重油或煤气燃烧时产生的高温火焰直接加热金属,后者是利用电能转化为热能加热金属。火焰炉包括

手锻炉、反射炉等,在锻工实习中常用的是手锻炉。手锻炉常用烟煤作燃料,其结构简单,容易操作;但生产率低,加热质量不稳定,对操作者经验要求高,对环境污染大。在锻工实习中常用的是电阻炉。

1) 加热炉

在工业生产中,锻造加热炉有很多种,如明火炉、反射炉、室式重油炉等,也可采用电能加热。

(1) 反射炉

反射炉又称为煤炉,以煤炭、焦炭粉为燃料。图 3-1 所示为燃煤反射炉结构示意图,燃烧室 1 产生的高温炉气翻过耐火墙 2 进入加热室 3 加热坯料 4,废气经烟道 7 排出,鼓风机 6 将换热器 8 中经预热的空气送入燃烧室 1,坯料 4 从炉门 5 装取。

优点:时间短,升温快,操作简单、灵活方便,锻件可局部加热,加热室面积大,加热温度均匀,质量较好,生产率高,适用于中小批量生产。

缺点:工作中产生烟雾,鼓风机噪声大,有粉尘,污染环境,温度不容易控制。

(2) 电阻炉

电阻炉是利用电能转换为热能的传热原理对坯料进行加热。电加热是一种比较先进的方法,因电阻炉的外形为箱式结构,故称箱式炉。图 3-2 为箱式电阻加热炉。

优点:结构简单,操作方便,炉温易控制,坯料氧化较小,加热质量好,坯料加热温度适应范围较大,无烟雾、粉尘和噪声,利于环保。

缺点:耗电量大,升温慢,热效率较低,适合于自由锻或模锻合金钢、有色金属坯料的单件或成批件的加热。

电加热包括电阻加热、接触加热和感应加热。接触加热是利用大电流通过金属坯料产生的电阻热加热,适合于模锻坯料的大批量加热。感应加热通过交流感应线圈产生交变磁场,使置于线圈中的坯料产生涡流损失和磁滞损失热而升温加热,适合于模锻或热挤压高合金钢、有色金属的大批量件的加热。

(3) 油炉

油炉如图 3-3 所示。重油和压缩空气分别由两个管道送入喷嘴 4,压缩空气从喷嘴 4 喷

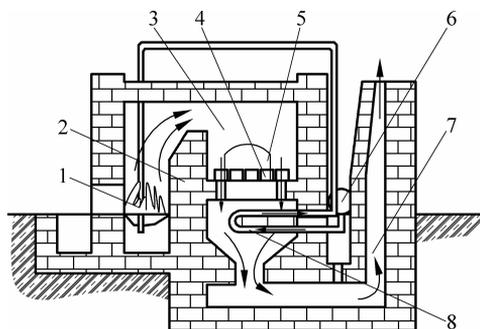


图 3-1 燃煤反射炉结构

1—燃烧室; 2—耐火墙; 3—加热室; 4—坯料;
5—炉门; 6—鼓风机; 7—烟道; 8—换热器

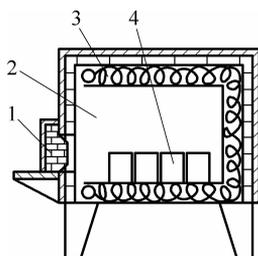


图 3-2 箱式电阻加热炉

1—炉门; 2—炉膛; 3—电热元件; 4—坯料

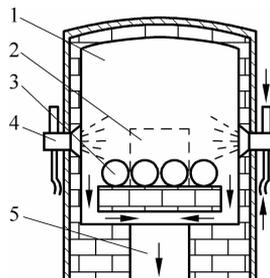


图 3-3 油炉

1—炉膛; 2—炉门; 3—坯料; 4—喷嘴; 5—烟道

出时,所造成的负压将重油带出并喷成雾状,在炉膛 1 内燃烧。煤气炉与重油炉的区别是喷嘴的结构不同。

2) 空气锤

空气锤是生产小型锻件及胎模锻造的常用设备。空气锤的规格是以落下部分(包括工作活塞、锤头和上砧铁)的质量表示。常用的有 65、75、100、150、250 kg 等,其结构外形图如图 3-4(a)所示,其工作原理图如图 3-4(b)所示。

