

# 金属塑性成形技术基础讲座

## 第三讲 自由锻造

贵州省贵阳探矿机械厂 (550003) 代金旭

贵州工业大学机械系 (贵阳 550003) 申荣华

金属塑性成形过程的选择和实施与材料、成形件的几何形状、过程的实施条件(压力、温度和速度等)密切相关。在机械制造中常用锻造方法来生产各类高强度、高韧度的毛坯或半成品。常用的锻造方法有自由锻、模锻和胎模锻造。

自由锻造是利用冲击力或压力使金属材料在上下两个砧铁或锤头与砧铁之间产生变形,从而获得所需形状、尺寸和力学性能的锻件的成形过程。

### 一、自由锻成形的过程特征

成形过程中坯料的整体或局部发生塑性成形,金属坯料在水平方向可自由流动,不受限制。自由锻要求被成形材料(黑色金属或有色金属)在成形温度下具有良好的塑性。自由锻锻件的形状取决于操作者的技术水平,但锻件质量不受限制。

自由锻可使用多种锻压设备(如空气锤、蒸气锤、电液锤、机械压力机和液压机等),锻造工具简单且通用性大,操作方便。但是,自由锻存在生产率低、金属损耗大和劳动条件较差等缺点。

经自由锻成形所获得的锻件,精度和表面品质差,故自由锻适用于形状简单的单件小批量毛坯成形,特别是重、大型锻件的生产。

### 二、自由锻成形过程

自由锻成形过程的流程如下:

零件图→绘制锻件图→  
 [计算坯料质量和尺寸、下料  
 确定工序、加热温度、设备等]→  
 加热坯料、锻打→检验→锻件

#### 1. 绘制锻件图

锻件图是以零件图为基础,结合自由锻的过程特征绘制的技术资料。一个零件的毛坯若是用自由锻生产,则应根据零件图中的零件形状和尺寸、技术要求、生产批量以及所具有的生产条件和能力,结合自由锻过程中的各种因素,用不同色彩的线条

直接绘制在图样上或用文字标注在图样上,这就得到了自由锻锻件图。绘制锻件图是进行自由锻生产必不可少的技术准备工作,锻件图是组织生产过程、制定操作规范、控制和检查产品品质的依据。

锻件图绘制时要考虑的因素:

(1) 敷料 敷料是为了简化锻件形状、便于锻造而增添的金属部分。由于自由锻只适宜于锻制形状简单的锻件,故对零件上一些较小的凹挡、台阶、凸肩、小孔、斜面和锥面等都应进行适当的简化,以减少锻造的困难,提高生产率。

(2) 加工余量 由于自由锻件的尺寸精度低、表面品质较差,需要再切削,所以应在零件的加工表面增加供切削加工用的金属部分,称为加工余量。锻件加工余量的大小与零件的形状、尺寸、加工精度和表面粗糙度等因素有关,通常自由锻件的加工余量为4~6mm。它与生产的设备、工装精度、加热的控制和操作技术水平有关,零件越大、形状越复杂,余量就越大。

(3) 锻件公差 锻件公差是锻件名义尺寸的允许变动量。因为锻造操作中掌握尺寸有一定困难,外加金属的氧化和收缩等原因,使锻件的实际尺寸总有一定的误差。自由锻件的公差一般为 $\pm 1 \sim \pm 2$ mm。自由锻件机加工余量和自由锻件公差的具体数值还可查锻造手册。

为了使锻造操作者了解零件的形状和尺寸,有些工厂或企业就直接在零件图上绘制锻件图;有些虽然另外绘制锻件图,但在锻件图上用双点划线画出零件主要轮廓形状,在锻件尺寸线下面用括弧标注出零件的名义尺寸。

例如,图1所示双联齿轮,批量为10件/月,材料为45钢。

该双联齿轮属小批量生产,故采用自由锻。但因 $\phi 25$ mm的孔放机加工余量后小于 $\phi 20$ mm,无法锻出(即用敷料),退刀槽用敷料,半径上机加工余量放3.5mm,高度上机加工余量放3mm,锻

