

3.1 概 述

3.1.1 概念

锻压成型是指通过控制金属在外力作用下产生的塑性变形,以获得具有一定形状、尺寸和性能的型材、零件或毛坯的成型方法,又称为塑性成型或压力加工。金属经受锻压成型的能力称为金属的可锻性,通常用塑性和变形抗力表示。塑性是指金属产生塑性变形而不破坏的能力,变形抗力是金属在变形过程中抵抗工具作用的力。塑性越好,变形抗力越小,金属可在较小的外力作用下产生较大程度的塑性变形,其可锻性越好。

3.1.2 起源与发展

锻压成型技术是历史最为久远的制造方法之一,大约有八千年至一万多年的历史。世界上发现的最早的金属制品是出土于伊拉克的约公元前九千年至公元前八千年间的用天然铜锻打成型的装饰物和小用品。我国在距今大约六千年前有了用锻造方法成型的黄金、红铜等有色金属制品。但人类早期的锻压生产都是以人力或畜力完成工件的锻打。14—16世纪出现了水力落锤。19世纪中叶,英国工程师内史密斯创制了第一台蒸汽锤,开始了蒸汽动力锻压机械的时代。19世纪末出现了以电为动力的压力机和空气锤。20世纪以来,锻压机械向高速、高效和自动化方向发展,出现了高速压力机、三坐标多工位压力机和多种自动化生产线。与此同时,人类对金属塑性变形机理的认识也经历了一个从“经验”到“规律”的转变。屈雷斯加和密席斯先后发现了金属发生塑性变形的条件,古布金较为全面、系统地论述了塑性变形的原理,这些为锻压成型技术的进一步发展提供了理论基础。

