

# 三维非轴对称零件旋压成形机理研究\*

夏琴香

(华南理工大学机械工程学院 广州 510640)

**摘要:** 提出采用旋压技术直接加工各部分轴线间相互平行或成一定夹角的三维非轴对称薄壁空心零件的工艺方法, 探讨了该成形技术的工作原理、成形过程的特点及变形机理, 并预测了其推广应用前景。提出的旋压成形装置可使旋轮在随机床主轴作回转运动的同时, 沿垂直于机床轴线方向作径向进给运动。

**关键词:** 非轴对称零件 旋压技术 成形机理

**中图分类号:** TG306

## 0 前言

近年来, 出现了这样的发展趋势: 一是随着全球对生态环境保护意识的增加, 为减少空气污染, 有关国家不断颁布法规来限制汽车尾气中有害物质的排放, 并开发多种净化技术, 其中采用在排气歧管里安装催化转化器进行排气后处理的方法是日前减少汽车排放污染的主要措施<sup>[1]</sup>。排气歧管的入口管和扩张管的形状极其复杂, 这种形状复杂的零件, 通常是采用冲压工艺, 分别成形出上、下两个部分后, 再采用焊接的方法制成的。采取这样的工艺方法进行生产, 一方面焊接时产生的热变形使焊接质量难以保证; 另一方面加工工序的增加, 不但使废品率增加, 并且导致生产工人、生产设备和生产场地的增加, 从而提高了产品的生产成本。

另一个发展趋势是随着航空、航天和军工行业的发展, 以提高飞机、航天器和战略武器的比强度、比密度和飞行速度为目标, 在设计和制造上不断要求减轻其自身重量。为此除了通过结构上采取优化设计的途径外, 更多的是要求通过以空心件代替实心件的途径来实现, 所涉及到的三维非轴对称零件有时也不得不采用冲压及焊接的方法加工。由于焊接结构容易产生脆性断裂、疲劳破坏、应力腐蚀及磨损等失效现象, 直接影响着飞机、航天器和战略武器的使用寿命和安全保证, 一般焊接结构使用在这类用途上时会受到不同程度的限制。

## 1 问题的提出

车用催化转化器结构示意图见图1所示。

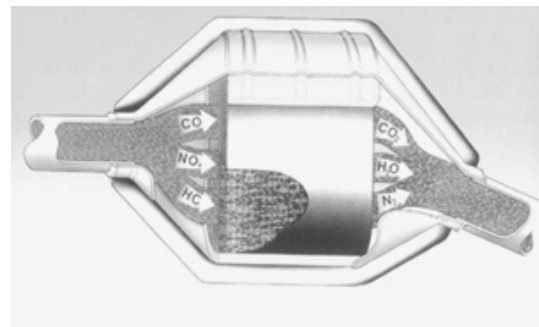
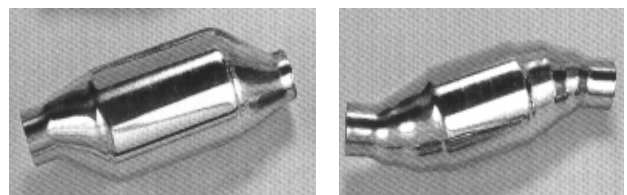


图1 车用催化转化器结构示意图

旋压成形后的产品具有晶粒致密、强度高、壁厚分布均匀及均衡性好等特点, 因此在航空、航天、兵器、造船、机械、建筑及日用工业品中得到广泛的应用<sup>[2]</sup>。但传统的旋压技术在加工零件时是将毛坯固定在机床主轴上与主轴一起旋转的, 因而其加工的零件必然为空心回转体(轴对称)零件<sup>[2~4]</sup>。而如图2所示的具有一定曲率、一定角度和形状的三维非轴对称薄壁空心零件, 则无法直接采用传统的旋压方法进行成形。



(a) 倾斜类零件

(b) 偏心类零件

图2 非轴对称偏心、倾斜类零件形状图

## 2 变形机理

提出的三维非轴对称零件的旋压成形技术, 是借助于随机床主轴沿同一轴线作旋转运动的旋轮等工具的进给运动, 加压力于沿机床纵、横两个轴线方向作直线进给运动, 并可以在水平面内进行角度偏

\* 国家自然科学基金(50275054)和广东省自然科学基金(020923)资助项目。20030224 收到初稿, 20030826 收到修改稿

转运动的金属毛坯,使其产生连续的局部塑性变形而成为所需薄壁空心非轴对称零件的一种全新的成形方法<sup>[5]</sup>。

该技术核心是在加工过程中,将传统旋压技术中金属毛坯的运动方式加以改变,不是将被加工的毛坯装卡在机床主轴上,而是将旋轮座安装在机床主轴上旋转。旋轮除与工件接触而进行自转外,并且与旋轮座一起绕工件公转,同时沿公转半径方向作进给运动;装卡在机床工作台上的毛坯不但可沿机床的纵、横两个轴线方向作直线进给运动,还可以在水平面内进行偏转运动,从而达到利用旋压技术直接加工三维非轴对称薄壁空心零件的目的。

