

# 绪 论

## 1. 生产过程与机械加工工艺过程

### 1) 生产过程

制造机械产品时,将原材料转变为成品的全过程称为生产过程。它包括原材料运输和保管、生产准备、毛坯制造、零件的机械加工和热处理及其他表面处理、产品装配、调试、质量检验以及表面装饰和包装等。在生产过程中,有一些过程是不可缺少的,但并不直接参与由原材料到成品的转变,这些过程称为辅助过程,如生产准备和质量检验等。

### 2) 工艺过程

工艺过程是生产过程中的主要部分,是指在生产过程中直接改变毛坯的形状、尺寸、相对位置和材料性能,使其成为半成品或成品的过程。如毛坯制造、零件的机械加工和热处理及其他表面处理、产品装配等。

### 3) 机械加工工艺过程

机械加工工艺过程是利用机械加工方法,直接改变毛坯的形状、尺寸、相对位置和性能等,使其转变为成品的过程。机械加工工艺过程直接决定零件和产品的质量,对产品的成本和生产周期都有较大的影响,是整个工艺过程的重要组成部分。

## 2. 机械加工工艺规程

机械加工工艺规程是将机械加工工艺过程的各项内容写成文件,用来指导、组

织和管理生产的技术文件。它是在总结生产实践的基础上,依据工艺理论和必要的工艺试验制订的。

### 1) 机械加工工艺规程的作用

(1) 机械加工工艺规程是指导生产的主要技术文件,是保证产品质量和提高经济效益的指导性文件,企业有关人员都必须严格执行。

(2) 机械加工工艺规程是组织生产和计划管理的重要依据,是生产加工、检验验收、工时考核、生产调度的主要依据,它对产品的生产周期、质量和生产效率都有着直接影响。

(3) 机械加工工艺规程是新建或扩建工厂(车间)的依据,如设备的添置、车间面积的确定、动力用量、劳动力配置等,都是以工艺规程为依据的。

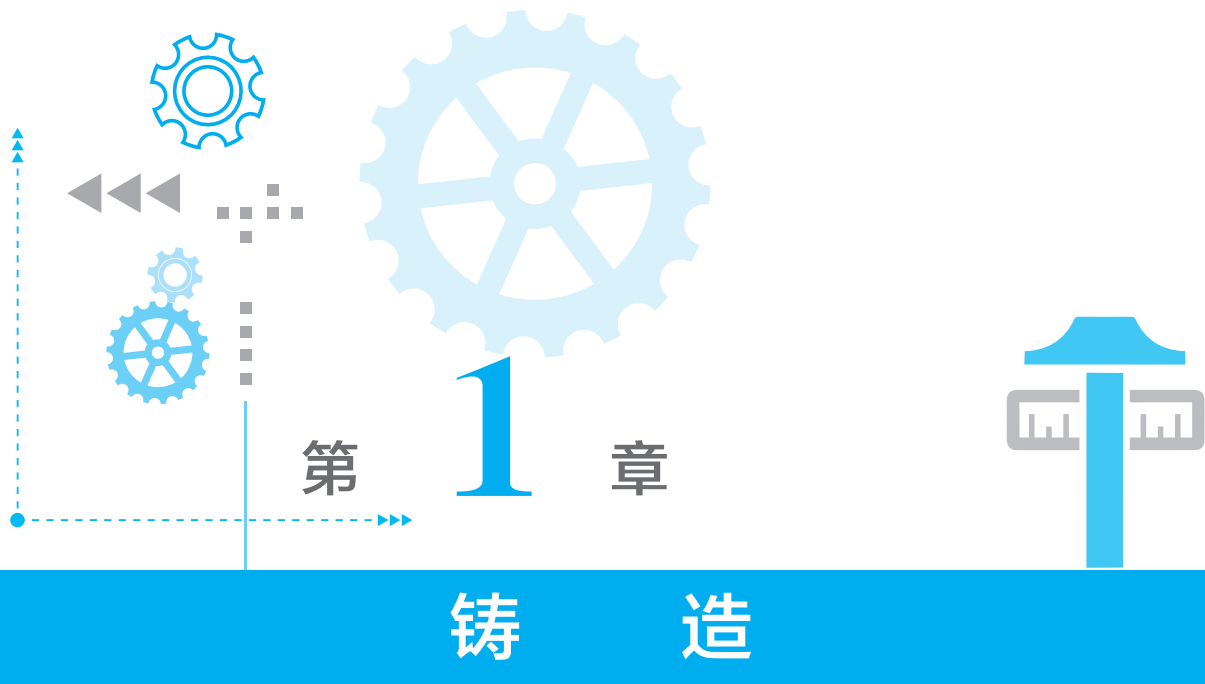
### 2) 机械加工工艺规程的格式

将工艺规程的内容填入一定格式的卡片,即成为生产准备和施工的工艺文件,如机械加工工艺规程卡片、机械加工工艺卡片和机械加工工序卡片。

(1) 机械加工工艺规程卡片以工序为单位,列出零件加工所经过的工艺路线,它是编制其他工艺文件的基础,也是生产技术准备、编制作业计划和组织生产的依据。在单件小批生产中,通常不编制其他较详细的工艺文件,可用于指导工人操作。

(2) 机械加工工艺卡片以工序为单位详细说明了产品在某一工艺阶段中的工序号、工序名称、工序内容、工艺参数、操作要求以及采用的设备和工艺装备等。它用来指导工人操作和帮助管理人员及技术人员掌握零件加工过程,广泛用于成批生产的零件和小批生产的重要零件。

(3) 机械加工工序卡片是用来指导生产的一种详细的工艺文件。它详细地说明该工序中每个工步的加工内容、工艺参数、操作要求、所用设备和工艺装备等。一般有工序简图,注明该工序的加工表面和应达到的尺寸公差、形位公差和表面粗糙度值。它主要用于大批量生产。



## 1.1

### 铸造的特点及分类

熔炼金属,将液态金属浇注到与零件形状和尺寸相适应的铸型型腔中,待其冷却后得到坯料或零件的方法称为铸造。铸造所获得的金属工件或毛坯称为铸件。

#### 1.1.1 铸造的特点

由于铸造是由液态凝结成固态的过程,故铸造生产具有以下特点。

##### 1. 加工方便

铸造对工件的尺寸和形状几乎没有任何限制,铸件的尺寸可大可小,可获得形状复杂的机械零件。因此,形状复杂的零件或大型机械零件一般采用铸造方法初步生产。在各种批量的生产中,铸造都是重要的加工方法。

##### 2. 适应性强

铸件的材料可以是各种金属材料,也可以是高分子材料和陶瓷材料。

##### 3. 成本较低

由于铸造方便,铸件毛坯与零件形状相近,能节省金属材料和切削加工工时;铸造原材料来源广泛,可以利用废料、废件等,节约国家资源;铸造设备通常比较简单,

价格低廉。因此,铸件的成本较低。

#### 4. 组织性能较差

一般条件下,铸件晶粒粗大(铸态组织),化学成分不均匀,因此,受力不大或承受静载荷的机械零件,如箱体、床身、支架等常用铸件毛坯。

### 1.1.2 铸造的分类

铸造的工艺方法很多,一般习惯于将铸造分为砂型铸造和特种铸造两大类,砂型铸造应用较广。

#### 1. 砂型铸造

直接形成铸型的原材料主要为型砂,且液态金属完全靠重力充满整个铸型型腔,这种铸造方法称为砂型铸造。砂型铸造是用型砂紧实成铸型的铸造方法,是目前生产中应用最多、最基本的铸造方法,其生产的铸件约占铸件总量的80%以上。砂型铸造一般可分为手工砂型铸造和机器砂型铸造两类。前者主要适用于单件、小批量生产以及复杂和大型铸件的生产,后者主要适用于大批量的生产。如图1-1所示为砂型铸造的生产过程。

