

现代模具设计、制造、 调试与维修实用手册



金版电子出版公司

第一章 锻压模设计基础

在锻压生产中,将金属毛坯加热到一定温度后,放在模膛内,利用锻锤压力使其发生塑性变动,充满模膛后形成与模膛相仿的制品零件,这种专用工具称为锻模。

锻模是锻压生产中的主要工具,是机械制造中制造毛坯或零件的不可缺少的专用工装之一。采用锻模生产的锻件,可减少金属机械加工余量,从而提高材料的利用率,缩短工件的制造周期,操作容易、成本低,效率高,有较好的经济效益。

经模锻的工件,可获得良好的纤维组织,并且可以保证 IT7 ~ IT9 级精度等级。有利于实现专业化和机械化生产。

第一节 锻模的分类

锻模的分类见表 4-1-1。

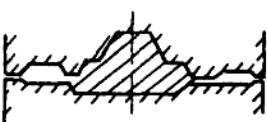
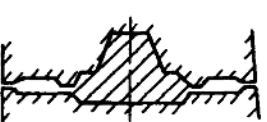
表 4-1-1 锻模的分类

项 号	分 类 方 法	模 具 名 称	应 用 范 围
1	按模锻设备分类	1. 模锻锤用锻模 2. 摩擦压力机用锻模 3. 自由锻锤用固定锻模及不固定锻模(胎模)	—
2	按工艺用途分类	1. 模锻用锻模 2. 切边、冲孔锻模	用于成品锻件 用于切除飞边及穿孔
3	按有无飞边分类	1. 开式模锻用锻模 2. 闭式模锻用锻模	各种锻件 轴对称回转体锻件
4	按模腔数量分类	1. 单腔锻模 2. 多腔锻模	用于胎模锻和摩擦压力机模锻 多用于锤上模锻

第二节 模锻的变形过程

材料在模锻时的变形过程见表 4-1-2。

表 4-1-2 模锻变形过程

序号	变 形 过 程	简 图	变 形 状 况
第一 阶段	锻粗阶段		最初几次锻击时,金属在外力作用下产生塑性变形。毛坯的高度减小,水平方向加大,部分金属压入模膛深处。这段变形力不大
第二 阶段	形成飞边及充满阶段		继续锻造时,形成飞边,变形力增大。随着飞边变薄和温度下降,阻力加大,金属向模膛圆角和深处流动,直到充满为止
第三 阶段	锻足阶段		充满模膛后,还需继续锻打,使其锻足。这时变形发生在分模面附近,变形力急剧增大

第三节 锻模结构特点

一、锻模各部分名称

锻模各部分名称见表 4-1-3。

表 4-1-3

锻模各部分名称

图 示	工作面	名称	工作面	名称
	A B C D	端 面 侧 面 分 模 承 重 面	E G J	模 腔 起 重 燕 尾

二、锤锻模结构特点

锤锻模结构与特点见表 4-1-4。

表 4-1-4

锤锻模结构特点

[illegible]

三、胎模结构特点

胎模结构特点见表 4-1-5。

表 4-1-5

胎模结构、特点

序号	模具名称	简 图	特 点 及 应 用
1	摔 模		模具由上、下摔及摔把组成。锻造时锻件不断旋转进行锻压。锻件一般不产生毛刺及飞边。但操作时间长,生产率低 主要用于圆轴、杆叉类锻件
2	扣 模		模具由上、下扣或仅有下扣(上扣为锤砧)构成。操作时,锻件在扣模中不翻转。变形量小、生产率低 主要用于杆叉类锻件
3	弯 模		模具由上模下模组成。主要用于弯杆类锻件
4	套 模		模具由模套、模冲、模垫组成。模冲进入模套形成封闭空间,是一种无飞边封闭式模 主要用于圆轴、圆盘类锻件
5	垫 模		垫模只有下模没有上模(上模为上锤砧)。锻造时,上锤不断抬起,金属冷却较慢,生产效率较高 主要用于圆轴、圆套及法兰盘锻件

序号	模具名称	简 图	特 点 及 应 用
6	合 模		模具由上、下模及导向装置构成。锻造终了,在分模面上形成模向飞边,是有飞边的开式模 模具通用性强、寿命长、生产率高 用于杆叉类零件锻造
7	漏 模		模具由冲头、凹模及定位、导向装置构成,主要用锤子切飞边,冲连孔等工序

