

粉末热锻模具设计

李念辛

(武汉工学院)

[摘要] 围绕粉末烧结体锻造变形的特点，讨论了粉末锻造模具设计的若干问题，并对一些粉末锻造模具进行了分析。

粉末锻造是粉末冶金与精密锻造工艺的结合。致密钢精锻主要是解决成形问题，而粉末锻造则要解决成形与变形两个问题，因此问题比较复杂，而模具设计是粉末锻造工艺的关键。

本文拟讨论粉末锻造模具设计的若干问题，并分析一些模具的结构。

一、粉末锻造方式

热复压、闭式模锻和开式模锻是粉末锻造的三种基本方法，需根据锻件的尺寸和形状进行选择。

1. 粉末锻件分类

根据其几何形状可将其分为两大类：①长轴类锻件，其主轴线方向的尺寸比其他两个方向尺寸大很多，如连杆、刀杆等；②短轴类锻件，其主轴线方向的尺寸与其他两个方向的尺寸差不多。如各种齿轮、法兰和平面凸轮等。

长轴类锻件模锻时，金属沿横断面的流动阻力比轴向的要小很多。变形时，金属在高度和宽度方向流动，仅两端及截面突变处有轴向流动。一般可以将锻件沿轴线划分为几个简单的几何体，分别考虑它们的变形特点。例如，可以将连杆划分为一个长轴杆件、一个圆环和一个圆柱体的组合。

根据锻件在垂直锻击方向的各横截面积

是否相同，又可将其分为等高件与非等高件，如刀杆、平面凸轮和正齿轮等为等高件，连杆、法兰等为非等高件。

2. 锻造方式的选择

等高件预制坯的成形性很好，可成形复杂形状的周边。如各种筒形件、圆柱直齿轮、平面凸轮、刀杆等。由于锻造时不存在分模问题，可采用热复压和闭式模锻两种方式。锻后需采用强制方式脱模，以克服坯件与模具侧壁的摩擦。

非等高件的压制模具与压制操作都较复杂。从压制工艺性出发，往往需要设计成简单形状的预制坯，在粉末锻造时依靠金属的塑性流动而成形，其成形宜采用闭式或开式模锻两种方式。如凸肩高度不高的法兰、齿轮的齿形等。

对于主体部分为等高件，而且压入成形部分相对高度不大的锻件，如凸肩的高宽比 $b/b \leq 1$ 的法兰件；或者高宽比稍大，但斜度大或圆角大的件，如齿轮的齿形部分，其压入成形部分可在上下压头内成形，但仍可采用闭式模锻方式（如图1）。一般，锻后也需采用强制方式脱模。

若非等高件需在最大截面处分模以取出锻件时，组合锻模需采用强制合模机构以保证锻造时可靠封模，再实现闭式模锻，得到无飞边锻件，如图2所示的伞齿轮模具。也

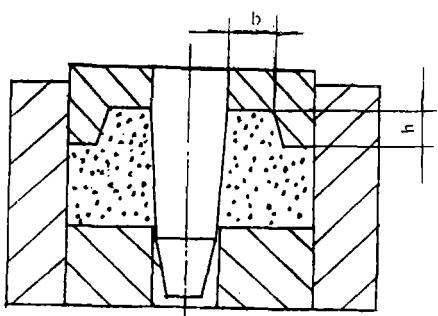


图1 法兰件闭式模锻

可采用开式模锻，得到小飞边的锻件（见下文实例分析）。

3. 小飞边开式模锻

一般认为，粉末锻造为精锻成形，应尽量避免产生飞边。但对某些锻件（如伞齿轮）产生小飞边是有好处的：①小飞边一般留在最大截面处，即锻件最后充满的地方，保证了锻件的充满；②小飞边可以调节由于铁粉的工艺损耗、加热损耗所造成的重量误差。而且小飞边对金属流动所造成的阻力很大，不影响锻件的致密化；③改善凹模受力状况，延长模具寿命；④小飞边易于用机加工方法清除。

我们的实践证明，采用小飞边模锻粉末锻造轧钢辊道伞齿轮，材料利用率可达90%以上，密度可达96%以上。

二、模具型腔设计

根据制品的尺寸和形状设计锻件图的过程，即为模具型腔设计的过程。锻件图分冷、热锻件图两种。冷锻件图用于最终锻件的检验，热锻件图考虑了收缩量，因此确定了模具型腔的尺寸和形状。