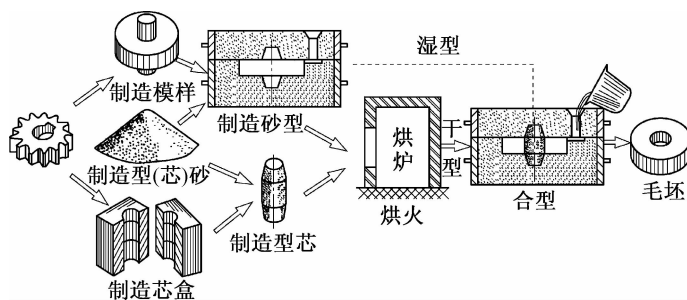


图 1-1 砂型铸造的生产过程

#### 2. 特种铸造

凡不同于砂型铸造的所有铸造方法,统称为特种铸造。如金属型铸造、压力铸造、离心铸造、熔模铸造、低压铸造等。

## 1.2

# 砂型铸造

### 1.2.1 砂型铸造的工艺流程

砂型铸造的工艺流程如图1-2所示。根据零件图的形状和尺寸,设计制造模样



和芯盒；制备型砂和芯砂；用模样制造砂型；用芯盒制造型芯；把烘干的型芯装入砂型并合型；熔炼合金并将金属液浇入铸型；凝固后落砂、清理；检验合格便获得铸件。

### 1.2.2 造型材料

制造砂型的造型材料包括型砂、芯砂及涂料等。型砂和芯砂是按一定比例配合制成的混合料。造型材料质量的优劣对铸件质量具有决定性的影响。

#### 1. 型砂和芯砂的性能要求

铸型在浇注凝固过程中要承受液体金属的冲刷、静压力和高温的作用，要排除大量气体，型芯还要受到铸件凝固时的收缩压力等，因而型砂和芯砂的性能应满足下列要求。

##### 1) 可塑性

型(芯)砂在外力作用下容易获得清晰的模样印迹，外力去除后仍能完整地保持其形状的性能称为可塑性。为了得到合格的铸件，型砂必须具有良好的可塑性。

##### 2) 强度

砂型承受外力作用而不易变形和被破坏的性能称为强度。铸型必须具有足够的强度，以便在修整、搬运及液体金属浇注时受冲击和压力作用的情况下，不致变形或毁坏。若型砂强度不足，会造成塌箱、冲砂或砂眼等缺陷。

##### 3) 耐火度

型(芯)砂在高温液体金属注入时，不软化、不易熔融烧结并黏附在铸件表面上的性能，称为耐火度。若型砂耐火度不足，会造成粘砂，使切削加工困难。粘砂严重难以清理的铸件，可能成为废品。

##### 4) 透气性

型砂由于内部砂粒之间存在空隙，能够通过气体的能力，称为透气性。当高温液体金属注入铸型后，会产生气体，砂型和型芯中也会产生大量气体。若型砂透气性差，会使铸件产生气孔缺陷。

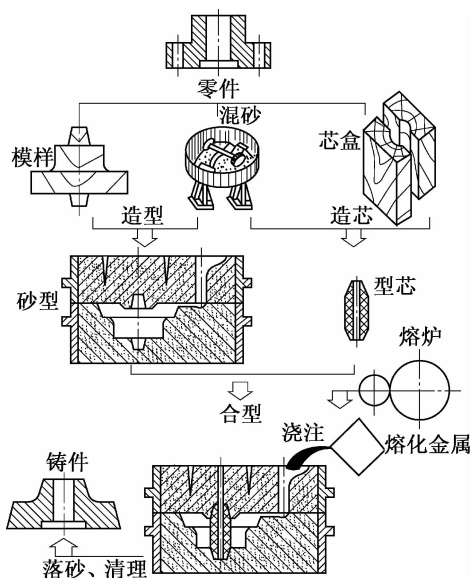


图 1-2 砂型铸造的工艺流程

### 5) 退让性

铸件冷却收缩时,砂型和砂芯的体积可以被压缩的性能,称为退让性。退让性差,会阻碍金属收缩,使铸件产生内应力,甚至造成裂纹等缺陷。

## 2. 型砂的组成

型(芯)砂是由原砂、黏结剂、附加材料、旧砂和水等混合搅拌而成的。

原砂是型砂的主体,其主要成分为  $\text{SiO}_2$ ,采自山地、海滨或河滨。要求  $\text{SiO}_2$  含量高,砂粒大小均匀,形状以球形为佳。 $\text{SiO}_2$  的含量与型砂耐火度有直接关系, $\text{SiO}_2$  的含量越高,耐火度越好。

黏结剂一般分为黏土和膨润土两种,有时用水玻璃、植物油或合脂(合成脂肪酸的副产品)做黏结剂。黏结剂的作用是使型砂具有一定的强度和可塑性。

煤粉和锯木屑是常用的廉价附加材料。加入的煤粉在浇注时燃烧生成还原性气体,在铸型与金属液体之间产生气膜,防止铸件表面粘砂;加入锯木屑可改善型砂的退让性和透气性。

已用过的型砂,经过适当处理后仍可掺在型砂中使用,以便节约新砂的用量。

### 1.2.3 模样与芯盒

模样是形成铸型型腔的模具,芯盒是用来制造型芯以形成具有内腔的铸件。模样和芯盒在单件、小批量生产时通常用木材制造;生产批量较大时,也可用塑料和金属制造。

为了保证铸件质量,在制造模样和芯盒时,必须了解下列一些工艺参数:

(1)加工余量。加工余量是指为保证铸件加工面尺寸和零件精度,在进行铸件工艺设计时预先增加切削加工时切去的金属层厚度。一般小型铸件的加工余量为  $2\sim 6\text{ mm}$ 。

(2)收缩余量。收缩余量是指为了补偿铸件冷却时的收缩,模样比铸件图样尺寸增大的数值。

(3)起模斜度。起模斜度是指为使模样容易从铸型中取出或使型芯容易从芯盒脱出,平行于起模方向在模样或芯盒壁上的斜度。一般来说,木模外壁的起模斜度为  $30'\sim 3^\circ$ ,平行壁越高,其斜度越小,内壁的斜度比外壁大;金属模的斜度小于木模;机器造型的斜度比手工造型小。

(4)芯头。芯头是指型芯的外伸部分,不形成铸件轮廓。在铸型中芯头可使型芯定位准确,安放牢固,排气顺利。根据型芯的安放位置,芯头可分为垂直芯头和水



平芯头,其结构如图 1-3 所示。

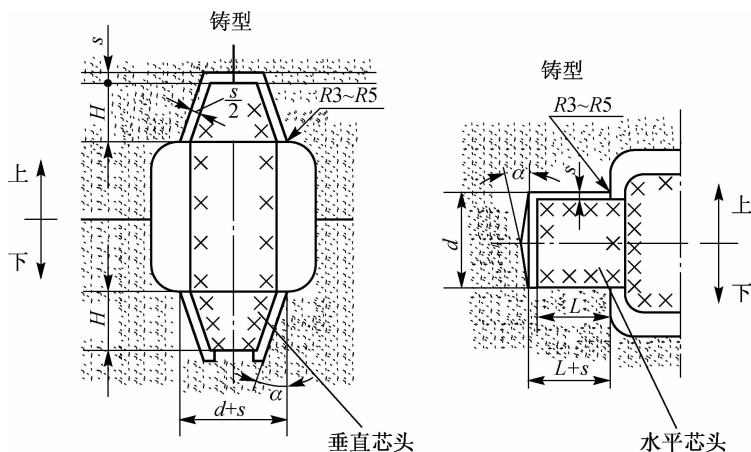


图 1-3 芯头结构

(5)铸造圆角。为了减少铸件裂纹,方便造型和制芯,应将模样及型芯盒的交角处做成圆角,此圆角称为铸造圆角,如图 1-4 所示。

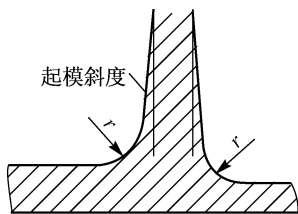


图 1-4 铸造圆角

**知识链接**

分型面的选择。分型面选择得是否合理,对于铸件质量以及制模、制芯、合箱和切削加工等工序的复杂程度有很大影响。选择铸件分型面应满足造型工艺的要求,还要有利于提高铸件的质量。分型面的选择原则如下:

- (1)便于起模。为此,通常将铸件的最大截面作为分型面,以保证模样的顺利取出。
- (2)尽量使分型面平直、数量少,以避免不必要的活块和型芯,便于下芯、合型和检验等。
- (3)尽量使铸件位于同一砂箱内。
- (4)尽量使加工面与加工基准面位于同一砂箱内。
- (5)应尽量使型腔和主要型芯处于下箱。