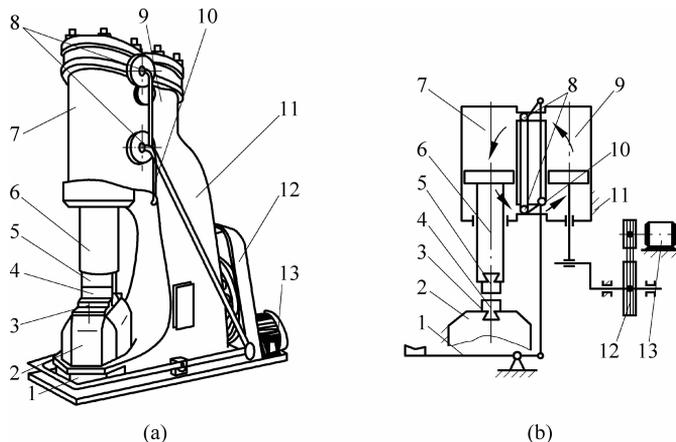


图 3-4 空气锤结构外形与工作原理图

(a) 结构外形图; (b) 工作原理图

1—踏杆; 2—砧座; 3—砧垫; 4—下砧铁; 5—上砧铁; 6—锤头; 7—工作气缸;
8—上、下旋阀; 9—压缩气缸; 10—手柄; 11—锤身; 12—减速机构; 13—电动机

(1) 结构组成

空气锤由锤身、压缩气缸、工作气缸、传动机构、操纵机构、落下部分及砧座等组成。

锤身和压缩气缸及工作气缸铸成一体。砧座部分包括下砧铁、砧垫和砧座。传动机构包括带轮、齿轮减速装置、曲柄和连杆。操纵机构包括手柄(或踏杆)、连接杠杆、上旋阀、下旋阀。在下旋阀中还装有一个只允许空气作单向流动的逆止阀。落下部分包括工作活塞、锤杆和上砧铁(即锤头)。

(2) 工作原理

电动机 13 通过减速机构 12 带动曲柄连杆机构转动,曲柄连杆机构把电动机的旋转运动转化为压缩活塞的上下往复运动,压缩活塞通过上、下旋阀 8 将压缩空气压入工作气缸 7 的下部或上部,推动落下部分的升降运动,实现锤头对锻件的打击。

(3) 空气锤的操作

通过踏杆或手柄操纵配气机构(上、下旋阀),可实现空转、悬空、压紧、连续打击和单次打击等操作。

① 空转。转动手柄,上、下旋阀的位置使压缩气缸的上下气道与大气连通,压缩空气不进入工作气缸,而是排入大气中,压缩活塞空转。

② 悬空。上旋阀的位置使工作气缸和压缩气缸的上气道都与大气连通,当压缩活塞向上运行时,压缩空气排入大气中,而活塞向下运行时,压缩空气经由下旋阀,冲开一个防止压缩空气倒流的逆止阀,进入工作气缸下部,使锤头始终悬空。悬空的目的是便于检查尺寸,

更换工具,清洁整理等。

③ 压紧。上、下旋阀的位置使压缩气缸的上气道和工作气缸的下气道都与大气连通,当压缩活塞向上运行时,压缩空气排入大气中,而当活塞向下运行时,压缩气缸下部空气通过下旋阀并冲开逆止阀,转而进入上、下旋阀连通道内,经由上旋阀进入工作气缸上部,使锤头向下压紧锻件。与此同时,工作气缸下部的空气经由下旋阀排入大气中。压紧工件可进行弯曲、扭转等操作。

④ 连续打击。上、下旋阀的位置使压缩气缸和工作气缸都与大气隔绝,逆止阀不起作用。当压缩活塞上下往复运动时,将压缩空气不断压入工作气缸的上下部位,推动锤头上下运动,进行连续打击。