精锻模具必须保证主要精锻表面的精确成形，设计时要考虑由于烧结体的密度低、塑性差，而容易开裂的特点，同时要以主要精锻表面为基准，考虑组合模具对锻件精度的影响，合理确定其他表面的余量和公差。

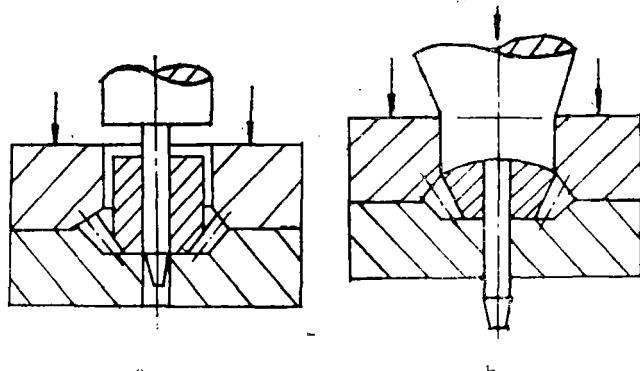


图2 伞齿轮闭式模锻

I. 模锻工艺参数的确定

(1) 斜度

致密钢模锻设计斜度是为了脱模，而对粉末锻造则不是主要问题。

粉末锻造有压入成形时，斜度对流入金属的反作用力可以增加三向压应力的程度，提高压入金属的塑性，有利于致密，从这一角度出发，斜度以取大为好；但由于斜度表面的摩擦以及轴向分力作用于压入金属的表层，增加了该部分金属的内外阻力差，有可能使端部球面半径减少，增加了表面开裂的危险（如图3）。根据我们的实验，斜度的危险值为 $5 - 7^\circ$ ，大于或小于该值，可以减小压入成形部分开裂的可能。

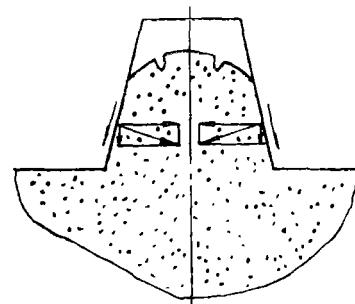


图3 压入成形部分的受力、开裂示意图

当不能采用强制脱模时，锻件型槽深而窄的部分难以脱出，可参考锻工手册设置斜度的脱模。粉末锻造有内孔的锻件时，芯棒需设置 $> 7^\circ$ 的斜度，以利锻件脱出芯棒。

(2) 圆角半径

粉末锻造为压入成形时，锻件内圆角的存在有利于型腔的充满。当内圆角半径R很小时，对金属流动的阻力大，使之不易充满模腔，且人口处的剪应力容易使金属开裂(图4)，但R过大，就和斜度大一样可能造成压入部分顶端的开裂。因此应给出一个适当的数值。此值与压入部分的宽度和深度有关，需通过工艺试验确定。

在试制轧钢辊道伞齿轮时，凸肩压入成形部分未给斜度，圆角R很小，结果凸肩部分产生裂纹(图4)。当斜度为 10° ，R为12mm时，没有产生裂纹。

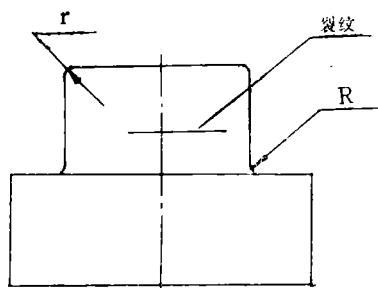


图4 R小产生的开裂

R—锻件内圆角半径；r—锻件外圆角半径

2. 机加工余量、公差与模具结构

精锻时，模具精度如能比锻件要求的精度高1—2级，则能保证锻后主要精锻表面

免于机加工，否则只能减少机加工量。

主要精锻表面与其他表面的相对位置由模具决定。除精锻表面外，确定各表面的余量、公差时，必须考虑锻造模具的精度。对于组合模具，有相对运动的部分要给出间隙。考虑到各零件热膨胀的不均匀、润滑剂和氧化皮的渗入等，间隙取得较大，一般为0.1~0.2mm，因此对锻件的尺寸精度影响较大。