此外,分型面的选择也应结合浇注位置综合考虑,尽可能使二者相适应,避免合型后翻动铸型引起的偏芯、砂眼、错型等缺陷。

### 1.2.4 造型和造芯

用造型材料及模样、芯盒等工艺装备制造砂型和型芯的过程称为造型和造芯。根据机械化程度的不同,造型、造芯可分别由手工或机器完成。

#### 1. 造型

##### 1) 手工造型

手工造型的造型过程全部由手工或手动工具完成。手工造型方法操作灵活,适应性强,模样成本低,生产准备时间短,但铸件质量不稳定,生产率低,且劳动强度大,主要用于单件、小批量生产。

实际生产中,由于铸件的大小、形状、铸造合金、生产批量和技术要求不同,手工造型的方法也不同,常用的手工造型方法有整模造型、分模造型、挖砂造型、活块造型、刮板造型等。

(1) 整模造型。整模造型过程如图 1-5 所示。其特点是模样为一整体,放在一个砂箱内,能避免铸件出现错型缺陷,造型操作简单,铸件的尺寸精度高。适用于生产形状简单、最大截面在端部且为平面的铸件。

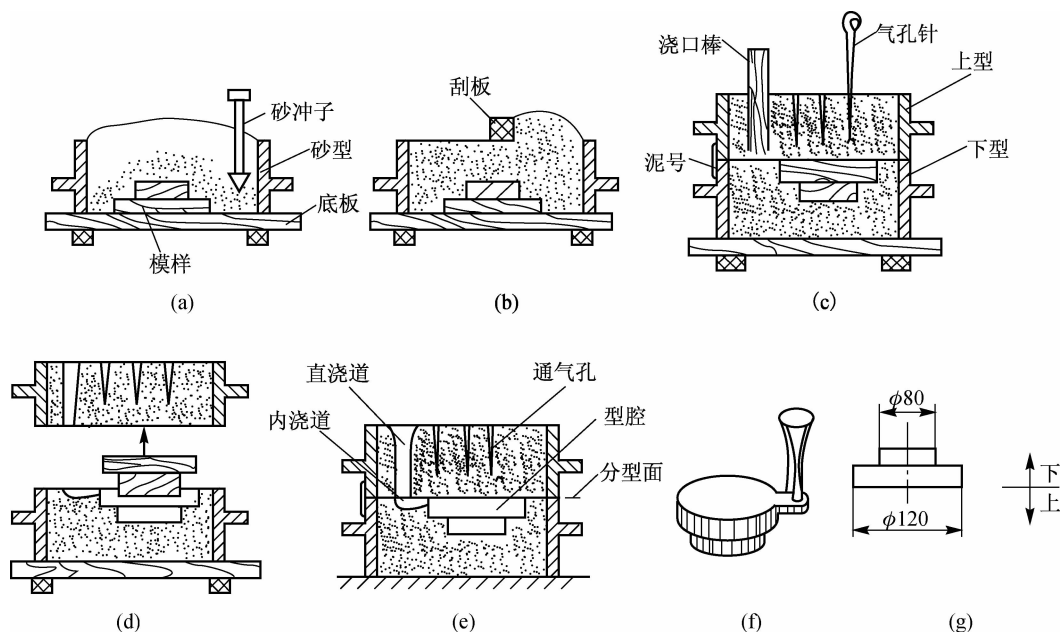


图 1-5 整模造型过程

(a) 造下型; (b) 刮平, 翻箱; (c) 翻转下型, 造上型, 挖气孔; (d) 起模, 开浇口; (e) 合型; (f) 带浇口的铸件; (g) 铸件





(2)分模造型。分模造型过程如图 1-6 所示。为了便于造型时将模样从砂型内取出,模样沿最大截面处分开。造出的铸型型腔不在同一砂箱中,上下铸型错移会造成铸件错型。这种方法操作也很简便,对各种铸件的适应性好,应用最为广泛。

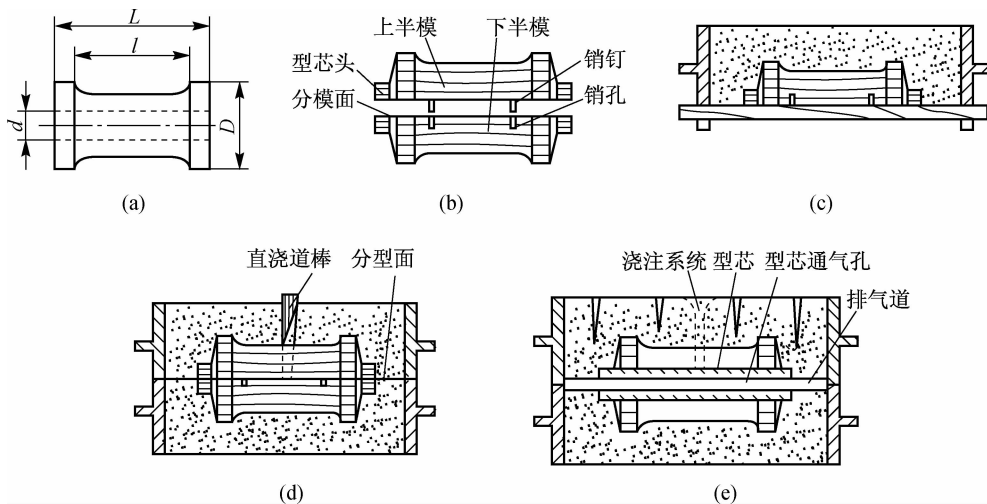


图 1-6 分模造型过程

(a)铸件; (b)模样; (c)造下型; (d)造上型; (e)起模,放型芯,合型

(3)挖砂造型。有些铸件外形轮廓为曲面,但又要求整模造型,则造型时需挖出阻碍起模的型砂。挖砂造型要求准确挖砂至模样的最大截面处,技术要求较高,生产率低,只适用于单件、小批量、最大截面不在端部且模样又不便分开的铸件的生产。

(4)刮板造型。刮板造型时用一个与铸件截面形状相应的刮板代替模样,来刮出所需铸型的型腔,如图 1-7 所示。刮板造型节省了模样材料和模样加工,但操作费时,生产率较低,多适用于单件、小批量,尤其是尺寸较大的旋转体铸件的生产。

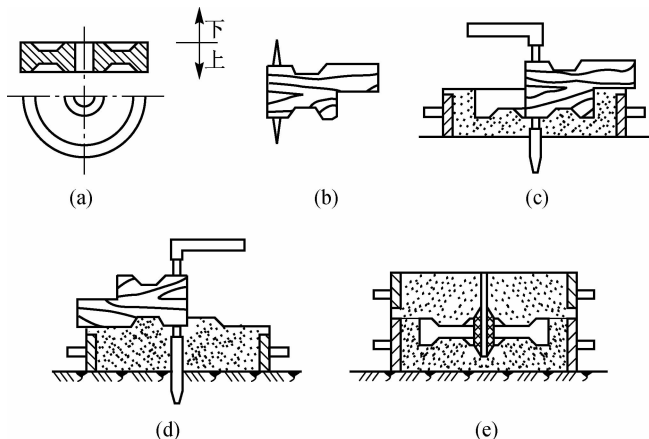
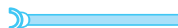


图 1-7 刮板造型

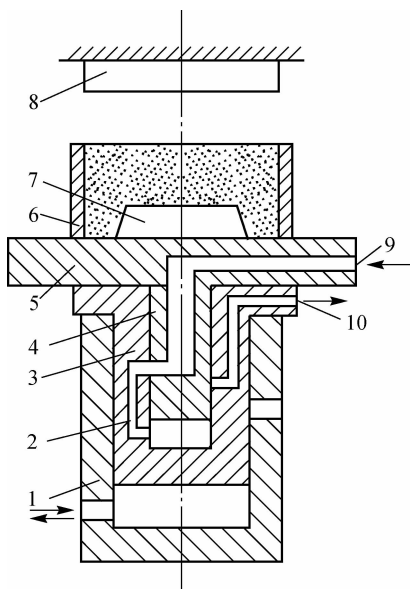
(a)带轮零件图; (b)刮板; (c)刮制下砂型; (d)刮制上砂型; (e)合型



## 2) 机器造型

机器造型就是用机器全部完成或至少完成紧砂操作的造型方法。机器造型使工人的劳动强度降低,生产率提高,铸件质量稳定,便于组织流水线生产。但由于设备投资大,主要用于大批量生产。