四、摩擦压力机锻模

1. 结构特点

- (1) 锻模可以采用组合结构。
- (2) 上、下模块(镶块)固定在上、下模座上,而上、下模座则用 T 形螺栓或压板分别安装在滑块底面和工作台上。
- (3) 锻模内设有下顶出装置。
- (4) 多为单腔锻模。
- (5) 多设有导向装置。

2. 模具结构

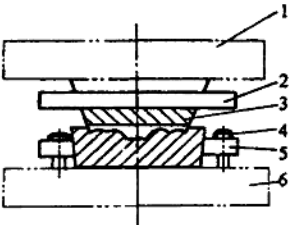
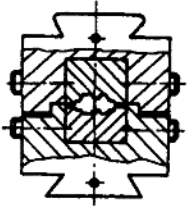
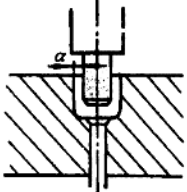
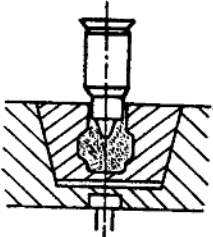
摩擦压力机锻模结构见表 4-1-6。

表 4-1-6

摩擦压力机锻模结构

项号	锻模名称	简 图	模 具 要 点
1	开式 锻模 整体式		模具通过燕尾槽固定在模座上,用导销定位。一般用于较大制品模锻

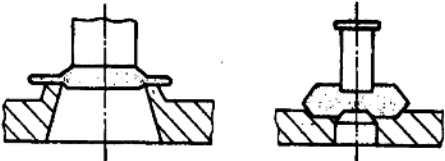
第四篇 锻压模设计

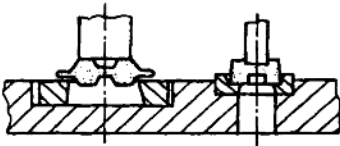
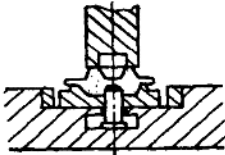
项号	锻模名称	简 图	模 具 要 点
1	开式锻模		模具上、下模用压圈 2、5 通过螺钉 4 紧固在上、下垫板 1、6 上。用于需要顶出杆的锻模
	螺钉紧固式		模具用螺钉紧固镶块。但易于松动,多用于小型模锻
2	闭式锻模		凸、凹模应有一定间隙
	拼分式		模具由两块凹模和凸模组成。生产时,两半凹模接合面应紧密接触,表面粗糙度在 $R_a 0.4$ 以下,凹模与模套采用锥度配合,凹模底面与模套底面要有一定间隙

五、切边模

切边(冲孔)模结构见表 4-1-7。

表 4-1-7 切边(冲孔)模结构

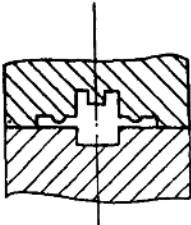
序号	模具名称	简 图	模 具 要 点
1	简单模		模具由凸、凹模组成。切边时,凸模起传力作用,凹模刃口起切割飞边作用。冲孔时即起传力作用又起刃口作用

序号	模具名称	简 图	模 具 要 点
2	连续模		在压力机一次行程下,即冲孔又切边,生产率高于简单模,但制造复杂
3	复合模		在压力机一次行程中,在同一个位置上同时完成切边冲孔。结构复杂但精度高于连续模

六、开式锻模与闭式锻模

开式锻模与闭式锻模的结构、特点及应用范围见表 4-1-8。

表 4-1-8 开式与闭式锻模

图 示	结 构 特 点	应 用 范 围
 开式锻模	在锻模上设有垂直于打击方向的飞边槽,在锻打时,可以容纳多余的金属,对调节坯料的体积有较好的作用。并且对下料、制坯、加热、操作定位要求较低,制品零件质量好,容易充满模膛	可锻造各式各样的锻件,是最广泛的一种锻模结构