为实现三维非轴对称零件的旋压成形,申请专利保护的一种旋压成形方法及其装置中的关键部分,是由实现旋轮旋转进给动作的旋转旋轮座以及实现毛坯平移和偏转动作的毛坯固定卡盘两部分所组成<sup>[5]</sup>。

### 2.1 倾斜类零件旋压成形

在成形零件的倾斜部分时,每道次成形前先将工件轴线相对于旋轮公转轴线在水平面内偏转一定角度,如图 3a 所示。然后使装卡在机床工作台上的毛坯沿着旋轮公转的轴线方向作进给运动。这样每道次旋压后,毛坯已变形部分相对于未变形部分便倾斜了一定的角度。经过多道次旋压成形,便可获得所要求的总的倾斜角 $\alpha$ 。

在每道次旋压成形之前,由于工件首先在水平面内相对于旋轮公转轴线作一角度偏转,因此工件在旋轮公转平面内的截面形状为椭圆,长轴在水平面内,短轴垂直于水平面,如图 3b 所示。而每道次旋压成形之后,这一截面形状变为一圆心在旋轮公转轴线 $O$ 上的圆形。一般情况下,虽然成形前椭圆截面的圆心 $O_1$ 与公转轴线 $O$ 处于同一水平面,但不会与旋轮公转轴线 $O$ 重合,因此,成形时工件的变形情况以椭圆长轴为上下对称,而在短轴左右两侧的变形情况则是不对称的。

### 2.2 偏心类零件旋压成形

在成形零件的偏心部分时,不同道次旋压成形时的工件轴线保持平行。每道次成形前先将工件沿旋轮公转轴线的垂直方向在水平面内进行平移,然后在成形时将工件沿着旋轮公转的轴线方向作进给运动。直至各道次成形后的轴线偏移总量达到所需要的数值 $\delta$ 时为止,如图 4a 所示。

在每道次旋压成形之前,由于工件的平移方向垂直于旋轮的公转轴线,所以工件在旋轮公转平面内的截面形状仍为圆形,但圆心 $O_2$ 与旋轮公转轴线

$O$  存在一定偏移量,在成形时,变形情况也是上下对称、左右不对称的,如图 4b 所示。

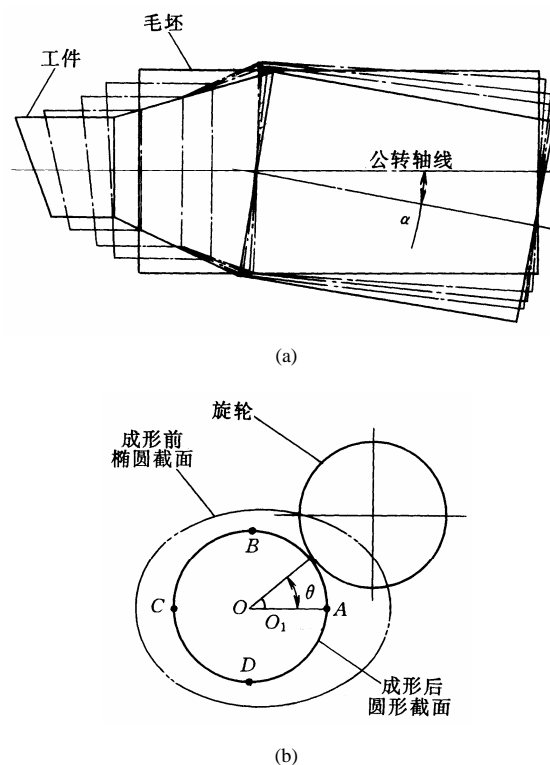


图 3 倾斜类零件旋压成形过程示意图

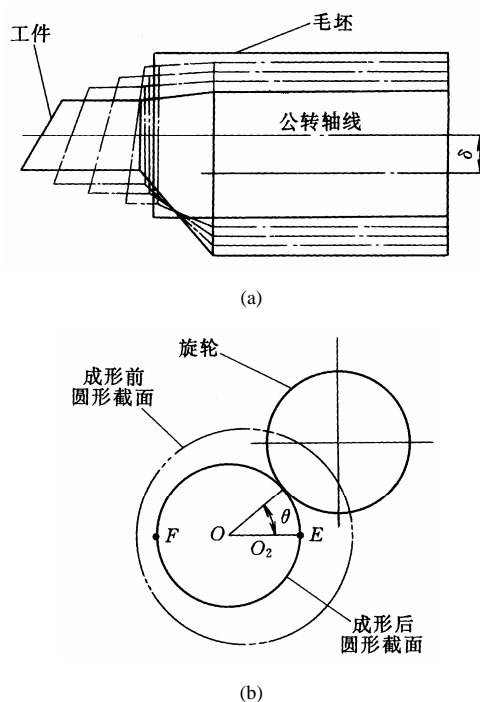


图 4 偏心类工件旋压成形过程示意图

采用上述旋压成形方法,即可以加工出各部分轴线间相互平行或成一定夹角的非轴对称偏心、倾斜类薄壁空心零件。这些零件既可以是两端同类的,即工件两端都是偏心类的或都是倾斜类的,也可以是两端异类的,即一端是偏心类的,另一端是