紧砂的目的就是使砂箱内松散的型砂紧实,从而使砂型具有一定的强度。其方法可分为压实、震实、震压和抛砂四种基本形式,其中以震压式应用较广。如图 1-8 所示为震压式造型机紧砂机构示意图,机构采用先震后压的组合紧砂方法。工作时压缩空气从震实进气口 9 进入震实活塞 4 的下方,使震实活塞带动工作台 5 及砂箱 6 上升,当震实活塞上升至一定高度后,震实排气口 10 即被打开,砂箱连同工作台因自重而下落,完成一次震实。如此反复多次,便将型砂震实。当压缩空气进入压实气缸 1 时,压实活塞 3 带动工作台再次上升,使型砂触及压头 8,实现压实。最后使压实气缸排气,砂箱随工作台降落,完成全部紧砂过程。震压式紧砂方法可使型砂紧实度分布均匀,生产效率高,是大批量生产中小型铸件的基本方法。



1—压实气缸; 2—震实气路; 3—压实活塞; 4—震实活塞; 5—工作台; 6—砂箱;  
7—模样; 8—压头; 9—震实进气口; 10—震实排气口

图 1-8 震压式造型机紧砂机构

## 2. 造芯

型芯一般是用芯盒制成的,芯盒的空腔形状和铸件的内腔相适应。图 1-9 所示为芯盒造芯方法,图(a)为采用整体芯盒造芯,适用于形状简单的中、小型芯;图(b)为对开芯盒造芯,适用于形状对称,较复杂的型芯;图(c)为可拆式芯盒造芯,适用于形状复



杂的大、中型型芯。

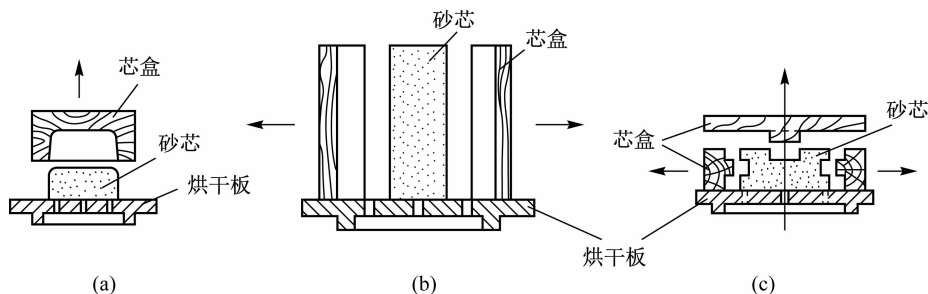


图 1-9 芯盒造芯方法

(a)整体芯盒造芯；(b)对开芯盒造芯；(c)可拆式芯盒造芯

由于型芯是放置于砂型内腔的,浇注时受四周金属的包围,因此制造型芯时除采用合适的芯砂外,还需在型芯中放置芯骨,并将型芯烘干以增加强度。在型芯中应做出通气孔,将浇注时产生的气体由型芯经芯头通至铸型外,以免铸件产生气孔缺陷。型芯表面一般要刷上涂料,用以提高型芯表层的耐火度、保温性、化学稳定性,使型芯表面光滑,并提高其抵抗高温熔融金属的侵蚀能力。

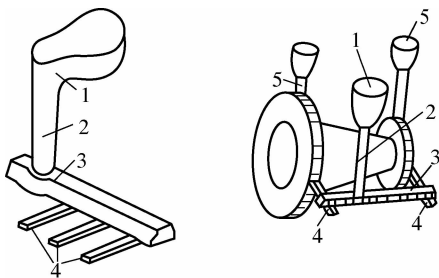
### 1.2.5 浇注系统

浇注系统是指为将金属液体注入型腔而在铸型中开设的一系列通道。浇注系统包括冒口在内,统称为浇冒系统。对浇注系统的要求如下:

- (1)能均匀连续而平稳地将液态金属引入并充满型腔,防止液态金属冲坏砂型。
- (2)防止熔渣进入型腔。
- (3)调节铸件凝固顺序,补给铸件冷却凝固收缩时所需的金属。

典型的浇注系统由浇口杯、直浇道、横浇道和内浇道等组成,如图 1-10 所示。浇口杯为开口较大的漏斗形,用来将来自浇包的金属引入直浇道,液态金属在浇口杯内有短暂的停留,使得上浮的熔渣不致流入型腔,以缓和冲击,分离熔渣。直浇道为一圆锥形垂直通道,引导液态金属流入型腔,利用其高度使金属液产生一定的静压力,来控制金属液流入铸型的速度,提高充型能力。横浇道分配金属液进入内浇道,它的断面一般为梯形,并设在内浇道之上,起到挡渣的作用。内浇道是引导金属液进入型腔的部分,其作用是控制金属液的流速和流向,调整铸件各部分的温度分布。

冒口与出气口的作用是排出型腔内的气体,还可以在金属凝固时把金属液补给铸件。冒口一般设在铸件的最高处或最厚处。



1—浇口杯；2—直浇道；3—横浇道；4—内浇道；5—出气口

图 1-10 典型的浇注系统

## 1.2.6 铸造后续加工

### 1. 合型与铸件检查

合型是铸型的装配工序。合型要保证砂型型腔的几何形状、尺寸的准确性，并检查型芯的安放是否稳固。在型芯放好后，必须详细检查各个部分，才能扣上上型，然后放置浇口杯。扣型时应防止偏差或错型，合型后，为防止浇注时上砂箱被金属液抬起，造成抬型、射箱（铁液流出箱外）或跑火（着火的气体窜出箱外）事故，应将上、下两型紧扣或放上压箱铁。

### 2. 浇注

金属熔化后，用浇包将金属液浇入铸型的操作称为浇注。浇注时应注意控制浇注温度和浇注速度。浇注温度应根据铸造合金的种类、铸件结构及尺寸等确定。浇注速度的大小应能保持金属液连续不断地注入铸型，不得断流，应该使浇口杯一直处于充满状态。

### 3. 落砂和清理

落砂是使铸件与型砂、砂箱分离的操作。铸件浇注后要在砂型中冷却到一定温度后才能落砂。一般 10 kg 左右的铸件需冷却 1~2 h 才能开型，上百吨的大型铸件需冷却十几天。落砂过程还包括清除铸件表面和孔穴中的浮砂和型（芯）砂。

清理是落砂后从铸件上清除表面粘砂或粗糙部分、浇道和冒口多余金属等过程的总称。铸件表面的粘砂、粗糙部分可用滚筒清理、抛丸清理、打磨清理等。铸铁件上的浇道、冒口可用铁锤敲掉，韧性材料的铸件可用锯割或气割等方法去除。



浇注位置确定了铸件在浇注时受重力作用的状态，选择时应以保证铸件质量为前提，同时考虑造型和浇注的方便。浇注位置的选择原则如下：


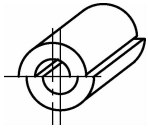


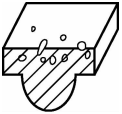


- (1) 铸件的重要表面应朝下或位于侧面。
- (2) 铸件上的大平面应尽可能朝下。
- (3) 铸件的薄壁部位应置于下部。
- (4) 截面较厚的部分放在上部或侧面。


### 1.2.7 铸件的缺陷

铸造生产中,铸件质量受很多因素的影响,如配砂、造型、造芯、合箱、熔化、浇注、落砂和清理等,常会产生铸造缺陷。常见铸造的缺陷特征及产生原因分析见表 1-1。

表 1-1 常见铸造的缺陷特征及产生原因分析

名 称	缺陷示例	缺陷特征	产生原因分析
浇注不足		铸件残缺或轮廓不完整,边角圆且光亮	①合金流动性差,浇注温度过低; ②远离浇口的铸件壁太薄; ③浇注时断流或浇注速度过慢; ④浇注系统截面过小
错型		铸件的一部分与另一部分在分型面处发生错移	①合型时定位不准; ②合型时上、下型错位; ③上、下型未夹紧; ④定位销或记号不准
裂纹		在铸件转角处或厚薄交接处开裂	①铸件壁厚差别大,收缩不一致; ②合金含硫、磷量过高; ③型(芯)砂的退让性差; ④浇注温度过高
缩孔		铸件厚截面处出现的形状不规则的孔洞,孔的内壁极粗糙	①铸件结构设计不当,有热节; ②浇注温度过高,金属液态收缩过大; ③冒口设计不合理,补缩不足
气孔		铸件内部出现孔洞,大孔孤立存在、小孔成群出现,孔的内壁较光滑	①砂型紧实度过高,透气性差; ②砂型太湿,起模、修型时刷水过多。 型芯、浇包未烘干或通气孔堵塞; ③浇注系统不正确,气体排不出去