今天的锻压成型技术已经从早期简单的“锻打”向“净形制造”技术转变。面向21世纪的信息时代,塑性成型技术仍是机械制造中生产金属零件最基本的方法之一。

3.1.3 锻压成型的分类与应用

根据成型工艺和设备的不同,锻压成型方法包括以下几类。

(1) 轧制 轧制是指金属坯料在两个轧辊的空隙中受压变形,以获得各种产品的加工方法(图 3-1(a))。改变轧辊上的孔型,可以轧制出不同截面的原材料。

(2) 挤压 挤压是指金属坯料在挤压模内受压被挤出模孔而变形的加工方法(图 3-1(b))。挤压过程中金属坯料的截面依照模孔的形状减小,坯料的长度增加。

(3) 拉拔 拉拔是指将金属坯料拉过拉拔模的模孔而变形的加工方法(图 3-1(c))。

(4) 自由锻 自由锻是指金属坯料在上、下砧铁间受冲击力或压力而变形的加工方法(图 3-1(d))。

(5) 模锻 模锻是指金属坯料在具有一定形状的锻模模膛内受冲击力或压力作用而变形的加工方法(图 3-1(e))。

(6) 板料冲压 板料冲压是指金属板料在冲模作用下产生分离或变形的加工方法(图 3-1(f))。

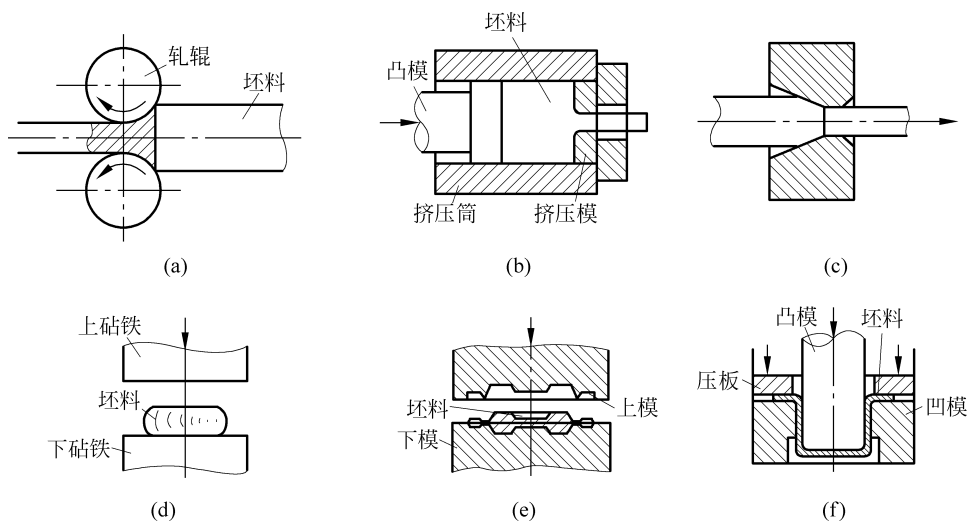


图 3-1 塑性成型生产方式

(a) 轧制; (b) 挤压; (c) 拉拔; (d) 自由锻; (e) 模锻; (f) 板料冲压

上述不同的锻压方法在机械制造、军工、航空、轻工、家用电器等行业得到广泛应用。如常用的各种金属型材、板材、管材和线材等原材料,大多是通过轧制、挤压、拉拔等方法制成的。机器中承受重载荷或交变载荷的机械零件,如主轴、重要齿轮、连杆、炮管和枪管等,一般都是采用锻造的方法生产毛坯,再经切削加工而成。板料冲压广泛应用于汽车制造、电器、仪表及日用品工业等方面。

3.1.4 锻压成型的特点

锻压成型能消除金属铸锭内部(铸造组织)的气孔、缩孔和树枝状晶等缺陷,并细化晶粒,得到致密的金属组织,使锻件力学性能较高。锻压成型既可生产精度要求较低的毛坯件,也可生产精度要求较高的精密锻件,如曲轴、精锻齿轮等;锻件重量几乎不受限制,小到不足 1kg,大到重达几百吨都可锻压成型;可单件小批量生产,也可大批量生产,工艺适应

性较好。锻压成型在利用专用设备和模具的情况下,具有较高的生产率。锻压所用的金属材料应具有良好的塑性,以便在外力作用下,能产生塑性变形而不破坏。锻压成型不适宜加工形状较复杂的工件,特别是对具有复杂内腔的零件或毛坯的加工比较困难。

3.2 锻造的生产过程

锻造包括自由锻造和模型锻造,是生产承受重载荷的重要零件或毛坯的主要方法。锻造生产过程一般包括下料、坯料加热、锻造成型、冷却和质量检验等工艺环节。

3.2.1 下料

下料是根据锻件的尺寸和锻造工艺要求对原材料进行分割以获得单个坯料的生产过程。传统的下料方法是用锯床、剪床、车床、砂轮切割机等设备将原材料分割开来。现在也有用电火花切割、激光切割、高压水射流切割等新的方法来进行下料切割。

3.2.2 坯料加热

1. 加热的目的和锻造温度范围

锻造加热的目的是提高坯料的塑性并降低变形抗力,以改善其可锻性。一般地说,随着温度的升高,金属材料的强度会降低,而塑性会提高,可锻性变好。但是加热温度过高,也会使锻件质量下降,甚至造成废品。因此,金属的锻造应在一定温度范围内进行。

金属材料在锻造时,所允许的最高加热温度,称为该材料的始锻温度。坯料在锻造过程中,随着热量的散失,温度下降,塑性变差,变形抗力变大。温度下降到一定程度后,不仅难以继续变形,且易于锻裂,必须停止锻造,重新加热。各种材料停止锻造的温度,称为该材料的终锻温度。

锻造温度范围就是指从始锻温度到终锻温度的温度区间。确定原则是:在保证金属坯料具有良好的可锻性的前提下,应尽量放大锻造温度范围,以便有较宽裕的时间进行锻造成型,且减少加热次数,降低材料消耗,提高生产率。

钢的开始再结晶温度约为 727°C ,但普遍采用 800°C 作为划分线,高于 800°C 的是热锻;在 $300\sim 800^{\circ}\text{C}$ 之间称为温锻或半热锻,在室温下进行锻造的称为冷锻。用于大多数行业的锻件都是热锻,温锻和冷锻主要用于汽车、通用机械等零件的锻造,温锻和冷锻可以有效节材。

2. 加热方法

1) 火焰加热法

采用烟煤、柴油、重油、煤气作为燃料。利用燃料中的碳、氢等可燃物质在空气中燃烧时

放出的热量,将金属坯料加热。

2) 电加热法

利用电流通过特种材料制成的电阻体产生热量,再以辐射传热方式将金属坯料加热。电加热法主要有:电阻加热法、感应加热法,电接触加热法和盐浴加热法。

3. 加热缺陷

1) 氧化和脱碳

钢是铁与碳组成的合金。加热过程中,如果钢料与高温的氧气、二氧化碳及水蒸气等接触,发生剧烈的氧化,使坯料的表面产生氧化皮及脱碳层,影响锻件质量,严重时会造成锻件的报废。

