

## 特种机械中杆类零件的局部成形工艺及模具设计

王浩, 胡治, 姚照云

(重庆建设工业(集团)有限责任公司, 重庆 400054)

**摘要:** 以某产品的机头体为例,原采用开式模锻工艺,材料利用率低,机加定位难度大。为了提高毛坯的净化程度和降低生产成本,需要更高效的加工方式。通过对电锻过程的工艺参数摸索,根据已有设备改进工装模具,并借助有限元模拟分析,最终设计采用了一次加热下同时完成局部锻粗再挤压成形的工艺。该工艺难点是控制锻粗的形状,以及砧子和挤压模的材料选择。经计算,该毛坯材料利用率提高到95.4%,并且由于杆部未变形,外形更利于后期机加定位夹持。

**关键词:** 特种机械; 杆类零件; 局部成形

**中图分类号:** TG316.1<sup>+1</sup>; TG376      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-6457(2012)05-0015-04

### Local Forming Process and Die Design for the Rod Part of the Special Machinery

WANG Hao, HU Zhi, YAO Zhao-yun

(Chong Qing Jianshe Industry(Group)Co., Ltd., Chongqing 400054, China)

**Abstract:** The former technology of the bolt head body of a product is open die forging. The material utilization is low, and positioning in machining is difficult. In order to improve the material utilization of the forging and reduce the production cost more efficient processing method is needed. With the help of the finite element simulation analysis the electric upsetting process parameters are researched by improving tooling of the existing equipment. The final design is finished that local upsetting then extrusion are conducted after single heating. The key points of the process are the control of the shape of upsetting, material selection of extrusion die and anvil. Through calculation, the blank material utilization are increased to 95.4%, and the rod part of the bolt head body is not deformed which is more favorable to the positioning clamp in machining.

**Key words:** special machinery; rod part; bolt head body; local forming

特种机械中的关键、重要零件,为了保证其本身的力学性能多采用塑性成形工艺,比如其中的一些异形的细长杆类零件通常采用模锻工艺。这种工艺效率高、成形难度低,但是该工艺需要考虑较多的飞边预留量,对于细长的异形零件来说,这就使材料分配和模具型腔设计的难度增大,材料利用率不高,并且切边后锻件沿轴向会有一圈毛刺余根,杆部的圆度无法保证,增加了后续机加定位难度。在生产该

类型零件时采用了一种局部成形的工艺,通过工艺参数摸索和工装、模具设计,成功掌握了该工艺加工方法,实现量产并很好地沿用到其他类似零件的生产上。

### 1 尺寸设计及计算

考虑到该工艺异形部位(局部)成形,毛坯设计

收稿日期: 2012-08-30

作者简介: 王浩(1986—),男,重庆人,助理工程师,主要从事锻造、挤压方面的工作。

时非成形的杆部可直接利用原料的状态。以某产品的机头体为例,毛坯设计如图1所示。

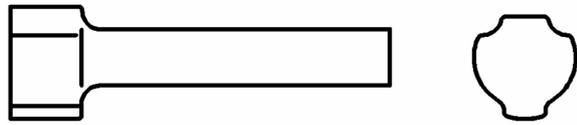


图1 机头体毛坯  
Fig. 1 Forging drawing

零件材质选用 25Cr2Ni4WA,其化学成分以及热处理后力学性能见表1、表2。

表1 25Cr2Ni4WA 化学成分

C	Mn	Si	Cr	Ni	W
0.21~	0.25~	0.17~	1.35~	4.00~	0.80~
0.28	0.55	0.37	1.65	4.50	1.20

表2 材料力学性能

抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率 /%	断面收缩率 /%	冲击功 /J
1 080	930	11	45	71

根据体积不变的原则,采用已设计的毛坯建立三维模型测出总体积。由于设计毛坯时坯料的直径大小(杆部直径)已经确定,这样就可以得到原料需要的长度,然后再在该长度基础上增加2~3 mm作为飞边余量,最终得到坯料下料长度。虽然坯料尺寸计算很简单,但是控制尺寸极为重要,坯料少了会造成挤压时充型不满,而坯料多了挤压时轻则飞边过厚切边困难,切边模寿命降低,重则挤压模具胀裂导致模具报废。

## 2 工艺特点及难点

该工艺最大的特点是原料只需1次局部(成形部分)加热,完成2次成形,最后清除飞边。使用的设备是1台双工位的电热锻机和1台315 t 液压机,主要过程如图2所示。由于第1次锻粗时锻粗比 $k$ 和高径比 $H_0/D_0$ 较大,若采用普通的锻粗方式易使坯料产生失稳,导致纵向弯曲。为克服该问题,只能