(续表)

名称	缺陷示例	缺陷特征	产生原因分析
砂眼		铸件内部或表面带有砂粒的孔洞	① 浇注系统不合理, 冲坏铸型和型芯; ② 局部没舂紧, 易掉砂; ③ 型砂强度不够, 局部掉砂、冲砂; ④ 合箱时砂型局部挤坏, 掉砂

### 1.3

## 特种铸造

砂型铸造的铸件表面粗糙, 需留有较大的切削加工余量, 废品率较高, 生产效率低, 劳动条件差。为了克服上述缺点, 实践中一些区别于砂型铸造的方法统称为特种铸造。

### 1. 熔模铸造

熔模铸造是用蜡料制成蜡模, 蜡模上包裹多层耐高温材料后制成型壳, 加热使蜡制模样熔化排出, 再经高温对型壳焙烧, 形成浇注型腔的铸造方法。熔模铸造能够获得较高精度和较好表面质量的铸件。

### 2. 金属型铸造

金属型铸造的铸型一般由铸铁或钢制作, 可以反复使用, 减少了造型的工作量。但金属型铸造导热快, 使液体合金的充型能力下降, 容易使铸件产生浇注不足和冷隔。无退让性和透气性, 使铸件容易出现裂纹、气孔等缺陷。

### 3. 离心铸造

离心铸造是将金属液注入高速旋转的特定铸型中, 利用离心力使液态金属填充铸型的方法。离心铸造必须在离心铸造机上进行。

### 4. 压力铸造

压力铸造是在高压下把液态金属快速充满型腔, 并在压力下凝固的铸造方法。其使用的铸型为金属型, 在压铸机上完成铸造过程。



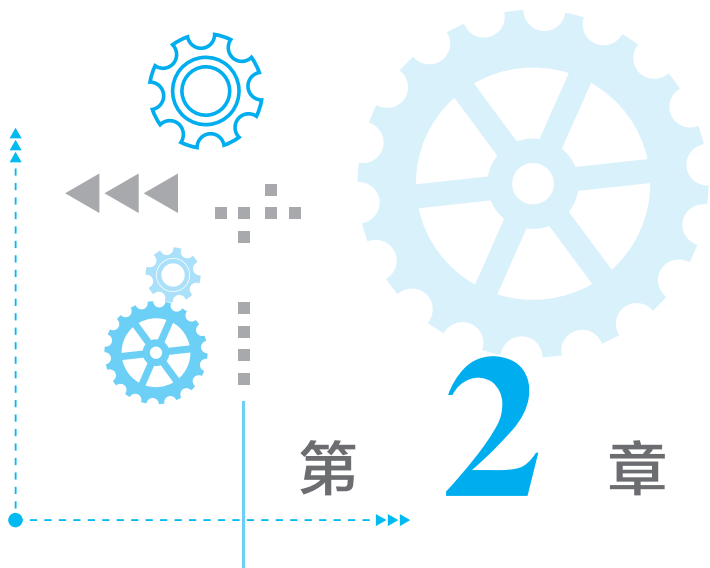
### 复习思考题

1. 什么是铸造? 铸造有哪些优点?



2. 什么是砂型铸造？什么是特种铸造？常用的特种铸造有哪些？
3. 什么是型砂？什么是芯砂？型(芯)砂应具备哪些主要性能？
4. 何谓模样？制造模样时需要了解哪些工艺参数？
5. 常见的手工造型方法有哪几种？
6. 什么是浇注系统？浇注系统由哪几部分组成？各组成部分的主要作用是什么？
7. 什么是落砂？什么是清理？
8. 铸件常见的缺陷有哪些？简述其产生的原因。
9. 常用的特种铸造有哪几种方法？





## 第 2 章



# 锻 压

### 2.1

## 锻压的特点及分类

锻压是在外力作用下使金属材料产生塑性变形,从而获得具有预期形状、尺寸和力学性能的毛坯、型材或零件的加工方法。

### 2.1.1 锻压的分类

#### 1. 锻造

将金属坯料加热到高温状态后,放在上下砧铁或模具间,并在外力作用下产生塑性变形的方 法称为锻造。按照成形方式的不同,锻造又可分为自由锻造和模型锻造两大类,如图 2-1(a)和(b)所示。自由锻造按其设备和操作方式,又可分为手工自由锻和机器自由锻。

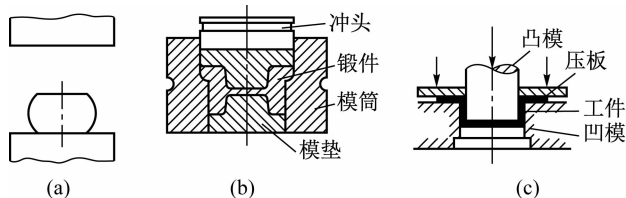


图 2-1 锻压分类

(a)自由锻造; (b)模型锻造; (c)冲压

锻造主要用于生产各种重要的、承受重载荷的机器零件毛坯,如机床的主轴和齿轮、内燃机的连杆、炮筒和枪管以及起重吊钩等。





## 2. 冲压

利用冲模使金属薄板受力产生分离或变形的工艺称为冲压,如图 2-1(c)所示。冲压一般在常温下进行,故又称为冷冲压。冲压又可分为落料、冲孔、弯曲、拉深等。冲压广泛用于汽车、拖拉机、航空、仪表及日用品工业部门。

### 2.1.2 锻压的特点

锻压成形加工方法有如下特点:

- (1) 锻压加工后,可使金属获得较细密的晶粒,可以压合铸造组织内部的气孔等缺陷,并能合理控制金属纤维方向,以提高零件的性能。
- (2) 锻压加工后,坯料的形状和尺寸发生改变而其体积基本不变,与切削加工相比,可节约金属材料 and 加工工时。
- (3) 能加工各种形状、重量的零件,使用范围广。

## 2.2

# 锻 造

### 2.2.1 锻造加热与冷却

#### 1. 锻造加热

在锻造前,对金属进行加热,目的是提高其塑性,降低变形抗力,改善金属的可锻性,使之容易流动成形。

锻造时由始锻温度到终锻温度的间隔称为锻造温度范围。确定锻造温度范围的基本原则是金属在确定的锻造温度范围内具有良好的塑性和较低的变形抗力,并能获得优质锻件,不产生各种缺陷;加热次数少,生产效率高,成本低。

##### 1) 始锻温度

始锻温度是开始锻造的温度,也是允许的最高加热温度。始锻温度不宜过高,否则可能造成过烧和过热。但始锻温度也不宜太低,否则将缩短锻造操作的时间,缩小锻造的温度范围,增加锻造的困难。一般将始锻温度控制在其熔点以下 150~250 °C。

##### 2) 终锻温度

终锻温度是停止锻造的温度。终锻温度过高会降低锻件的力学性能;终锻温度

过低,锻件塑性不良,变形困难,甚至导致锻件产生裂纹。

## 2. 冷却

锻造后的锻件仍有较高的温度,冷却时由于表面冷却快,内部冷却慢,锻件内外冷却收缩不一致,可能会使一些塑性较低或大型复杂锻件产生变形或开裂等缺陷。锻件冷却的方式主要根据材料的化学成分、锻件形状特点和截面尺寸等因素确定。锻件的形状越复杂、尺寸越大,冷却速度越慢。碳钢和低合金钢中小锻件,多采用空冷;中碳钢、高碳钢和大多数低合金钢的中型锻件多在炉灰或干砂中缓冷;中碳钢和低合金钢的大型锻件以及高合金结构钢的重要零件,多在锻造后即将锻件放入 $500\sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的炉中随炉缓冷。