减少氧化和脱碳的措施是严格控制送风量,快速加热,减少坯料加热后在炉中停留的时间,或采用少氧化、无氧化等加热方法。

2) 过热和过烧

加热钢料时,如果加热温度超过始锻温度,或在始锻温度下保温过久,内部的晶粒会急剧长大,这种现象称为过热。过热的锻件机械性能较差。可通过增加锻打次数或锻后热处理的办法,使晶粒细化。

如果将钢料加热到更高的温度,或让过热的钢料在高温下长时间保温,会造成晶粒间低熔点杂质的熔化和晶粒边界的氧化,削弱晶粒之间的联结力,继续锻打时会出现碎裂,这种现象称为过烧。过烧的钢料是无可挽回的废品。

要防止过热和过烧,须严格控制加热温度,不要超过规定的始锻温度,尽量缩短坯料在高温下停留的时间。

3.2.3 锻造成型

按所用设备、工具及成型工艺的不同,锻造成型可分为自由锻成型和模锻成型。

1. 自由锻

自由锻是指金属坯料在上、下砧铁间受压变形时,可朝各个方向自由流动,不受限制,其形状和尺寸主要由操作者的操作来控制。根据动力来源不同,自由锻分为手工自由锻和机器自由锻。手工锻造只适合生产小型锻件,机器自由锻则是可生产各种大小的锻件,是自由锻的主要生产方法。

自由锻工艺灵活,设备和工具的通用性强,成本低;锻件精度较低,加工余量较大,生产率低,一般只适合于单件小批量生产。自由锻是生产重型机械中大型和特大型锻件的唯一方法。

1) 自由锻设备

自由锻设备根据其坯料施加外力的性质不同,分为锻锤和液压机两大类。锻锤是依靠产生的冲击力使金属坯料变形,但由于能力有限,故只用来锻造中、小型锻件。液压机是依靠产生的压力使金属坯料变形,能锻造质量达 300t 的锻件,是锻造生产大型锻件的主要设备。常用的自由锻设备是空气锤。

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

及砧座等几个部分组成。锤身和压缩缸及工作缸缸体铸成一体。传动机构包括减速机构及曲柄、连杆等。操纵机构包括踏杆(或手柄)、旋阀及其连接杠杆。空气锤的规格用落下部分的质量表示,有 65kg、75kg、150kg、250kg、500kg、750kg 等多种规格。

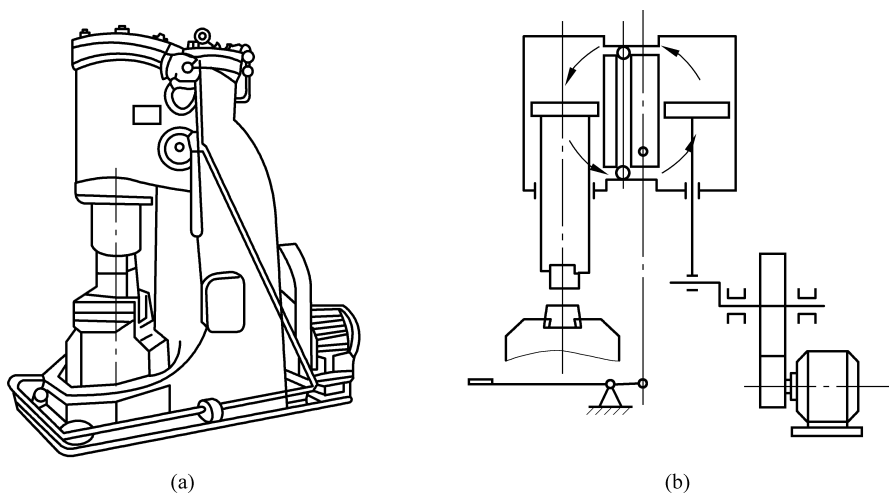


图 3-2 空气锤的结构和传动原理
(a) 空气锤结构; (b) 空气锤传动原理

空气锤的传动原理如图 3-2(b)所示。电动机通过减速装置带动曲柄连杆机构运动,使压缩气缸的压缩活塞上下运动,产生压缩空气。通过手柄或踏脚杆操纵上下旋阀,使其处于不同位置时,可使压缩空气进入工作气缸的上部或下部,推动由活塞、锤杆和上砧铁组成的落下部分上升或下降,完成各种打击动作。