⑤ 单次打击。由连续打击演化出单次打击。即在连续打击的气流下,手柄迅速返回悬空位置,打一次即停。单打不易掌握,初学者要谨慎对待,手柄稍不到位,单打就会变为连打,此时若翻转或移动锻件易出事故。

2. 锻造工艺

1) 坯料加热

对坯料加热的目的是提高坯料的塑性并降低变形抗力,以改善其锻造性能。通常,坯料随着温度的升高,金属材料的强度降低而塑性提高,变形抗力下降,用较小的变形力就能使坯料稳定地改变形状而不出现破裂。

坯料在开始锻造时,所允许的最高加热温度,称为该材料的始锻温度。加热温度高于始锻温度,会使锻件质量下降,甚至造成废品。

材料终止锻造的温度,称为该材料的终锻温度。低于终锻温度继续锻造,由于塑性变差,变形抗力大,不仅难以继续变形,且易锻裂,必须及时停止锻造,重新加热。

每种金属材料,根据其化学成分的不同,始锻和终锻温度都是不一样的。

金属材料的锻造温度范围一般可查阅相关锻造手册、国家标准或企业标准。常用钢材的锻造温度范围见表 3-1。

表 3-1 常用钢材的锻造温度范围

℃

材料种类	始锻温度	终锻温度	锻造温度范围
低碳钢	1200~1250	800	450
中碳钢	1150~1200	800	400
碳素工具钢	1050~1150	750~800	300~350
合金结构钢	1150~1200	800~850	350
低合金工具钢	1100~1150	850	250~300
高速钢	1100~1150	900	200~250
铝合金	450~500	350~380	100~120
铜合金	800~900	650~700	150~200

金属加热的温度可用仪表来测量,也可以通过经验观察加热毛坯的火色来判断,即火色鉴定法。碳素钢加热温度与火色的关系见表 3-2。

表 3-2 钢加热到各种温度范围的颜色

℃

热颜色	始锻温度	热颜色	始锻温度	热颜色	始锻温度	热颜色	始锻温度
黑色	小于 600	樱红色	750~800	橙红色	900~1050	亮黄色	1150~1250
暗红色	650~750	橘红色	800~900	深黄色	1050~1150	亮白色	1250~1300

在加热过程中,由于加热时间、炉内温度扩散气氛、加热方式等选择不当,坯料可能产生各种加热缺陷,影响锻件质量。金属在加热过程中可能产生的缺陷有氧化、脱碳、过热、过烧和裂纹。

(1) 氧化

钢料表面的铁和炉气中的氧化性气体发生化学反应,生成氧化皮,这种现象称为氧化。氧化造成金属烧损,每加热一次,坯料因氧化而烧损的量占总质量的 2%~3%,严重的会造成锻件表面质量下降,模锻时加剧锻模的损耗。

减少氧化的措施:在保证加热质量的前提下,应尽量采用快速加热,并避免坯料在高温下停留时间过长。此外还应控制炉气中的氧化性气体,如严格控制送风量或采用中性、还原性气体加热。

(2) 脱碳

加热时,金属坯料表层的碳在高温下与氧或氢产生化学反应而烧损,造成金属表层碳的降低,这种现象称为脱碳。脱碳后,金属表层的硬度与强度会明显降低,影响锻件质量。减少脱碳的方法与减少氧化的措施相同。

(3) 过热

当坯料加热温度过高或高温下保持时间过长时,其内部组织会迅速变粗,这种现象称为过热。过热组织的力学性能变差,脆性增加,锻造时易产生裂纹,所以应当避免产生。如锻后发现过热组织,可用热处理(调质或正火)方法使晶粒细化。

(4) 过烧

当坯料的加热温度过高到接近熔化温度时,其内部组织间的结合力将完全失去,这时坯料锻打会碎裂成废品,这种现象称为过烧。过烧的坯料无法挽救,避免发生过烧的措施是严格控制加热温度和保温时间。