减少锻粗时材料的初始锻粗比和高径比,即 $k$ 值和 $H_0/D_0$ 比值。



图2 毛坯成形过程  
Fig. 2 Forming process

电热锻机工作部分由砧子缸、锻粗缸、夹持缸共同作用实现毛坯的锻粗过程,如图3所示。工作时,夹块夹住坯料,坯料的右端被锻粗缸压向砧子缸,这时夹块与砧子成为变压器的2个点击。通电后,砧子之间的坯料A段产生低电压高电流,通过材料本身电阻的作用迅速被加热。当温度达到 $900 \sim 1150 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,在锻粗缸压力作用下,A段材料被锻粗,随着锻粗缸不断向左移动,A段被连续锻粗,直到锻粗缸到达预先设定的终止位置为止。电热锻粗能够1次锻粗细长杆件,是充分利用了金属变形不均匀,变形首先发生在变形抗力小的部位的金属变形规律。

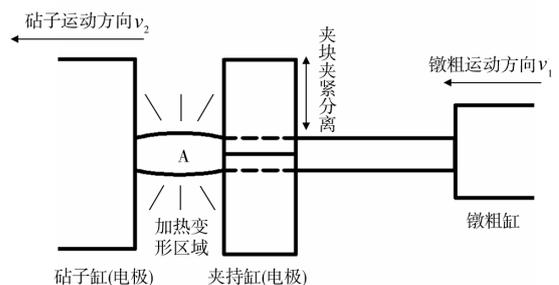


图3 电锻工作原理

Fig. 3 Electric upsetting principle diagram

以某产品的机头体为例,该零件坯料规格选用的是 $\phi 15 \text{ mm} \times 172 \text{ mm}$ ,最终成形后总长度为104 mm,由于其中有83 mm为非成形部分,因此可计算出成形部分的锻粗比 $k=4.24$ ,高径比 $H_0/D_0=5.93$ 。根据经验公式,高径比 $H_0/D_0 \geq 2.5$ 时,锻粗时坯料易产生失稳,导致纵向弯曲。为了获得后续

挤压所需要的单鼓形、蒜头状零件,高径比  $H_0/D_0$  就必须控制在 0.5~1.0 之间。控制的方法是在电热镦粗初期,坯料镦粗的同时,砧子需要向左移动一段距离,该距离由限位块控制。固定砧子移动的目的就是减小初期变形镦粗时变形区域的高径比  $H_0/D_0$ 。砧子缸的移动靠自身和镦粗缸的压力共同完成。利用电热镦机的双动特点(即砧子缸、镦粗缸可独立运动、调速),调节双缸初始位置使开始时加热区域坯料长度符合公式要求,并调节  $v_1$  和  $v_2$  相对速度( $v_1 > v_2$ ),保证坯料加热的同时受力镦粗,最终达到坯料局部加热与第 1 次镦粗同时完成的目的。

该过程是整个工艺过程的重难点,镦粗后的形状直接影响后续挤压成形的质量,而要想镦出理想的形状,必须掌握好电流与双缸速度之间的关系,若镦粗形状不理想可能出现挤压后缺肉、折叠等缺陷<sup>[2]</sup>。镦粗后温度保持在 1 000~1 200 °C,卸载后直接放入挤压模中采用正挤压成形,取出切边后即得到需要的毛坯零件。

### 3 挤压、切边模具设计

挤压模具设计如图 4 所示,其工作原理为:将镦粗后的工件按图 4 中填黑位置放入下模,上模下行接触坯件,并将其挤入下模型腔中形成需要的锻件形状,上模上行,杆顶出锻件即完成挤压过程<sup>[2-3]</sup>。

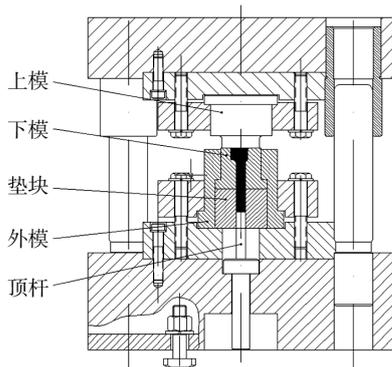


图 4 模具结构

Fig. 4 Mold structure diagram

由于挤压过程属于热挤压,成形过程较锤上锻造速度慢,零件接触模具时间长,模具消耗较快,因此挤压模具采用了镶块式的设计。将整个下模部分拆分为下模、外模、垫块等 3 个独立的模块,这样挤

压中模具只消耗下模,外模和垫块起固定、限位作用。另外,模具拆卸搬运时也更加轻便,降低了工人的劳动强度。

对于零件的切边工位设计,考虑若采用冷切,切边模磨损比较大。由于零件本身体积较小,挤压后热量散失较快,又无法直接进行热切,且热切容易导致毛刺过大,因此只有利用挤压后工件还有余温时(400 °C 左右)进行温切综合效果最好。利用液压机工作台多余的空间安装切边模,设计图如图 5 所示。