件公差取 $\pm 1\text{mm}$ 。这样就得到图2所示的锻件图。

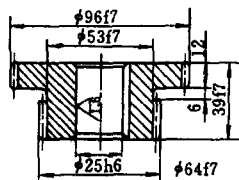


图1 双联齿轮

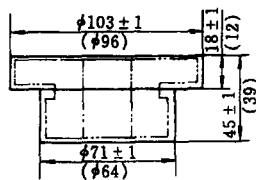


图2 双联齿轮锻件图

## 2. 坯料质量及尺寸的计算

坯料质量可按式计算：

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

式中  $G_{\text{坯料}}$ ——坯料质量，kg

$G_{\text{锻件}}$ ——锻件质量，kg

$G_{\text{烧损}}$ ——加热时坯料表面氧化烧损的质量（通常，第一次加热取被加热金属的2%~3%，以后各次加热取1.5%~2%），kg

$G_{\text{料头}}$ ——指在锻造中被切掉或冲掉的那部分金属质量（如用铸锭，例如钢锭时，则要考虑切掉钢锭头部和尾部的质量），kg

对于中、小型锻件，通常都是型材（使用最多的是圆钢），即可不考虑料头因素，上式简化为：

$$G_{\text{坯料}} = (1 + K) G_{\text{锻件}}$$

$K$ 是一个与锻件形状有关的系数。对于实心盘类锻件， $K=2\% \sim 3\%$ ；对于阶梯轴类锻件， $K=8\% \sim 10\%$ ；对于空心类锻件， $K=10\% \sim 12\%$ ；对于其他形状的锻件，可视其复杂程度参照上述三类锻件取 $K$ 值。

锻件的质量根据锻件的名义尺寸计算，即

$$G_{\text{坯料}} = \rho V_{\text{锻件}}$$

式中  $V_{\text{锻件}}$ ——锻件体积， $\text{mm}^3$

$\rho$ ——金属的密度， $\text{g/cm}^3$

在坯料质量求出后，则需计算坯料的尺寸。对于圆型材料（如圆钢）：

(1) 当锻造的第一工序为镦粗时，则

$$\text{坯料直径 } D = (0.8 \sim 1) \sqrt[3]{V_1}$$

式中  $V_1$ ——坯料的体积， $V_1 = G_1 / \rho$ （ $G_1$ 为坯料的重量）

$$\text{坯料的高度或长度 } H = V_1 / [\pi (D/2)^2]$$

且 $H$ 应满足： $1.25D \leq H \leq 2.5D$

这是因为在体积一定的情况下，坯料高度过

大，则直径较小，镦粗时易镦弯；而直径过大，则下料困难且锻造效果不好。

(2) 当锻件的第一工序为拔长时，则

$$A_1 > Y_{\text{锻}} A_{\text{max}}$$

式中  $A_1$ ——坯料的截面积， $\text{mm}^2$

$Y_{\text{锻}}$ ——锻造比，对于圆钢  $Y_{\text{锻}} = 1.3 \sim 1.5$

$A_{\text{max}}$ ——锻件的最大截面积， $\text{mm}^2$

坯料的直径  $D = 2 \sqrt{A_1 / \pi}$

坯料的长度  $L = V_1 / A_1$

要注意的是，圆钢直径的大小是有标准的，如 $\phi 25\text{mm}$ 、 $\phi 30\text{mm}$ 、 $\phi 35\text{mm}$ 、 $\phi 40\text{mm}$ 、……。当计算的坯料直径 $D$ 与圆钢标准直径不符时，则应将坯料直径就近取成圆钢直径，然后再重新计算坯料的高度 $H$ 或长度 $L$ 。

由于  $H/D = 83/65 = 1.277$ ，满足  $1.25D \leq H \leq 2.5D$ ，因此，该锻件的坯料尺寸为 $\phi 65\text{mm} \times 83\text{mm}$ ，质量为2.1kg。