(5) 裂纹

对于导热性较差的金属材料如采用过快的加热速度,将引起坯料内外的温差过大,同一时间的膨胀量不一致而产生内应力,严重时会导致坯料开裂。为防止产生裂纹,应严格制定和遵守正确的加热规范(包括入炉温度、加热速度和保温时间等)。

2) 锻件冷却

锻件在锻后的冷却方式对锻件的质量有一定影响。冷却太快,会使锻件发生翘曲,表面硬度提高,内应力增大,甚至会发生裂纹,使锻件报废。锻件的冷却是保证锻件质量的重要环节。冷却的方法有 3 种:

- (1) 空冷:在无风的空气中,放在干燥的地面上自然冷却。
- (2) 坑冷:在充填有石棉灰、沙子或炉灰等绝热材料的坑中冷却。
- (3) 炉冷:在 500~700℃ 的加热炉中,随炉缓慢冷却。

一般地说,锻件中的碳元素及合金元素含量越高,锻件体积越大,形状越复杂,冷却速度越要缓慢,否则会造成硬化、变形甚至裂纹。

3) 锻后热处理

锻件在切削加工前,一般都要进行热处理。热处理的作用是使锻件的内部组织进一步细化和均匀化,消除锻造残余应力,降低锻件硬度,利于切削加工等。常用的锻后热处理方法有正火、退火和球化退火等。具体的热处理方法和工艺要根据锻件材料种类和化学成分而定。

3.1.3 自由锻造和模锻

1. 自由锻

自由锻是将加热状态的毛坯在锻造设备的上、下砧铁之间施加外力进行塑性变形,金属在变形时可朝各个方向自由流动不受约束。自由锻可分手工自由锻(手锻)和机器自由锻(机锻)两大类。

优点:工艺灵活,使用的工具比较简单,设备和工具的通用性强,成本低,广泛用于单件、小批量零件的生产。

缺点:锻件精度较低,加工余量大,劳动强度大,生产率低,对操作工人的技术水平要求高。

1) 自由锻的基本工序

自由锻的基本工序分为基本工序、辅助工序和精整工序。基本工序是实现锻件基本成形的工序,如镦粗、拔长、冲孔、弯曲、切割等,其中,镦粗、拔长、冲孔是实际生产中最常用的3个基本工序;基本工序前要有做准备的辅助工序,如压钳口、压肩、钢锭倒棱等;基本工序后要有修整形状的精整工序,如滚圆、摔圆、平整和校直等。

(1) 镦粗

如图3-5所示,镦粗是使坯料截面增大、高度减小的锻造工序,有整体镦粗和局部镦粗两种。整体镦粗是将坯料直立在下砧上进行锻打,使其沿整个高度产生高度减小。局部镦粗分为端部镦粗和中间镦粗,需要借助于工具,例如胎模或漏盘(或称垫环)来进行。常用来生产盘类件毛坯,如齿轮坯、法兰盘等。圆钢镦粗下料的高径比要满足 $H_0/D_0=2.5\sim 3$,坯料太高,镦粗时会发生侧弯或双鼓变形,锻件易产生夹黑皮折叠而报废。

(2) 拔长

拔长是使坯料长度增加、横截面减少的锻造工序,常用来生产轴类件毛坯,如车床主轴、连杆等。操作中还可以进行局部拔长、芯轴拔长等。

① 送进。拔长时,每次的送进量 L 应为砧宽 B 的 $0.3\sim 0.7$ 倍,若 L 太大,则金属横向流动多,纵向流动少,拔长效率反而下降。若 L 太小,又易产生夹层,如图3-6所示。