当用图5 a所示模具精锻齿轮时，设凸模与凹模、凸模(或下垫)与芯棒间的间隙分别为 Δ_1 和 Δ_2 ，热锻时间隙有可能完全偏向一边，使内孔偏心量为 $\Delta_1 + \Delta_2$ ，再考虑加放一定余量 Δ_3 ，则内孔总的加工余量为：

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$$

当用图5 b所示的模具时，冲头和凸模压配无间隙，内孔可能的偏心量为 Δ_1 ，再加放一定余量 Δ_2 ，则内孔总的加工余量为：

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$$

可见，锻件图的确定与锻造方式和模具结构有关，企图靠粉末锻造使所有的表面都免于机加工是不可能的。

三、模具结构设计

1. 粉末锻造变形特点

与致密钢锻造类似，粉末锻造时，金属在三向不等压应力的作用下，将沿阻力最小

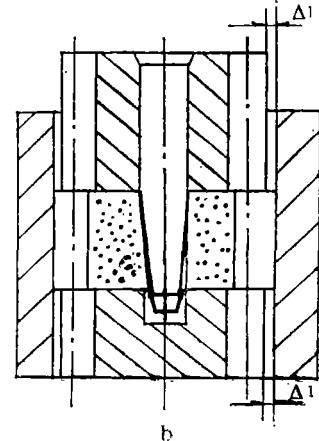
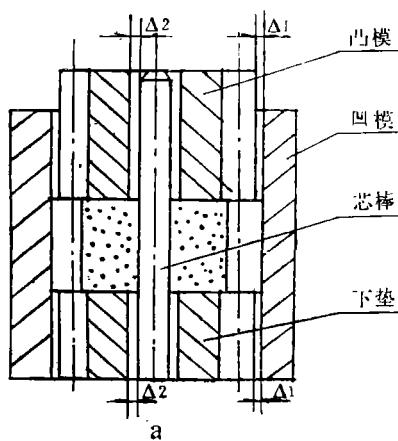


图5 模具间隙示意图

的方向流动。为保证锻件的成形，在锻件难以充满的地方，在结构上应采取合理的引流措施；而在不希望金属流入的地方，采取必要的阻流措施。

粉末锻造与致密钢精锻的不同在于：
①致密钢精锻时，体积不变，塑性变形贯穿始终；粉末锻造时，体积是变化的，自始至终存在着金属的致密，而塑性变形并非贯穿始终；②致密钢精锻一般不存在开裂问题；粉末烧结体由于密度低、塑性差，产生开裂的倾向大；③在相同的重量下，粉末烧结体的体积大、高度高，影响模腔的充填。

2. 变形分析与模具设计

这里将讨论如何根据锻件变形的特点来设计模具结构。

(1) 开式锻模

图6为某厂精锻某种致密钢轧钢辊道伞齿轮时所采用的开式模锻模具结构。当毛坯受到上模打击时，毛坯靠镦粗成形和压

入成形充满模腔和齿形，最终形成少量飞边。

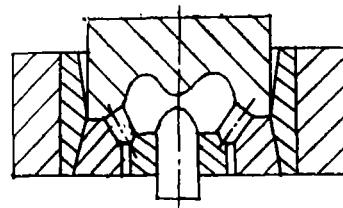


图6 致密钢精锻伞齿轮模具

在进行轧钢辊道伞齿轮的粉末锻造时，曾进行过工艺验证，使用类似的模具，粉末锻造类似的伞齿轮。由于预制坯高度高，金属首先自由镦粗产生较大的鼓形变形，由于镦粗变形程度较大，易在大端齿形处出现开裂。尤其严重的是锻件中部金属流入分模面，形成过厚的飞边，不能保证型腔的充满和锻件的致密(图7a)。因此，对具有分模面的粉末锻件必须采取阻流措施，才能得到比较理想的结果(图7b)。



图7 模具结构不同，成形效果不同的粉末锻造齿轮

(2) 采用阻流措施的粉末锻造模具

图8是我们采用的粉末锻造轧钢辊道伞齿轮模具。锻件重达24公斤，在三吨自由锻锤上锻造。上模部分包括浮动上盖和上冲头。浮动上盖先放入，使浮动上盖和凹模先形成一个基本封闭的闭式模型腔。再放入预制坯，再放入上冲头进行锻击，最终得到小飞边的伞齿轮(图9)。