第四节 锻造时金属的成形

一、塑性条件

锻件的成形问题,实质上是金属坯料的塑性流动问题。在锻模模膛内的金属坯料受到模膛内表面的正压力和摩擦力以及各种附加应力的作用,受力状态复杂,其应力是一个随空间和时间变化的函数。要使金属坯料发生塑性变形,在滑移面上切应力必须符合塑性条件:

$$\tau = \sigma'_s/2$$

或 $(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2(\sigma'_s)^2$

这里 σ'_s 是指在变形温度下金属的抗力,即所谓“真实抗力”,可在资料或金属抗力图上查取。

因为坯料形状和锻模模膛形状不同,各处接触情况不同,锻模内坯料各部分所受外力不同,应力亦不同。变形首先发生在已符合塑性条件的区域,这样的区域称为塑变区。其余区域称为弹性区或刚性区。随着时间变化,金属坯料的形状发生了改变,它和模膛接触情况在变化,外力和应力都在变化。所以塑变区和其余区域的界线在模锻过程中是在变化的。

在塑变区和其余区域界线附近,由于两种区域变形量不同而存在附加应力。这种附加应力总是成对出现,其中的拉应力往往是金属坯料在锻造时发生塑性破裂的原因。

二、塑变图

图 4-1-1 是圆柱体坯料在平砧上自由锻粗时坯料剖面内塑变区的分布图。圆柱体的变形可分为三个不同的区域。第 I 区为坯料两端与上、下锤砧相接触的圆锥体。其表层受到锤砧表面摩擦阻力作用变形十分困难,是弹性区或刚性区。II 区在坯料中心,受接触摩擦力影响很小,主要受垂直方向锻压力的作用金属由四角向上、下端流动,是剧烈变形区。III 区是圆柱侧面所围成的厚度不等的圆环形。其外侧是自由表面,受端面摩擦力影响较小。随着 II 区坯料不断变形,III 区直径也逐渐扩大呈现鼓形,其变形量在 I 区和 II 区之间,又称小变形区。III 区受到 II 区胀大时引起切向拉应力,锻粗操作不当会造成圆柱侧面纵向裂纹。综上所述,主要塑变区是 II 区。它和 I 区分界面上作用有正应力和切应力。这些应力沿分界面积分总和的垂直分量是理论锻造力。

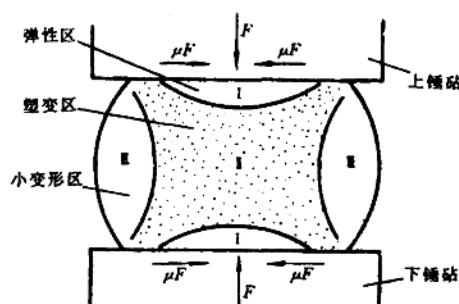


图 4-1-1 圆柱体坯料锻粗时塑变图

图 4-1-2 是高度和直径比例不同的圆柱体坯料在同一平砧上自由锻粗时的塑

变图。当原始高度 H_0 和原始直径 D_0 之比在 $2.5 \sim 1.5$ 之间时,出现双鼓形。I、II、III区如前述,IV区为中心均匀变形区。II区和IV区为塑变区。当镦粗到 $H/D = 1$ 时双鼓形变为单鼓形。

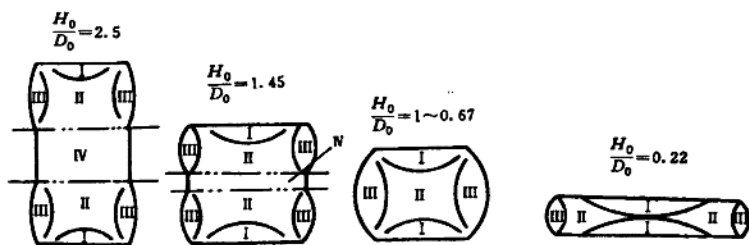


图 4-1-2 不同比例圆柱体的塑变图

图 4-1-3 是终锻模膛内飞边已形成时的塑变图。

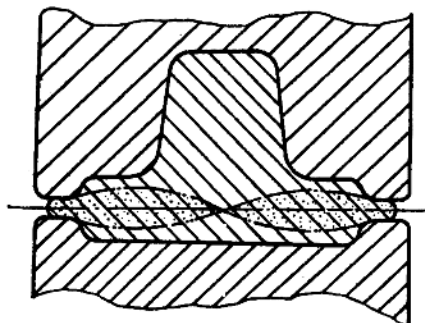


图 4-1-3 模锻件终锻时塑变图

三、最小阻力定律

如果物体在变形过程中其质点有向各种方向移动的可能性时,则物体各质点将向着阻力最小的方向移动。这是最小阻力定律。坯料塑性流动的阻力主要来自两个方面,一是工具或锻模带来的正应力和摩擦阻力;二是非塑变区对塑变区的附加应力。