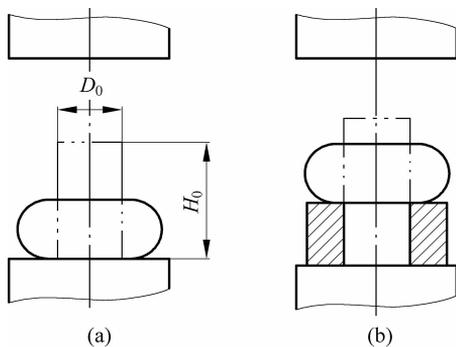


图 3-5 整体镦粗和局部镦粗

(a) 整体镦粗; (b) 局部镦粗

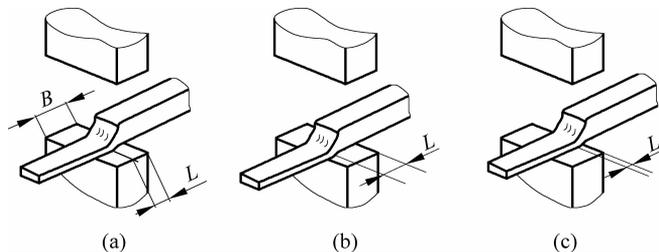


图 3-6 拔长时的送进量

(a) 送进量合适；(b) 送进量太大；(c) 送进量太小

② 翻转。拔长过程中应作 90° 翻转，除了图 3-7 所示按数字顺序进行的两种翻转方法外，还有螺旋式翻转拔长方法。为便于翻转后继续拔长，压下量要适当，应使坯料横截面的宽度与厚度之比不要超过 2.5，否则易产生折叠。

③ 锻打。将圆截面的坯料拔长成直径较小的圆截面时，必须先把坯料锻成方形截面，在拔长到边长接近工件的直径时，再锻成八角形，最后打成圆形，如图 3-8 所示。

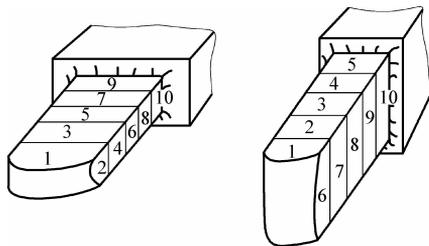


图 3-7 拔长时锻件的翻转方法

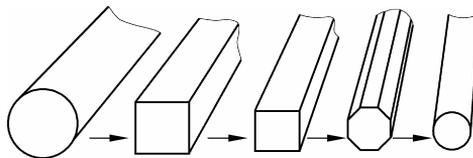


图 3-8 圆截面坯料拔长时横截面的变化

(3) 冲孔

在坯料上冲出通孔或不通孔的工序称为冲孔。冲孔分双面冲孔和单面冲孔，如图 3-9 和图 3-10 所示。单面冲孔适用于坯料较薄场合。

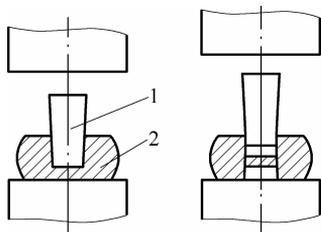


图 3-9 双面冲孔

1—冲子；2—零件

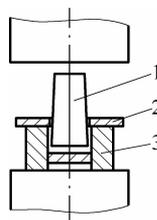


图 3-10 单面冲孔

1—冲子；2—零件；3—漏盘

(4) 弯曲

将坯料加热后弯成一定角度、弧度或变形的工序称为弯曲。

(5) 切割

将锻件从坯料上分割下来或切除锻件的工序称为切割，如图 3-11 所示。自由锻造的基本工序还有扭转、错移等。

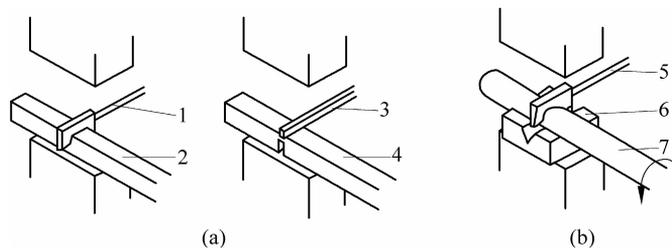


图 3-11 切割

(a) 方料的切割; (b) 圆料的切割

1、5—垛刀; 2、4、7—零件; 3—剋棍; 6—垛垫

2) 自由锻件常见缺陷及产生原因

自由锻件常见缺陷的主要特征及产生原因见表 3-3,产生的缺陷有的是由坯料质量不良引起的,尤其以铸锭为坯料的大型锻件更要注意铸锭有无表面或内部缺陷;有的是因加热不当、锻造工艺不规范、锻后冷却和热处理不当引起的。对锻造缺陷,要根据不同情况下产生不同缺陷的特征进行综合分析,并采取相应的纠正措施。