通过控制旋阀与两个气缸之间的连通方式,可使空气锤产生提锤、连打、下压、空转等四种动作。

(1) 提锤 上阀通大气,下阀单向通工作气缸的下腔,使落下部分提升并停留在上方。

(2) 连打 上下阀均与压缩空气和工作气缸连通,压缩空气交替进入气缸的下腔和上腔,使落下部分上下运动,实现连续打击。

(3) 下压 下阀通大气,上阀单向通工作气缸的上腔,使落下部分压紧工件。

(4) 空转 上下阀均与大气相同,压缩空气排入大气中,落下部分靠自重停落在下砧铁上。

2) 自由锻工序

锻件的自由锻成型过程是通过一系列工序来完成的。根据变形性质和程度的不同,自由锻工序分为辅助工序、基本工序和精整工序三类。辅助工序是为便于基本工序的实施而使坯料预先产生少量变形的工序,如压肩、压痕等。精整工序是为修整锻件的尺寸和形状,校正弯曲和歪扭等目的而施加的工序,如滚圆、摔圆、平整、校直等。基本工序是改变坯料的形状和尺寸,实现锻件基本成型的工序,有镦粗、拔长、冲孔、弯曲、扭转和错移等。

(1) 镦粗

使毛坯垂直高度减小,横断面积增大的锻造工序称为镦粗,分全镦粗(图 3-3a)和半镦粗(图 3-3(b)),主要用来制造齿轮坯、凸缘等盘类锻件。

锻粗应注意的问题如下:

① 锻粗前,坯料表面不得有凹孔、裂纹等缺陷,否则锻粗会使缺陷扩大,若裂纹超过锻件的加工余量,将产生废品。

② 锻粗时,为防止坯料的纵向弯曲,坯料加热温度要均匀,端面须平整,且垂直于轴线。坯料的高径比(H/D)应小于 $0.25 \sim 3$ (图 3-3(a))。否则容易锻弯(图 3-3(c)),锻弯后可将坯料放倒,轻轻锤击加以校正(图 3-3(d))。操作时要夹紧坯料,以防飞出伤人。

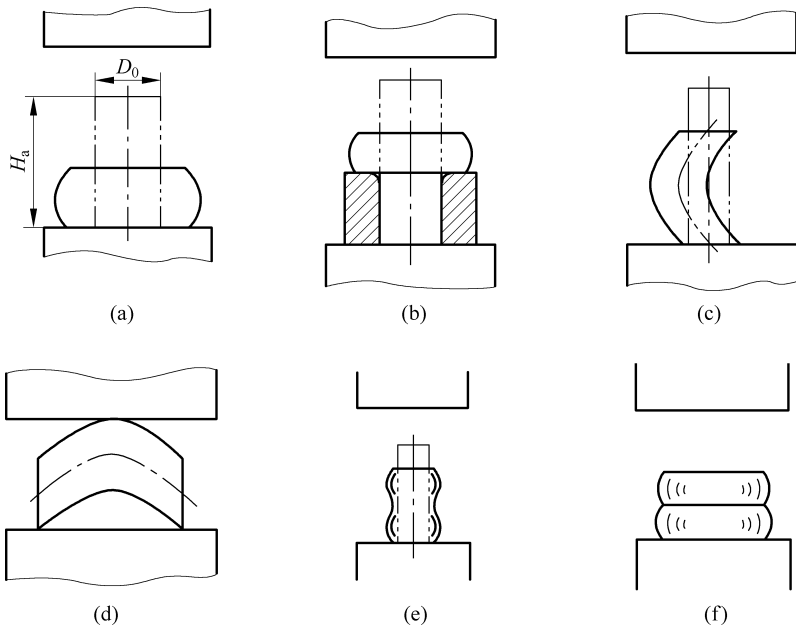


图 3-3 锻粗变形

(a) 全锻粗; (b) 局部锻粗; (c) 锻歪; (d) 锻歪校正; (e) 双鼓形; (f) 夹层

③ 锻粗时,若锤击力不足,或者坯料的高径比偏大,便容易产生双鼓形(图 3-3(e)),为此,对坯料要及时校形,通常是锻粗和校形交替反复进行,以防形成夹层(图 3-3(f))而报废。