这里主要讨论浮动外套的阻流和引流作用。变形开始，预制坯首先在冲头打击下自由镦粗，但很快接触模壁，阻止了鼓形表面

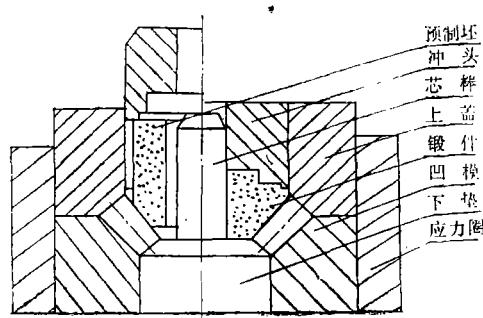


图8 辊道伞齿轮粉末锻造模具

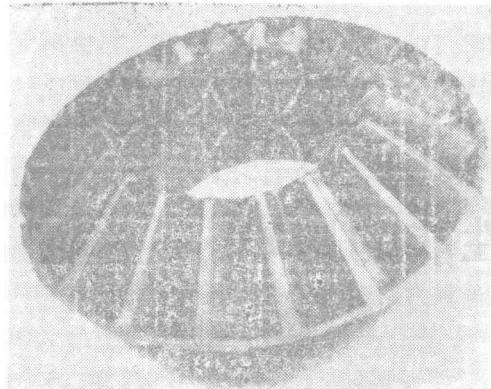


图9 粉末锻造辊道伞齿轮

的继续膨胀，避免了金属大量流入分模面，如图10.b所示。此时，坯料在上冲头的继续下压下只能流向模腔。当大端尖端处接近充满时，伞齿背锥部分的作用力才足以将浮动上盖顶起一些，如图10.c所示。这一顶起使此处的封模阻力减少，起到了引流作用，可能导致小飞边的产生。当浮动上盖上端面稍稍抬起到与上冲头上端面平齐时则与上冲头一起受到打击，压挤大端背锥部分金属，保证了大端密度，得到了齿轮齿形充满、轮廓清晰、飞边很小的锻件。利用该种模具进行了小批试制并装车试验，验证了工艺的可行性。

由以上两例可见，两种模具在闭合时的型腔尺寸、形状完全相同，只是由于对金属

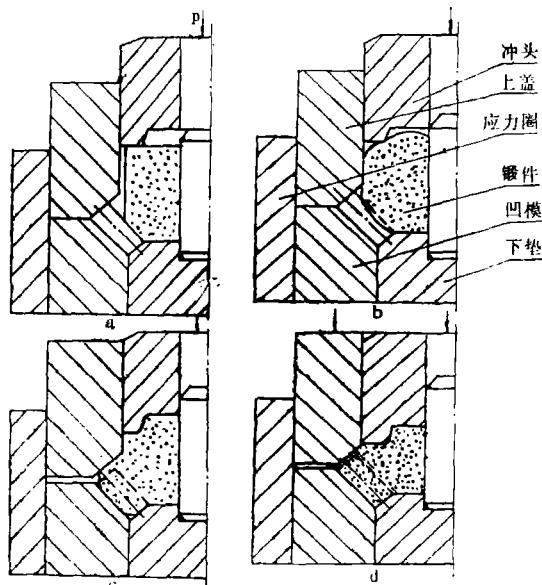


图10 辊道伞齿轮粉末锻造过程示意图

的阻流、引流作用不同，成形效果就大不相同。因此，设计时应认真分析金属流动规律，并加以控制。

四、结论

几年来，经过粉末锻造产品的试制，研究了粉锻模具设计的一些基本问题。但由于试制产品有限，局限性较大，因此有待今后更深入的研究。

A DESIGN FOR POWDER HOT FORGING DIE

Li Nianxin

(Wuhan Institute of Technology)

ABSTRACT Some problems of design for powder hot forging die have been discussed around the characteristics of forging deformation of powder preforms.

会议消息

浙江省1986年粉末冶金学术年会，于12月13日至15日在瑞安县召开。会议进行了技术交流。并确定了学组明年的主要工作是：加强扶植乡、镇企业的技术咨询和技术服务工作；开办技术培训班，为

乡、镇及小型企业培训粉末冶金技术人员，筹建浙江省机械工程学会粉末冶金分会，做好中国机械工程学会粉末冶金学会成立25周年纪念活动和召开第五届全国粉末冶金学术年会的筹备工作。

〔本刊通讯员 何万罗供稿〕