锻后的零件或毛坯要按图样技术要求进行检验。经检验合格的锻件,最后进行热处理。

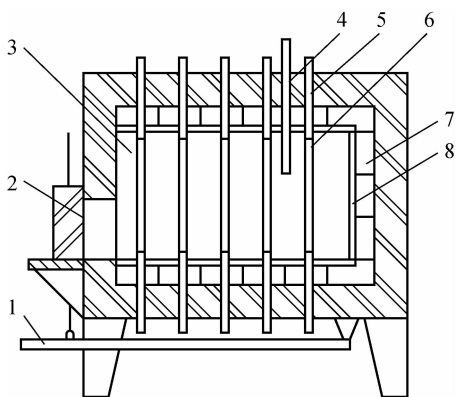
### 2.2.2 自由锻

金属锻造时的变形是在上、下两铁砧之间自由流动的变形称为自由锻。自由锻有手工锻造和机器锻造两种,机器锻造时的打击能量大,能够锻造较大的锻件。自由锻的设备较为简单,锻件表面粗糙,尺寸精度差,生产效率低,适于单件或小批量生产。

#### 1. 自由锻造设备

##### 1) 加热炉

锻件加热可采用一般燃料如焦炭、重油等进行燃烧,利用火焰加热,也可采用电



1—踏杆; 2—炉门; 3—炉膛; 4—温度传感器;  
5—硅碳棒冷端; 6—硅碳棒热端;  
7—耐火砖; 8—反射层

图 2-2 红外箱式炉的结构

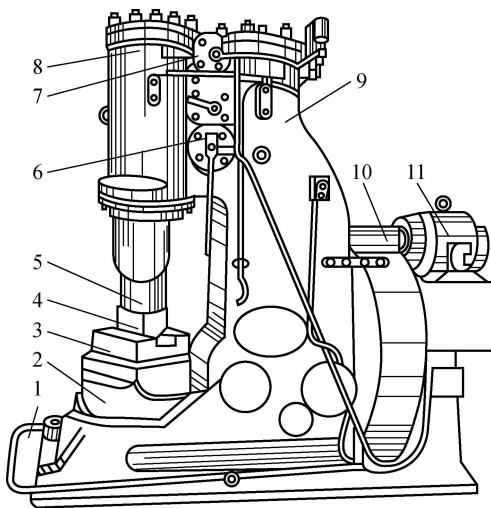
能加热。典型的电能加热设备是高效节能红外箱式炉,其结构如图 2-2 所示。它采用硅碳棒为发热元件,并在内壁涂有高温烧结的辐射涂料,加热时炉内形成高辐射均匀温度场,因此,升温快,单位耗电低,达到节能目的。红外炉采用无级调压控制柜与其配套,具有快速启动、精密控温、送电功率和炉温可任意调节的特点。

##### 2) 空气锤

空气锤的结构如图 2-3 所示,由锤身、压缩缸、工作缸、传动机构、操纵机构、落下部分



及砧座等组成。空气锤的公称规格是以落下部分的质量来表示的。落下部分包括工作活塞、锤杆、锤头和上砧铁。例如 65 kg 空气锤,是指其落下部分质量为 65 kg,而不是指它的打击力。



1—踏杆; 2—砧座; 3—砧垫; 4—下砧铁; 5—上砧铁; 6—下旋阀;  
7—上旋阀; 8—工作缸; 9—压缩缸; 10—减速装置; 11—电动机

图 2-3 空气锤的结构

## 2. 自由锻的工序

自由锻的工序分为基本工序、辅助工序和精整工序三类。基本工序是使金属塑性变形的的主要工序,包括镦粗、拔长、冲孔、弯曲、扭转、切割等;辅助工序是为方便基本工序的操作所设置的预先变形工序,包括压钳口、倒棱和压肩等;精整工序能够提高锻件表面质量和精确锻件的尺寸,包括锻件整形和精压等。

### 1) 镦粗

镦粗是使坯料的横截面增大和高度降低的工序,分为整体镦粗和局部镦粗(端部镦粗和中部镦粗),如图 2-4 所示。在大多数情况下,由于上、下铁砧对坯料两端的摩擦阻力所致,镦粗后坯料呈腰鼓形状,需要进行滚圆等纠正性操作。镦粗主要适用于圆盘类零件。

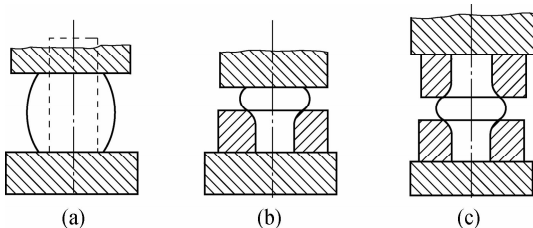


图 2-4 镦 粗

(a)整体镦粗; (b)端部镦粗; (c)中部镦粗

### 2) 拔长

锻造时使坯料的长度增加、截面减小的工序称为拔长。拔长包括平砧上拔长、

带芯棒的拔长。平砧或 V 形砧上拔长主要用于轴杆类锻件；带芯棒拔长用于空心件，如套筒等管状锻件。为了使坯料变形均匀，拔长时要不断地进行  $90^\circ$  翻转坯料，如图 2-5 所示。每次送进量不宜太多，以避免坯料横向流动增大，影响拔长效率。

### 3) 冲孔

利用冲头在坯料上冲出通孔或不通孔的工序称为冲孔。冲孔的方法包括双面冲孔和单面冲孔，大多数锻件上的孔均采用实心冲头双面冲孔的方法冲出，如图 2-6 所示。

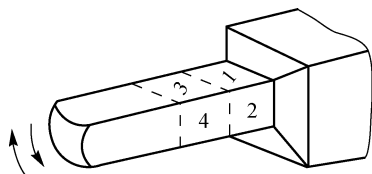


图 2-5 拔长的翻料方案

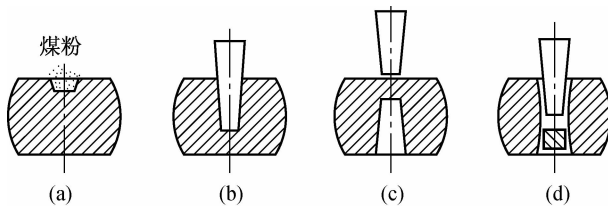


图 2-6 实心冲头双面冲孔

### 4) 弯曲

使坯料弯曲成一定角度或形状的锻造工序称为弯曲，如图 2-7 所示。

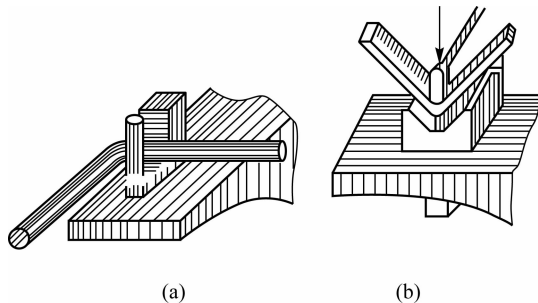


图 2-7 弯 曲

(a) 角度弯曲；(b) 成形弯曲

另外，还有使坯料的一部分相对另一部分旋转一定角度的扭转工序和分离坯料或切除料头的切割工序。

## 知识链接

### 自由锻常见缺陷

自由锻常见的缺陷有裂纹、末端凹陷、轴心裂纹和折叠等。

产生裂纹的原因主要有坯料质量不好、加热不充分、锻造温度过低、锻件冷却不当和锻造方法有错误等。



末端凹陷和轴心裂纹是由于锻造时坯料内部未热透或坯料整个截面未锻透,变形只产生在坯料表面造成的,如图 2-8(a)所示。

产生折叠的原因主要是坯料在锻压时送进量小于单面压下量,如图 2-8(b)所示。

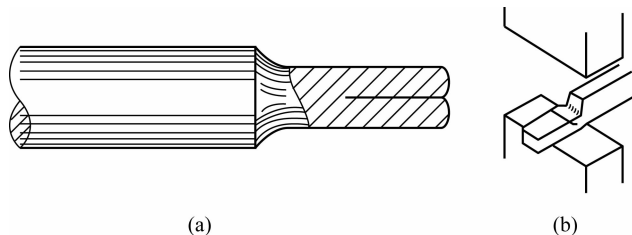


图 2-8 自由锻缺陷

(a)末端凹陷和轴心裂纹; (b)折叠

### 2.2.3 模锻

模锻是使材料在锻模模膛内一次或多次承受冲击力或压力的作用,而被迫流动成形的锻造方法。由于模膛对金属坯料流动的限制,最终获得的锻件与模膛形状相同。

#### 1. 模锻的主要特点

模锻加工的成形具有如下特点:

- (1)生产效率高,金属的变形在模膛内进行,锻件成形快,一般比自由锻高数倍。
- (2)锻件尺寸精度高,加工余量小,从而节约金属材料 and 切削加工的工时。
- (3)能锻造形状比较复杂的锻件。
- (4)热加工流线分布合理,大大提高了零件的力学性能和使用寿命。
- (5)操作过程简单,易于实现机械化和自动化生产,可以使工人劳动强度降低。

由于锻模是用优质模具钢制成的,成本高,而且坯料整体变形,变形抗力较大,加工工艺复杂,生产周期长,因此,模锻只适用于中、小型锻件的大批量生产。

#### 2. 常用的模锻方法

按使用设备的不同将模锻分为锤上模锻、压力机上模锻和胎模锻等。

##### 1) 锤上模锻

锤上模锻是在模锻锤上进行的模锻,可进行镦粗、拔长、滚挤、弯曲、成形、预锻和终锻等各变形工步的操作。

锤上模锻用的锻模是由带燕尾的活动上模 2 和固定下模 4 两部分组成,并分别用紧固楔铁 6、8、11 紧固在锤头 1 和模座 5 上。上、下模合模后,中部形成完整的模

膛 10、分模面 9 和飞边槽 3,如图 2-9 所示。

根据模膛在锻模中的个数不同,模膛可分为单模膛和多模膛。单模膛形状与锻件基本相同,用于形状比较简单的锻件。对于形状复杂的锻件,可在一副锻模上设置几个模膛,以便提高生产率,这类模膛称为多模膛。图 2-10 所示为弯曲连杆在多模膛内的模锻过程。多模膛用于截面相差大或轴线弯曲的轴(杆)类锻件及形状不对称的锻件,多模膛由拔长模膛、滚压模膛、弯曲模膛、预锻模膛、终锻模膛等组成。

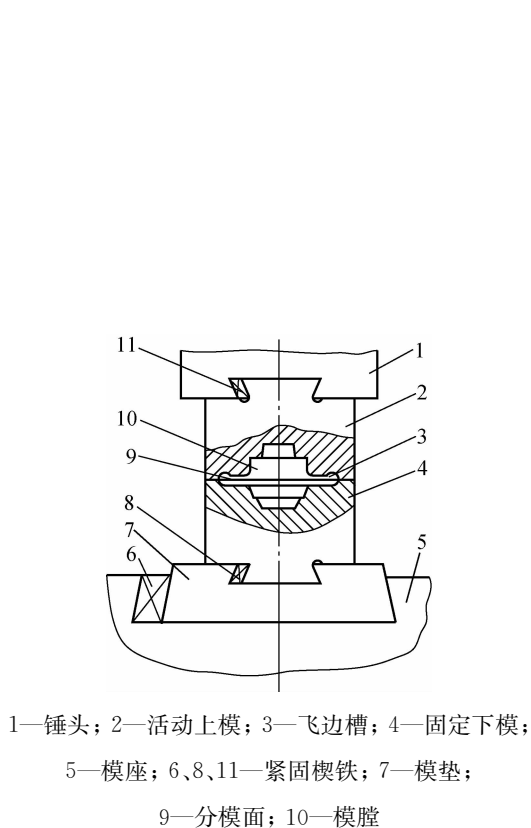


图 2-9 锻模构造

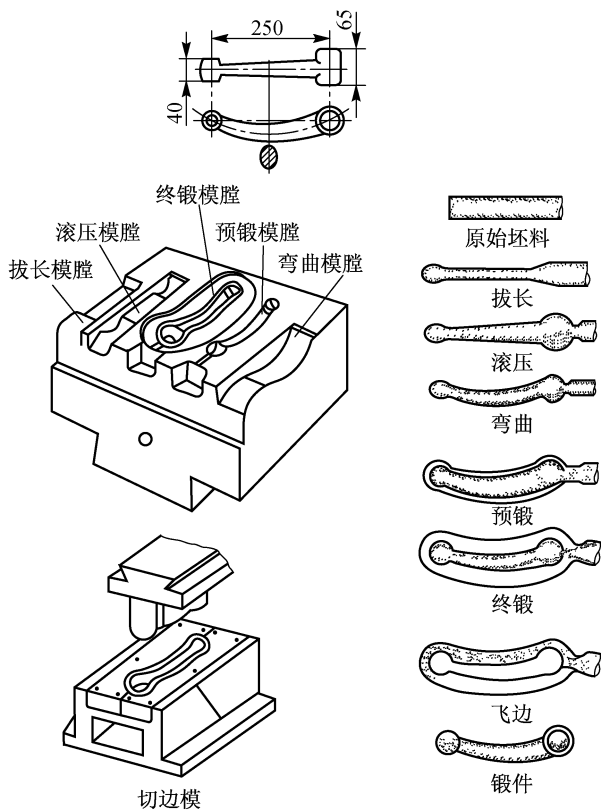


图 2-10 弯曲连杆在多模膛内的模锻过程

## 2) 压力机上模锻

模锻锤工作时振动噪声大,劳动条件差,因此近年来逐渐被压力机所代替。

(1) 摩擦压力机模锻。摩擦压力机是利用摩擦传动的,故称为摩擦压力机,如图 2-11 所示。电动机 4 经过传动带 5 使装有两个圆轮 6 的圆轮轴旋转,锻模分别安在滑块 10 和机座 1 上,螺杆 8 两端分别与滑块 10 和飞轮 7 相连,并穿过固定在机架上的螺母 9 带动滑块沿导轨 3 做上下滑动。工作时,通过改变操纵杆位置可使圆轮轴沿轴向窜动。当某一圆轮靠紧飞轮边缘时,依靠摩擦力带动飞轮和螺杆作不同方向的转动。在螺母的制约下螺杆的转动变为滑块的上下滑动,实现模锻生产。



摩擦压力机模锻生产效率低,适用于单模膛模锻;摩擦压力机结构简单,造价低,维护方便,劳动条件好,是中、小型工厂普遍采用的锻造设备。

(2)曲柄压力机模锻。曲柄压力机又称为热模锻压力机,其曲柄连杆的运动由离合器控制,使曲柄旋转,通过连杆带动滑块上下往复运动,进行锻造加工。曲柄压力机模锻锻造时滑块行程固定不变,锻件一次成形,易实现机械化和自动化,生产效率高。曲柄压力机的设备费用高,结构较复杂,适用于大批生产的模锻件。

### 3)胎模锻

在自由锻设备上,使用可移动胎模具生产锻件的锻造方法称为胎模锻。胎模不固定在自由锻锤的砧块上,需要时才放上去。锻造时,将加热后的坯料放入胎模锻压成形。一般是先将坯料经过自由锻预锻成近似锻件的形状,然后在胎模内终锻成形。

按照胎模的结构形式,常用胎模可分为以下几种:

- (1)摔模。适用于锻造回转体轴类锻件,如图 2-12(a)所示。
- (2)扣模。用来对坯料进行局部或全部扣形,适用于生产非回转体的扣形件和制坯,如图 2-12(b)所示。
- (3)套筒模。呈套筒形,适用于生产回转体盘类锻件,如图 2-12(c)所示。
- (4)合模。适用于生产形状复杂的非回转体锻件,如图 2-12(d)所示。