(2) 拔长

使坯料的横截面面积减小,长度增加的工序称为拔长,主要用来制造曲轴、连杆等长轴类的锻件。拔长时注意的问题如下。

① 在平砧铁上拔长,可用反复左右翻转 90° 的方法顺序锻打(图 3-4(a))也可以沿轴线锻完一遍后,先翻转 180° 锻校直,然后再翻转 90° 顺次锻打(图 3-4(b))。后一种方法适用于大型锻件的拔长。

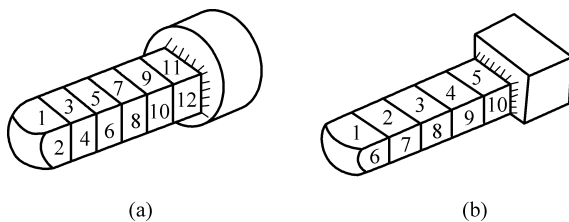


图 3-4 拔长锻打顺序

② 送进量须控制得当。坯料每次沿砧铁宽度方向的送进量为砧铁宽度的 30%~70% (图 3-5(a))。送进量大,坯料主要向宽度方向流动,展宽多,延长小,反而降低了拔长效率 (图 3-5(b)); 送进量过小,若小于单面压下量,便会产生夹层 (图 3-5(c))。

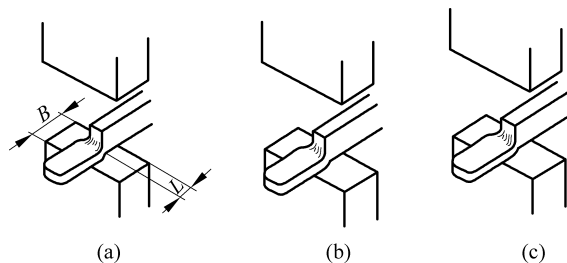


图 3-5 拔长送进量与拔长效率

(a) 送进量合适; (b) 送进量太大,拔长效率低; (c) 送进量太小,产生夹层

③ 坯料从大直径拔长到小直径时,应先以正方截面拔长到边长接近锻件直径时 (图 3-6),再倒棱角、滚圆校直。

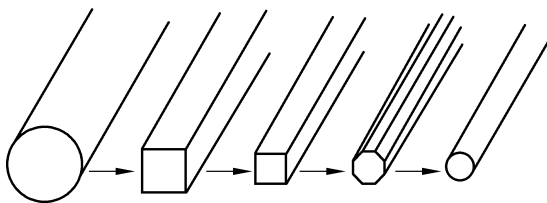


图 3-6 圆截面拔长

④ 每次锻打后,坯料的宽高比(b/h)应小于 2~2.5,否则翻转 90°再锻时容易产生弯曲。

⑤ 锻造有台阶或凹档的锻件,必须先在坯料上用圆棒压痕或用三角刀切肩 (图 3-7),然后再局部拔长。

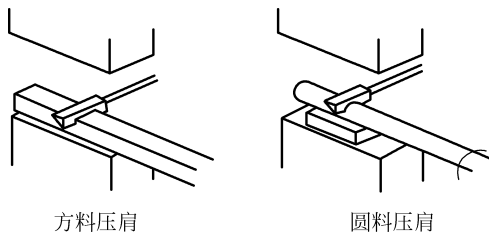


图 3-7 压肩

(3) 冲孔

在实体坯料上冲出透孔或不透孔的锻造工序称为冲孔,主要用来锻造齿轮、套筒、圆环等有孔的锻件。分单面冲孔和双面冲孔 (图 3-8)

冲孔时应注意的问题:

① 坯料加热要均匀,防止由于塑性变形不均而将孔冲歪。

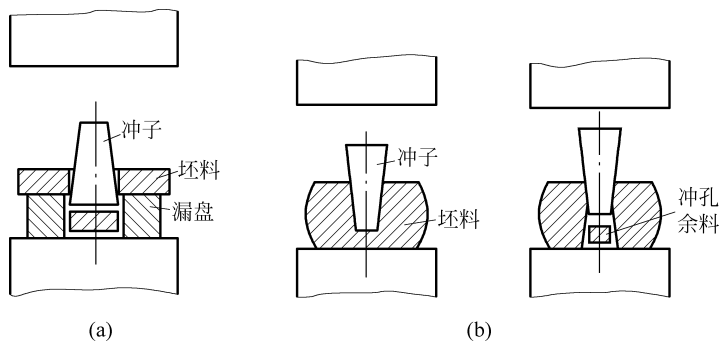


图 3-8 冲孔

(a) 单面冲孔；(b) 双面冲孔

② 冲头端面要平整且与中心线垂直,不得有裂纹,防止歪斜伤人。

③ 冲孔前先镦粗,以求坯料端面平整,并减小冲孔深度。

④ 冲孔时,先用冲头轻轻冲出孔位的凹痕,再检查孔位是否准确,若孔位准确方可深冲;为便于取出冲头,冲前向凹痕内撒些煤粉。

(4) 弯曲

弯曲是用一定的工模具将毛坯弯成所规定的外形的锻造工序。一般用来锻造吊钩、链环、U形叉等各种弯曲形状的锻件。弯曲的基本方法有角度弯曲和成型弯曲(图 3-9)。

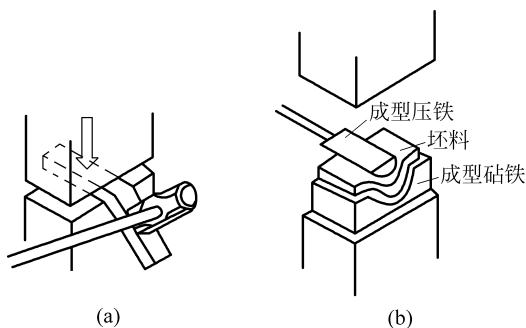


图 3-9 弯曲

(a) 角度弯曲；(b) 成型弯曲

(5) 切割

坯料分割开或部分割裂的工序叫切割。方形截面工件的切割如图 3-10(a)所示,先将剁刀垂直切入工件,至快断开时,将工件翻转,再用剁刀截断。切割圆形截面工件时,要将工件放在带有凹槽的剁砧中,边切割边旋转,操作方法如图 3-10(b)所示。

(6) 扭转

将坯料的一部分相对另一部分绕其轴线旋转一定角度的锻造工序,称为扭转。图 3-11所示的扭转方法,可使不在同一平面内的几部分组成的锻件(曲轴),先在一个平面内锻出,然后再扭转 to 所要求的位置,从而简化锻造操作。

(7) 错移

错移是将坯料的一部分相对另一部分错开,但仍保持轴线平行的成型方法,图 3-12 所

示为坯料的错移。

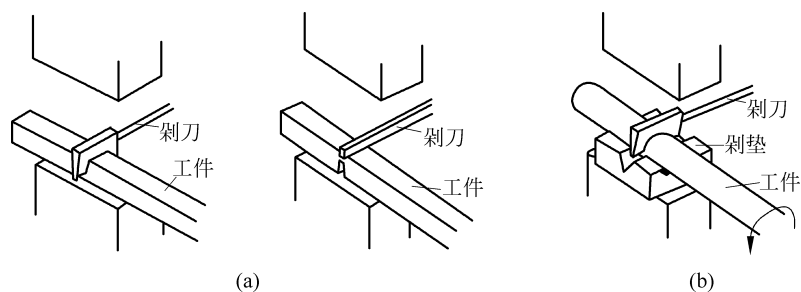


图 3-10 切割

(a) 方料切割; (b) 圆料切割

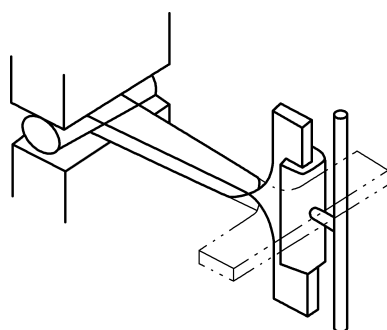


图 3-11 扭转

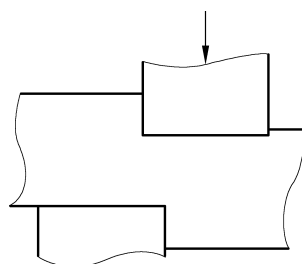


图 3-12 错移

3) 自由锻工艺示例

用自由锻方法生产零件的毛坯时,首先应设计自由锻工艺规程,锻造车间再根据工艺规程组织生产。工艺规程设计应从优质、高效、低耗的原则出发,尽量减少工序次数和合理安排工序的顺序,以缩短工时,提高质量,节约燃料和材料。自由锻生产如图 3-13 所示齿轮轴零件的毛坯时(45 号钢),工艺规程设计与步骤如下。