表 3-3 自由锻件常见缺陷的主要特征及产生原因

缺陷名称	主要特征	产生原因
表面横向裂纹	拔长时,锻件表面及角部出现横向裂纹	原材料质量不好;拔长时进锤量过大
表面纵向裂纹	镦粗时,锻件表面出现纵向裂纹	原材料质量不好;镦粗时压下量过大
中空纵裂	拔长时,中心出现较长甚至贯穿的纵向裂纹	未加热透,内部温度过低;拔长时,变裂纹集中于上、下表面,心部出现横向拉应力
弯曲、变形	锻造、热处理后弯曲与变形	锻造校直不够;热处理操作不当
冷硬现象	锻造后锻件内部保留冷变形组织	变形温度偏低;变形速度过快;锻后冷却过快

2. 模 锻

模型锻造简称模锻。模锻是在高强度模具材料上加工出与锻件形状一致的模膛(即制成锻模),然后将加热后的坯料放在模膛内受压变形,最终得到和模膛形状相符的锻件。模锻与自由锻相比有以下特点:

- (1) 能锻造出形状比较复杂的锻件。
- (2) 模锻件尺寸精确,表面粗糙度值较小,加工余量小。
- (3) 生产率高。
- (4) 模锻件比自由锻件节省金属材料,减少切削加工工时。此外,在批量足够的条件下可降低零件的成本。

(5) 劳动条件得到一定改善。

但是,模锻生产受到设备吨位的限制,模锻件的尺寸不能太大。此外,锻模制造周期长,成本高,所以模锻适合于中小型锻件的大批量生产。

按所用设备不同,模锻可分为:胎模锻、锤上模锻及压力机上模锻等。

3.1.4 板料冲压

1. 板料冲压

板料冲压是利用装在冲床上的冲模,使金属板料变形或分离,从而获得零件的加工方法。它是机械制造中重要的加工方法之一,应用十分广泛。

板料冲压件的厚度一般都不超过 2 mm,冲压前不需加热,故又称薄板冲压或冷冲压,简称冷冲或冷压。

常用的冲压材料是低碳钢、铜及其合金、铝及其合金、奥氏体不锈钢等强度低而塑性好的金属。冲压件尺寸精确,表面光洁,一般不再进行切削加工,只需钳工稍加修整或电镀后,即可作为零件使用。

2. 板料冲压的基本工序

冷冲压的工序分为分离工序和成形工序两大类。分离工序是使零件与母材沿一定的轮廓线相互分离的工序,有冲裁、切口等;成形工序是使板料产生局部或整体塑性变形的工序,有弯曲、拉深、翻边、胀形等。板料冲压的基本工序分类见图 3-12。