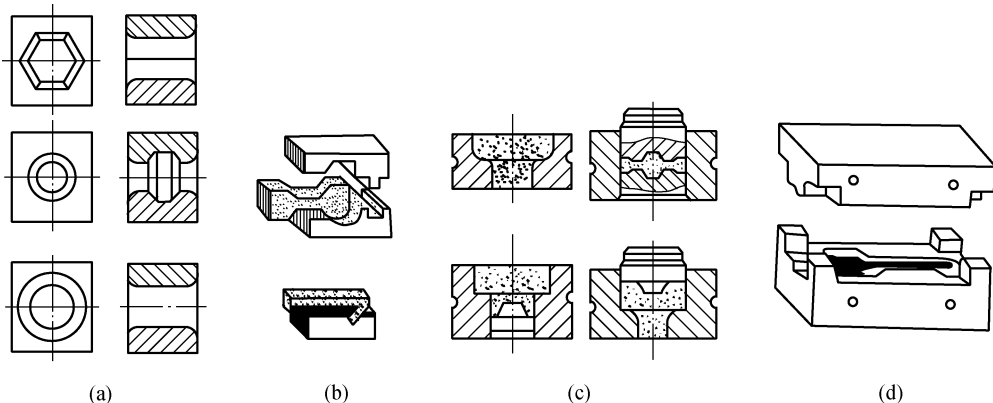
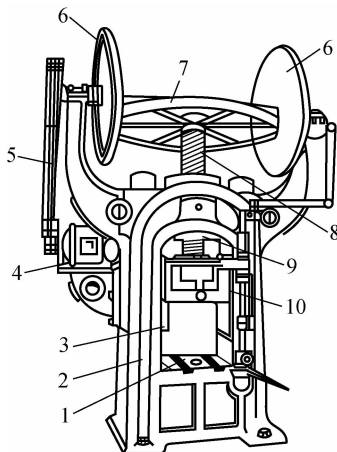


图 2-12 胎模种类

(a)摔模; (b)扣模; (c)套筒模; (d)合模



1—机座; 2—机架; 3—导轨; 4—电动机;  
5—传动带; 6—圆轮; 7—飞轮;  
8—螺杆; 9—螺母; 10—滑块

图 2-11 摩擦压力机

胎模锻与自由锻相比可获得形状较为复杂、尺寸较为精确的锻件,可节约金属,提高生产效率。与其他模锻相比,它具有模具简单、便于制造、造价低廉等优点。胎模锻生产效率低,锻件质量也不如其他的模锻,工人劳动强度大,锻模的寿命低,因此,这种模锻方法适用于中、小批量生产,它在没有模锻设备的工厂中应用较为普遍。

## 2.3

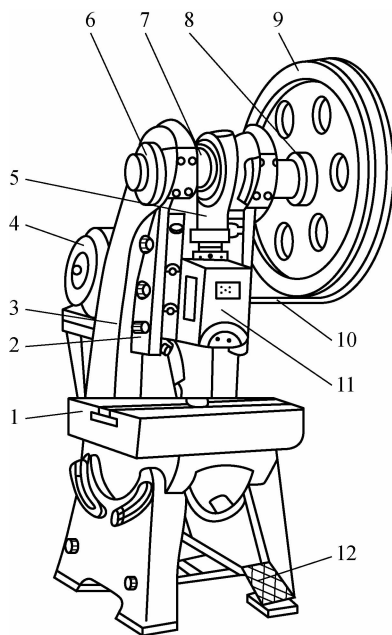
# 冲 压

板料冲压是利用冲模使板料产生分离或变形的加工方法。因多数情况下板料无需加热,故亦称冷冲压,又简称冷冲或冲压。

### 2.3.1 常用冲压设备

#### 1. 机械压力机

机械压力机俗称冲床,有很多种类型,常用的开式冲床如图 2-13 所示。电动机 4 通过 V 带 10 带动飞轮 9 转动,当踩下踏板 12 后,离合器 8 使飞轮与曲轴 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 12 时,离合器 8 脱开,制动器 6 立即制止曲轴 7 转动,使滑块 11 停止在最高位置上。



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—飞轮; 10—V带; 11—滑块; 12—踏板

图 2-13 开式冲床





## 2. 剪板机

剪板机(俗称剪床)的用途是将板料剪切成一定宽度的条料,以供冲压使用。

剪板机的外形如图 2-14 所示。电动机带动带轮使轴转动,通过齿轮传动及离合器带动曲轴转动,使装有上刀片的滑块作上下运动,与工作台上的下刀片配合完成剪料动作。制动器与离合器配合,可使滑块停在最高位置,为下次剪切做好准备。

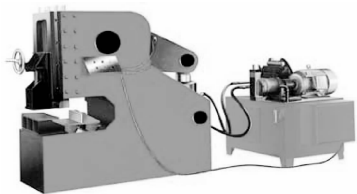


图 2-14 剪板机的外形

### 2.3.2 冲压工序

#### 1. 分离工序

分离工序是使板料的一部分和另一部分分开的工序,包括冲裁和切断。

(1)冲裁。冲裁是利用冲模将板料以封闭的轮廓与坯料分离的一种冲压方法,如图 2-15(a)所示。常见的冲裁有落料和冲孔。落料是利用冲裁取得一定外形的制件或坯料的冲压方法。冲孔是将冲压坯内的材料以封闭的轮廓分离开来,得到带孔制件的一种冲压方法,其冲落部分为废料。

(2)切断。切断是将材料沿不封闭的曲线分离的一种冲压方法。将材料沿不封闭的曲线部分地分离,其分离部分的材料发生弯曲,此种冲压方法又称为切口,如图 2-15(b)所示。

#### 2. 成形工序

成形工序是使坯料的一部分相对于另一部分产生塑性变形而不破坏的工序,如弯曲和拉深。

(1)弯曲。使坯料的一部分相对于另一部分弯曲成一定角度的工序称为弯曲,如图 2-15(c)所示。

(2)拉深。使坯料变形成开口空心零件的工序称为拉深,如图 2-15(d)所示。

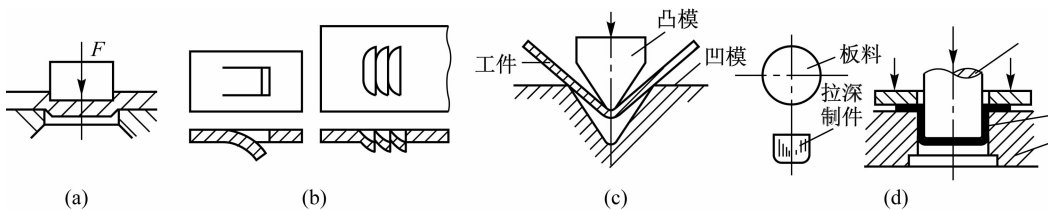


图 2-15 冲压工序

(a)冲裁;(b)切断;(c)弯曲;(d)拉深

知识链接

其他常用的冲压成形工序包括：

- (1) 缩口：将管件和空心制件的端部加压，使其径向尺寸缩小的加工方法。
- (2) 翻边：将板料边缘或管件的口部进行折边或翻扩的加工方法。
- (3) 翻孔：在预先制好孔的半成品上或未经制孔的板料上冲制出竖直边缘的成形方法(通常将翻孔归为翻边)。
- (4) 胀形：板料或空心坯料在双向拉应力作用下，使其产生塑性变形而取得所需制件的加工方法。

### 2.3.3 冲压模具

冲压模具简称冲模，由上模(凸模)和下模(凹模)两部分组成。典型的冲压模具包括冲裁模、弯曲模和拉深模等，如图 2-16 所示。

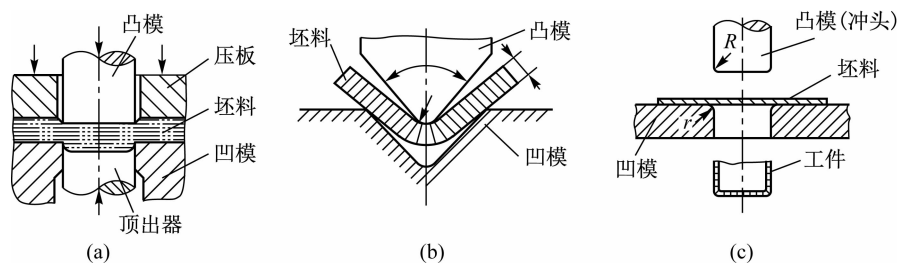


图 2-16 冲压模具

(a) 冲裁模；(b) 弯曲模；(c) 拉深模

复习思考题

1. 什么是锻压？锻压包括哪两种加工方法？
2. 什么是锻造？什么是冲压？
3. 什么是始锻温度？什么是终锻温度？
4. 锻件常用的冷却方法有哪几种？各适用于何种情况？
5. 什么是自由锻？自由锻的基本工序有哪些？
6. 胎模锻与模锻的主要区别是什么？
7. 冲压的基本工序分为哪两类？各有什么特点？
8. 落料和冲孔有什么异同？
9. 什么是弯曲？什么是拉深？
10. 摩擦压力机模锻和曲柄压力机模锻分别适用于哪些情况？