分析方坯料在平砧上自由镦粗的情况,设方坯料与平砧接触面上各个方向摩擦系数都相同。以截面上质点 A 为例,它沿着周边法线方向流动路程最短,摩擦阻力最小。如图 4-1-4 所示,各质点都将沿着图示箭头方向流动,方截面逐渐变为圆截面。

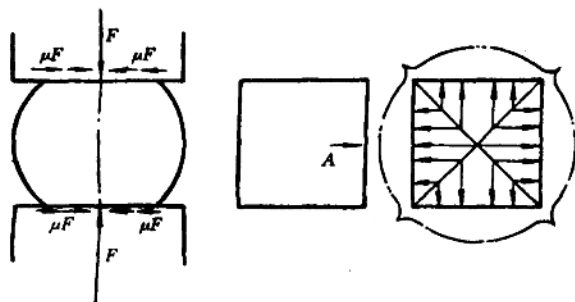


图 4-1-4 方坯料在平砧上锻粗

图 4-1-5 所示是圆截面坯料在圆形或 V 形砧内拔长时受力和变形情况。由于坯料受到侧向阻力,金属横向流动困难,被压下的金属就沿轴向流动使坯料变长。在设计制坯锻模模膛时采用闭式拔长和闭式滚压,就是利用这一原理来提高劳动生产率。

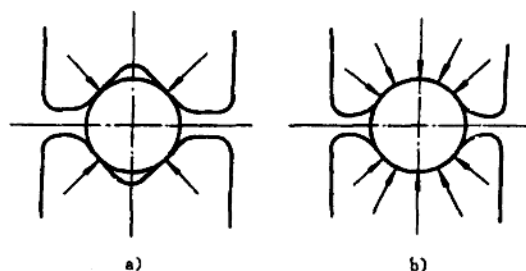


图 4-1-5 坯料在圆形或 V 形砧内拔长

a) V 形 b) 圆形

金属坯料塑性流动还受到冷却快区域金属的阻力。锻模设计很重要的一个内容就是飞边槽设计。由于飞边槽桥部金属很薄,冷却快,变形抗力上升,改变了金属的流动方向,迫使金属充满锻模模膛(如图 4-1-3 所示)。

四、锻造工艺的基本工序和工步

一般情况下锻件生产流程为:备料——加热——锻造工序——后续工序。

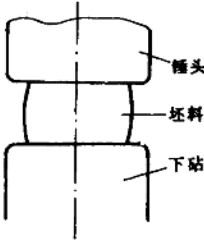
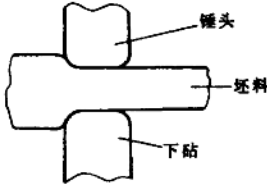
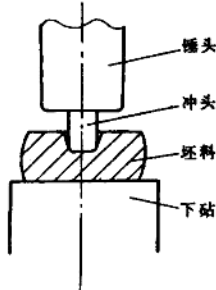
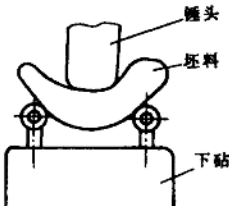
锻造工序按加工方法的不同,又可分为自由锻工序、胎模锻工序和模锻工序。利用锻造设备的上、下砧和简单的通用工具使坯料在压力下产生塑性变形的锻造方法,称为自由锻工序。自由锻工序对锻造设备要求低,通常在自由锻锤上进行,因此锻件精度低。