## 3. 选择锻造工序，确定锻造温度和冷却规范

(1) 选择锻造工序 自由锻中可进行的工序较多，通常分为基本工序、辅助工序和精整工序。

自由锻的基本工序是使坯料产生一定程序的热变形，逐渐形成锻件所需形状和尺寸的过程。基本工序有镦粗、拔长、冲孔、切割、弯扭和错移等。

辅助工序是为基本工序操作方便而进行的预先变形工序，如压肩、倒棱等。

精整工序是用以改善锻件表面品质而进行的工序，如整形、清除表面氧化皮等。精整工序用于要求较高的锻件，且在终锻温度以后进行。

选择自由锻，是根据锻件形状和要求来确定的。对一般锻件的大致分类及所采用的工序见表1。

(2) 锻造温度范围及加热冷却规范 金属的锻造是在一定温度范围内进行的。一些常用金属材料的锻造温度范围见表2。

为缩短加热时间，对塑性良好的中小型低碳钢坯料，可把冷的坯料直接送入高温的加热炉中，尽快加热到始锻温度。这样不仅可提高生产率，而且可以减少坯料的氧化和钢的表面脱碳，并防止过热。但快速加热会使坯料产生较大的热应力，甚至可能会导致内部裂纹。因此，对热导率和塑性较低的大型合金钢坯料，常采用分段加热，即先将坯料随炉升温至 $800^\circ\text{C}$ 左右，并适当保温以待坯料内部组织和内外温度均匀。然后再快速升温至始锻温度并在

此温度下保温,待坯料内外温度均匀后出炉锻造。

表1 锻件分类及锻造用工序

锻件类别	图例	锻造用工序
盘类锻件		锻粗、冲孔、压肩、整修
轴及杆类锻件		拔长、压肩、整修
筒及环类锻件		锻粗、冲孔、在芯轴上拔长(或扩孔)、整修
弯曲类锻件		拔长、弯曲
曲拐轴类锻件		拔长、分锻、错移、整修
其他复杂锻件		拔长、分锻、锻粗、冲孔、整修

表2 锻造温度范围

合金种类	始锻温度/℃	终锻温度/℃
碳素钢:	15, 25, 30	1200~1250
	35, 40, 45	1200
	60, 65, T8	1100
	T10	800
合金钢: 低合金工具钢	合金结构钢	1150~1200
	高速钢	1100~1150
	合金钢: 低合金工具钢	1100~1150
有色金属: H68	硬铝	850
	硬铝	470
		700
		380

锻造后的锻件冷却也必须注意。锻好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,锻件表里冷却收缩不一致,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。锻件冷却方式常用下列三种:①直接在空气中冷却(简称空冷)。此法多用于 $w_c \leq 0.5\%$ 的碳钢和 $w_c \leq 0.3\%$ 的低合金钢中小锻件。②在炉灰或干砂中缓冷。多用于中碳钢、高碳钢和大多数低合金钢的中型锻件。③随炉缓冷。锻后随即将锻件放入 $500 \sim 700^\circ\text{C}$ 的炉中随炉缓冷,多用于中碳钢和低合金钢的大型锻件以及高合金钢的重要锻件。

#### 4. 自由锻典型过程举例

盘类锻件的锻造过程,如前所述双联齿轮锻件

(见图2)的锻造过程,可参见表3。

表3 双联齿轮自由锻过程

			锻件图
锻件名称: 双联齿轮 坯料质量: 2.1kg 坯料规格: $\phi 65\text{mm} \times 83\text{mm}$ 锻件材料: 45钢 锻造设备: 150kg 空气锤			
火次	温度	操作说明	简图
1	1200~800℃	锻粗	
		压肩	
		拔长、打圆	

其锻造温度范围可参见表2所示的常用金属材料锻造温度范围,或者查锻造手册。

中、小型自由锻件所采用的锻造设备主要是空气锤。空气锤吨位的选择见表4或查锻造手册。

表4

锤的吨位/t	150	250	400	560
锻件质量/kg	6	10	26	40

#### 5. 自由锻件结构技术特征

锻造一般是固态成形的生产过程,由于受材料本身的塑性和外力的限制,加之自由锻过程的特点,其几何形状受到很大限制。因此,在保证使用性能的前提下,为简化锻造过程、保证锻件品质、提高生产率,在零件结构设计时应尽量满足自由锻的技术特征要求。

在零件结构设计时注意以下原则:

(1) 自由锻件应避免锥体、曲线或曲面交接以及椭圆形、工字形截面等结构。因为锻造这些结构须制备专用工具,锻件成形也比较困难,使锻造过程复杂,操作极不方便。

(2) 自由锻件应避免加强筋、凸台等结构。因为这些结构难以用自由锻获得。若采用特殊工具或技术措施来生产,必将增加成本,降低生产率。

(3) 当锻件的横截面有急剧变化或形状较复杂时,可采用特别的技术措施或工具;或者将其设计成几个简单件构成的组合件,锻造后再用焊接或机械连接方法将其连成整体件。(待续)(20011208)