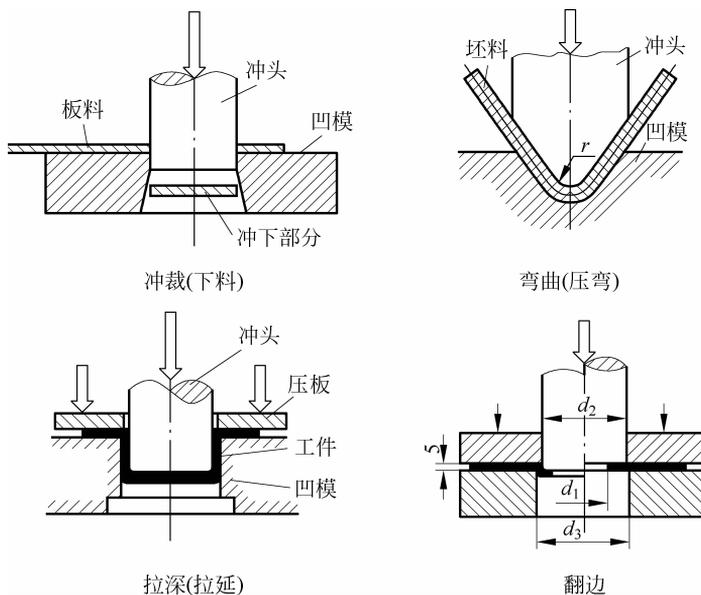


图 3-12 板料冲压的基本工序

3. 冲压设备及冲模

1) 冲床

常用冲压设备主要有剪床,冲床,液压机等。冲床是进行冲压加工的基本设备,有很多类型,常用的开式冲床如图 3-13 所示。电动机 4 通过 V 带 10 带动大飞轮 9 转动,当踩下踏板 12 后,离合器 8 使大飞轮与曲轴 7 相连而旋转,再经连杆 5 使滑块 11 沿导轨 2 做上下往

复运动,进行冲压加工。当松开踏板时,离合器脱开,制动器 6 立即制止曲轴转动,使滑块停止在最高位置上。

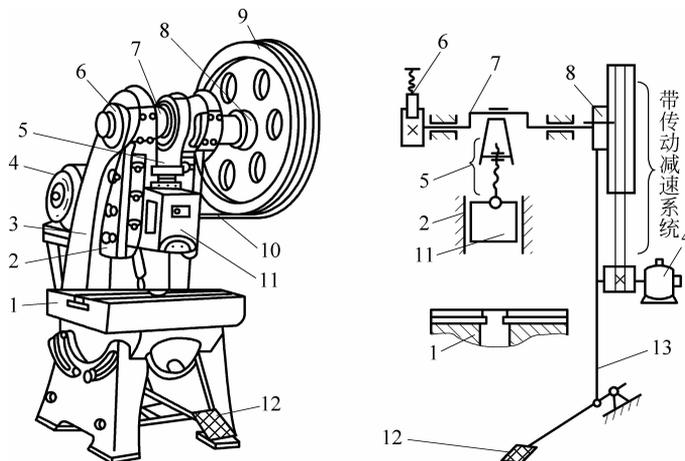


图 3-13 开式冲床示意图

1—工作台；2—导轨；3—床身；4—电动机；5—连杆；6—制动器；7—曲轴；
8—离合器；9—大飞轮；10—V带；11—滑块；12—踏板；13—拉杆

冲床的规格以额定公称压力来表示,如 100 kN(10 t)。其他主要技术参数有滑块行程距离(mm)、滑块行程次数(str/min)和封闭高度等。

2) 冲模

冲压模具是使板料分离或成形的工具,简称冲模。典型的冲模结构如图 3-14 所示,一般分为上模和下模两部分。上模通过模柄安装在冲床滑块上,下模则通过下模板由压板和螺栓安装在冲床工作台上。

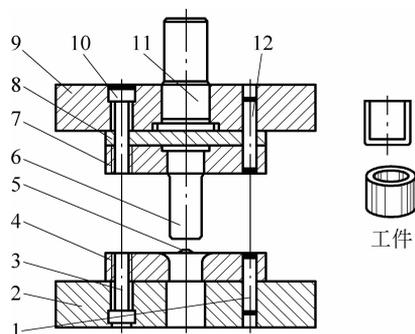


图 3-14 简单拉深模

1—定位销；2—下模板；3—螺钉；4—凹模；5—挡料销；6—凸模；7—固定板；
8—垫板；9—上模板；10—螺钉；11—模柄；12—定位销

冲模各部分的作用如下：

(1) 凸模和凹模：凸模 6 和凹模 4 是冲模的核心部分,凸模与凹模配合使板料产生分离或成形。

(2) 挡料销(板)和定位销：挡料销 5 用以控制板料的进给方向,定位销 1 用以控制板料