利用简单的可移动模具,在自由锻锤上锻造,称为胎模锻工序。它通常用于批量不大、精度要求不高的锻件生产。

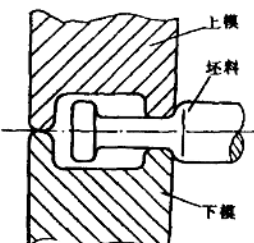
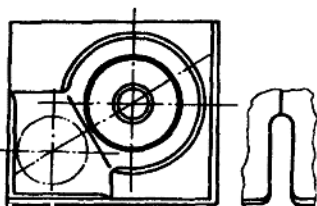
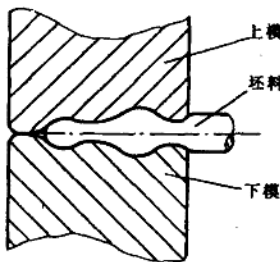
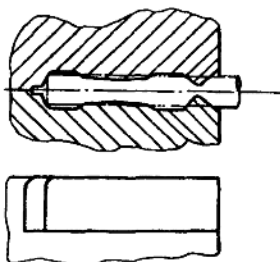
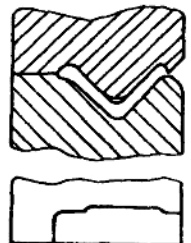
利用专门的锻模固定在模锻设备上使坯料变形而获得锻件的锻造方法称为模锻工序。生产中模锻工序往往又要分成好几个工步来逐步实现。工步是在锻造加工时采用一种模具在锻造设备一次或多次动作下,使坯料产生一种方式的变形并获得一定的外观变形量的步骤。如汽车发动机上连杆锻件在锤上模锻时,就要经过拔长、滚压、预锻、终锻四个工步。

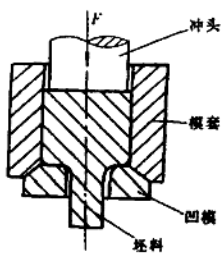
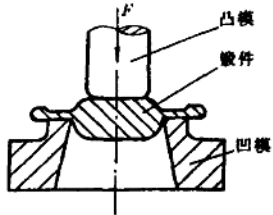
目前生产中所用锻造工序和工步名称很多。除按加工方法不同区分外,还可以按成形特点命名,如镦粗工序、拔长工序、弯曲工序等。表4-1-9只列举其中常见的一部分。

表 4-1-9 常用锻造工序及工步举例

分类	序号	名称	加工示意图	成形特点说明
自由锻工序	1	镦粗工序		把坯料沿轴向压缩,使坯料横截面增大,轴向长度缩小
	2	拔长工序		使坯料在送进过程中横截面缩小,沿轴向长度增加
	3	冲孔工序		在轴向高度不大的盘形坯料上冲出大于25mm的孔
	4	弯曲工序		将坯料中心轴线压弯成所需的角度和形状

第四篇 锻压模设计

分类	序号	名称	加工示意图	成形特点说明
模 锻 工 序	1	拔长 制坯 工步		利用锻模模膛,同时操作坯料,一面翻转,一面送进,使坯料长度增加,截面积减小。一般要多次连续锻打才能完成。有去除氧化皮功能
	2	压扁 (锻粗) 制坯 工步		利用锻模上压扁平台或锻粗台,在锻造力作用下,使坯料截面积增大高度减小。锻造力与坯料轴线垂直,称压扁制坯工步;锻造力与坯料轴线一致称锻粗制坯工步
	3	滚压 制坯 工步		利用锻模模膛,同时操作坯料不断翻转,在多次连续锻打下,使坯料一处截面积增大,另一处截面积减小,起聚料作用,同时有滚光和去除氧化皮功能
	4	卡压 制坯 工步		又称压肩制坯工步。坯料在锻模模膛中只受锻压力一次作用,使高度减小宽度增加,有少量聚料作用
	5	弯曲 工步		利用模具使坯料轴线弯曲成形

分类	序号	名称	加工示意图	成形特点说明
模锻 工序	6	挤压工步		坯料放在锻模内,在冲头压力下挤压成形。又分正挤、反挤、复合挤、径向挤等。图示为正挤
	7	预锻工步		使制坯后的中间坯料进一步变形,使它更接近锻件形状,以改善坯料在终锻时流动条件,避免产生充填不满和折叠,并提高终锻模膛的寿命
	8	终锻工步		使坯料在终锻模膛中最终成形,生产出符合锻件图要求的锻件
后续 工序	1	切边 (冲孔) 工序		利用切边或冲孔模在压力机上切除飞边或冲孔连皮,使锻件符合锻件图的要求
	2	热处理 工序		按图样要求进行退火或调质等热处理;有要求的还要进行喷丸,酸洗等表面处理
	3	校正 工序		为消除锻件在锻后产生的弯曲、扭转等变形,使之符合锻件图技术要求而进行的修整工序称为校正
	4	精压 工序		是利用平板或模具对锻件进行少量压缩以达到高的精度(形状和尺寸)和细的表面粗糙度的一种工序