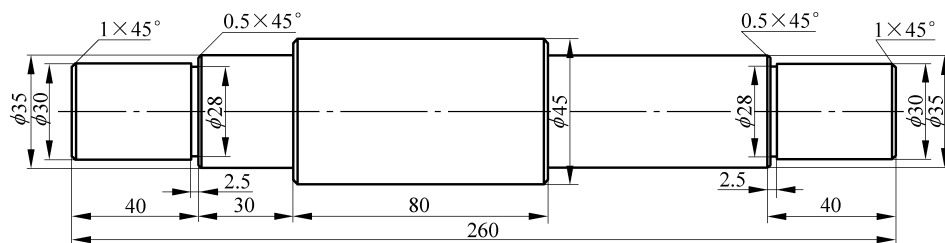


图 3-13 齿轮零件图

(1) 绘制锻件图

自由锻件图是在零件图的基础上考虑了敷料、加工余量和锻造公差等之后绘制的。

敷料是为简化锻件形状、便于进行锻造而增加的一部分材料,也称为余块。余量是为零件的加工表面上增加供切削加工用的材料,具体数值结合生产的实际条件查表确定。公差

是锻件名义尺寸的允许变动量,根据锻件形状、尺寸加以选取。

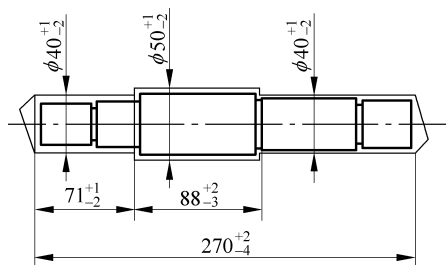


图 3-14 齿轮轴锻件图

锻件图上的双点画线表示零件图的轮廓形状,在各尺寸线下面的括号内标出零件的尺寸。齿轮轴锻件图如图 3-14 所示。

(2) 坯料质量计算

$$G_{\text{坯}} = G_{\text{锻件}} + G_{\text{烧损}} + G_{\text{料头}}$$

式中, $G_{\text{坯}}$ 为坯料质量; $G_{\text{锻件}}$ 为锻件质量; $G_{\text{烧损}}$ 为加热时坯料表面氧化而烧损的质量,第一次加热时取被加热金属的 2%~3%,以后各次加热取 1.5%~2%; $G_{\text{料头}}$ 为在锻造过程中冲切掉的金属

的质量,如冲孔时的料芯,修切时的料头等。

根据锻件图尺寸可计算出齿轮轴锻件体积,再根据材料的密度可计算出锻件的质量。加上料头和烧损的质量,就可计算出齿轮轴锻件坯料质量。

(3) 锻造比

坯料锻造前的横截面积和锻造后的横截面积之比,称为锻造比。为获得理想的组织性能,对不同的材料及材料状态须用不同的锻造比进行锻造。45 钢的合理锻造比一般应大于 1.5。

(4) 确定毛坯的尺寸

根据锻造过程的变形工序和锻造比可以确定毛坯的横截面积,再由毛坯的质量求得毛坯的尺寸。确定齿轮轴锻件坯料为 $\phi 50\text{mm}$ 、长度为 215mm 的圆钢。

(5) 确定锻造工序及设备

不同形状的锻件的锻造工序,一般应根据锻件形状和成型工序特点选择。齿轮轴锻件为带台阶轴类小型锻件,根据表 3-1 可确定齿轮轴自由锻生产时所需的锻造工序为压肩、拔长、摔圆等。中小型锻件一般采用空气锤锻造,大型锻件一般采用水压机锻造。齿轮轴锻件为小型锻件,可根据工厂设备情况选用 65kg、75kg 空气锤。

表 3-1 自由锻件类型及变形工序

锻件类别	图 例	锻造工序
盘类锻件		镦粗(或拔长及镦粗) 冲孔
轴类锻件		拔长(或镦粗及拔长),切肩和锻台阶
筒类锻件		镦粗(或拔长及镦粗),冲孔,在芯轴上拔长
环类件		镦粗(或拔长及镦粗),冲孔,在芯轴上扩孔