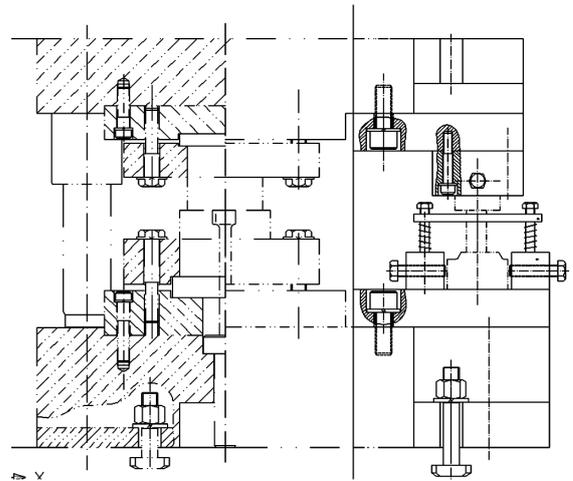


图 5 切边模结构

Fig. 5 Trimming die structure

图 5 中竖线右边为加装的切边模部分,采用弹性卸料,其工作原理与挤压模一样,因此挤压的同时完成切边。由于是同设备双工位,只需把挤压后的工件直接转到切边模上即可,不仅取消了单独的切边人员,也节省了 1 台专用于切边的压力机。

### 4 有限元模拟

挤压工序只是一个简单的正挤压过程,成形难度并不大。为了便于工艺研究,采用了 Deform-3D 来分析变形过程的载荷变化,以确定挤压力的参考值<sup>[4-5]</sup>。挤压载荷变化曲线如图 6 所示,曲线明显分为 3 段:第 1 段,短暂时间内载荷急升了一小段,此时工件刚开始进入挤压模;第 2 段,这个阶段工件逐渐被挤入模具型腔中,金属自由流动,载荷上升比较平缓;第 3 段,工件基本进入到型腔,坯料逐渐充满型腔转角处形成最终形态,多余的坯料堆积于上、

下模之间被挤压成飞边,飞边迅速变薄,变形抗力增大,且此时零件温度降低较快,因此成形载荷急剧上升。由载荷-行程曲线可知,最终载荷参考值为 177 kN。

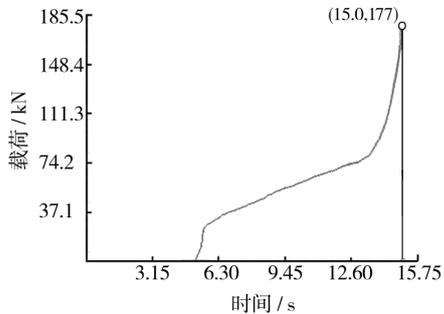


图6 载荷-时间曲线

Fig. 6 Load-time curve

## 5 结语

局部1次加热2次成形,工艺过程和模具都比较简单,能够很好地完成成形过程,得到充填完整、无折叠的锻件。根据有限元数值模拟分析,最终参考载荷为 177 kN。

整个工艺的难点在于锻粗过程中,材料锻粗的

形状控制。另外影响批量生产质量的因素还有模具材料的选用,工件材料的力学性能也会影响成形所需的载荷。若材料热硬性不好,模具和砧子损耗过快,不仅影响工件成形质量,频繁地更换也会影响生产效率,因此模具和砧子材料的选用应兼顾热硬性与经济性两方面。

经计算,该工艺相对以往的锤锻工艺,原材料消耗大幅降低,单件消耗由 0.337 kg 降低到 0.238 kg,材料利用率提高到 95.4%。由于采用的是局部加热成形,未加热的杆部部分没有成形飞边和变形,因此更利于后续加工的夹持定位。

## 参考文献:

- [1] 胡亚民,华林. 锻造工艺过程及模具设计[M]. 北京:中国林业出版社,北京大学出版社,2006.
- [2] 李春峰. 金属塑性成形工艺及模具设计[M]. 北京:高等教育出版社,2008.
- [3] 王仲仁. 锻压手册[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [4] 胡建军,李小平. DEFORM-3D 塑性成形 CAE 应用教程[M]. 北京:北京大学出版社,2011.
- [5] 张莉,李升军. DEFORM 在金属塑性成形中的应用[M]. 北京:机械工业出版社,2009.

(上接第 14 页)

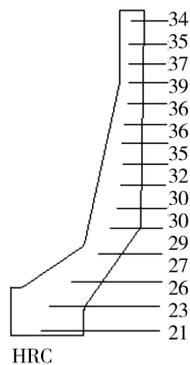


图10 零件洛氏硬度分布

Fig. 10 Distribution of workpiece hardness

## 4 结语

采用上述工艺及模具进行实验,结果表明:所设

计的坯料尺寸及工艺方案合理,金属流动均匀,表面质量和尺寸精度都达到要求,虽然工件的外表面出现一些氧化后的凹坑,但是都在公差允许的范围内,满足要求;数值模拟结果与实验结果基本相符,可以起到辅助工艺设计,优化模具结构的作用。

## 参考文献:

- [1] 彭颖红. 金属塑性成形仿真技术[M]. 上海:上海交通大学出版社,1999.
- [2] 洪慎章. 冷挤压实用技术[M]. 第1版. 北京:机械工业出版社,2004:221-343.
- [3] 许小忠,刘强,程军. 镁合金在工业及国防中的应用[J]. 华北工学院学报,2002(3):190-192.