第二章 锻压工艺设计

第一节 锻模设计步骤

一、设计锻件图。根据制件图、锻件精度、和其他生产条件,确定分模面、加工余量及公差、模锻斜度、圆角半径,设计冲孔连皮。绘出锻件图后计算锻件基本参数:在垂直于锻压力平面上的投影面积 A' ,分模面周边长度 L_0 ,锻件体积 V_0 和锻件质量 m_0 。

二、设计终锻模膛。在锻件图基础上根据锻件收缩率绘出热锻件图,热锻件图就是终锻模膛加工图。然后设计钳口和飞边槽,有预锻工步时还需设计预锻模膛。

三、确定模锻设备吨位。按终锻工步计算锻压力,确定模锻设备类型及吨位并校核飞边槽设计;重新计算包括飞边槽桥部在内的投影面积 A ,包括飞边槽考虑了充满系数(通常取 50% 飞边仓)后的总体积 V 和锻件总质量 m 。

四、设计制坯模膛。圆盘类锻件比较简单,长轴类锻件还要绘制计算毛坯图确定制坯工步。

五、根据制坯模膛的要求,确定原材料规格,根据坯料总体积和加热中的损耗及工艺余块、料夹头等确定下料长度。

六、绘出锻模装配总图,给出锻模技术条件,再绘制锻模零件图。

第二节 锻件图设计

锻件图分冷锻件图和热锻件图。冷锻件图是去除飞边和冲孔连皮后的锻件图,用于最终锻件检验。热锻件图用于终锻模膛设计。冷锻件图又称锻件图。设计锻件图要经过确定分模面、加工余量及公差、模件斜度、圆角半径及设计冲孔连皮、绘制锻

件图等步骤。

一、确定分模面

(一)分模面与分模线

锻模的分模面是指上下模的分界面。分模轮廓线是指终锻模膛与分边交接处所构成的轮廓线;也可理解为终锻模膛分模面与锻件轮廓的交线。分模轮廓线在视图平面上的投影称为分模线。锻件图上分模面是用分模线来表达的,见图4-2-1,分模线用点划线绘制。

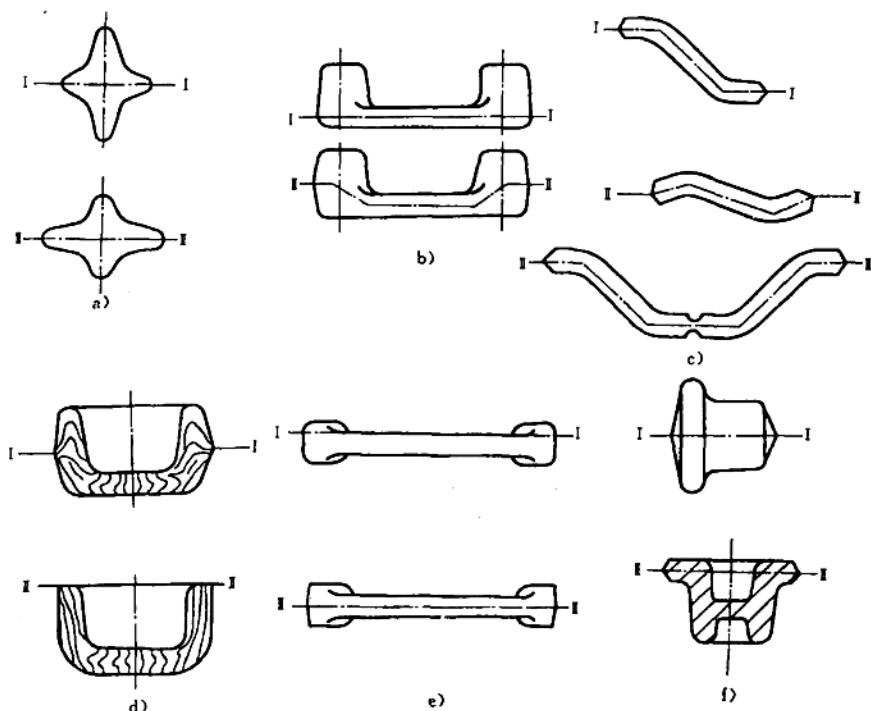


图4-2-1 合理确定分模面

a)容易脱模 b)成形良好 c)平稳侧压力 d)保证承力面强度 e)便于检查错移 f)利于锻模制造

(二)确定分模面的原则

1. 容易脱模 必须保证锻件沿打击方向从锻模中顺利取出,是确定分模面的最根本原则。通常把分模面选在最大水平投影面位置。见图4-2-1a,沿II—II线分模比I—I线容易脱模。有时还把复杂形状放在上模,这是因为锤打击的惯性作用,坯料对上模的充填能力比下模好,并可利用锻件自重使脱模容易。

2. 成形良好 坯料在锻模模膛受压后,充填水平方向比较容易,充填模膛深度方

向比较困难。即压入成形不易获得成形良好的锻件。见图 4-2-1b, 头部较大的长轴类锻件, 不宜按 I—I 直线分模, 应以 II-II 对称折线分模, 使上下模模膛深度大致相等, 锻件头部尖角处才能成形饱满。

3. 平衡侧压力 为防止锻模在侧压力作用下错移, 应避免落差不对称分模(图 4-2-1c 中 I—I)。应尽量采用同一平面, 或两件对接以平衡侧压力, 见图 4-2-1c 中 II-II 线分模。

4. 保证承力面强度 锻件重要承受剪切应力面, 不宜作分模面。见图 4-2-1d, 若按 I—I 分模, 在分模面周围设计有飞边槽, 坯料流线呈水平分布, 加上加除飞边时造成的微裂纹都会降低锻件强度, 应按 II-II 分模。

5. 便于检查错移 见图 4-2-1e, 分模面应选在锻件侧面的中部 II-II 处, 若选在 I-I 处不易发现上下模错移。对锻件上有相对位置要求的部位应尽量在一个模块内成形。

6. 简化锻模制造 对于高度小于直径的圆盘类锻件, 一般采用径向分模(图 4-2-1f II-II)而不采用轴向分模(图 4-2-1f I-I)。径向分模使锻模模膛及切边模均匀为圆形, 便于加工。

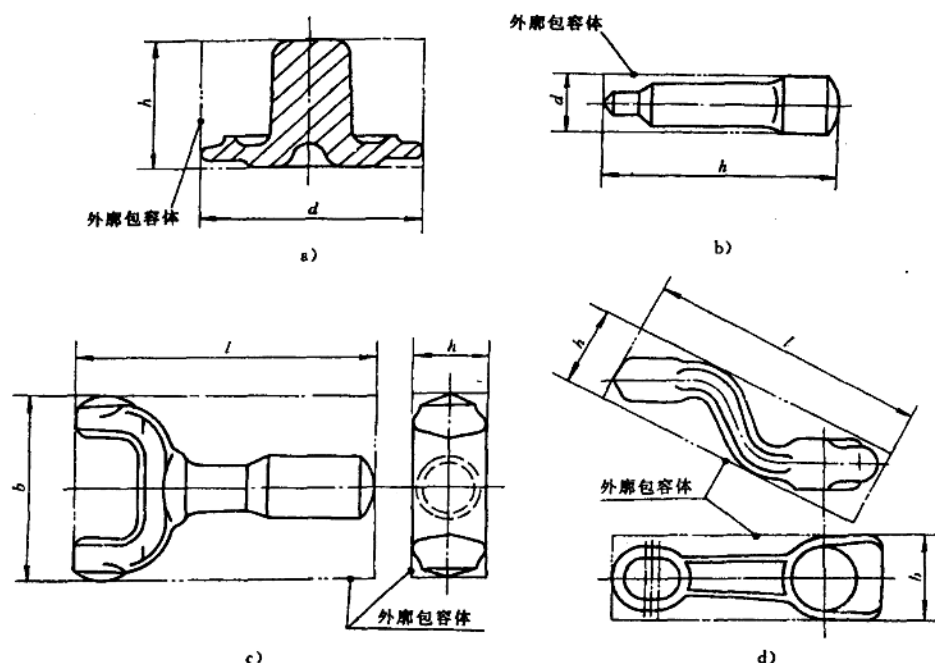


图 4-2-2 锻件外廓包容体

a)、b)圆柱形 c)、d)长方形