倾斜类的。

由于在偏心及倾斜类零件旋压成形时，毛坯各质点与旋轮公转轴线的距离不再具有轴对称性，所以，各点材料的流动方向也不再是轴对称的。所导致的结果是成形后毛坯的端面不再与旋轮公转轴线垂直而是倾斜的，如图3a和图4a中的左端面所示。端面的倾斜程度取决于工件的倾斜角 $\alpha$ 或偏心量 $\delta$ 。

### 2.3 应力应变分布及旋压力变化规律

图5比较了不同旋压变形情况下应力应变沿工件圆周方向的分布情况，图中的箭头定性代表所示部位的应力应变大小。由图可见，在传统的轴对称零件旋压中，应力应变沿工件圆周方向的分布也是轴对称的。在倾斜类零件的旋压中，应力应变沿工件圆周方向的分布较为复杂，随着旋轮绕着工件公转角 $\theta$ 的增加，应力应变的变化出现大 $\rightarrow$ 小 $\rightarrow$ 大 $\rightarrow$ 小 $\rightarrow$ 大的循环规律；而偏心类零件旋压时，应力应变沿工件圆周方向的分布呈现出一侧最大、对面最小的特点。

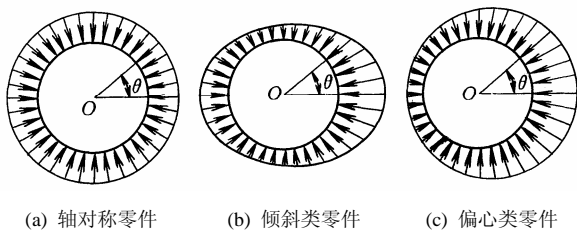


图5 应力应变沿工件圆周方向的分布

图6所示为旋压轴对称零件时工件旋转一周或旋压非轴对称零件时旋轮绕工件公转一周时旋压力的变化规律。由图可见，在传统的旋压成形过程中，工件旋转一周所产生的旋压力是稳定不变的，如曲线1所示。而在非轴对称零件的旋压过程中，旋压力的变化规律则要复杂得多。

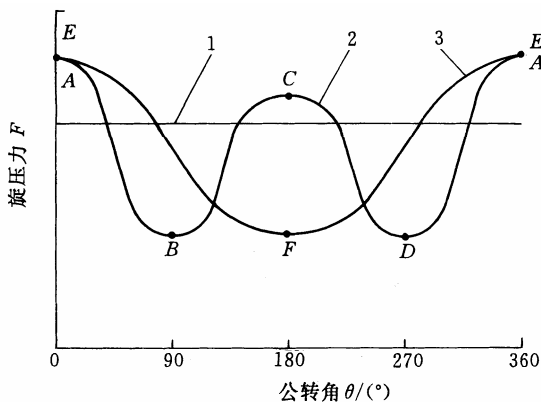


图6 旋压力变化规律

1.轴对称零件 2.倾斜类零件 3.偏心类零件

当成形倾斜类零件时，旋轮绕工件公转一周旋压力的变化规律如图6中的曲线2所示，其中点A、B、C、D对应于图3b中的相应旋轮位置，一般情况下，旋压力分别达到两次极大值(点A和点C)和两次极小值(点B和点D)。如前所述，变形沿椭圆长轴对称而沿短轴不对称，故两次极大值的数值不同，而两次极小值的数值相同。

当成形偏心类零件时，旋轮绕工件公转一周旋压力的变化规律如图6中曲线3所示，其中E、F点对应于图4b中的相应旋轮位置。可见旋压力分别达到一次极大值(点E)和一次极小值(点F)。

### 2.4 应用前景

三维非回转体零件的旋压成形研究预计在以下几个方面具有应用前景。

- (1) 在塑性工程理论上，将突破原有旋压成形工艺的加工范围，进一步促进旋压成形技术的发展。
- (2) 可用于生产航空、航天、兵器、造船、车辆、机械、建筑及日用工业品上的具有一定曲率、一定角度和形状的三维非回转体薄壁空心零件。
- (3) 所提出的三维非回转体零件的旋压成形工装，可推广应用到一般塑性加工设备，以拓宽设备的可加工产品的范围。

## 3 结论

(1) 可以采用旋压技术直接加工出各部分轴线间相互平行或成一定夹角的三维非轴对称薄壁空心零件，突破了原有旋压工艺的加工范围。

(2) 为突破常规旋压只能加工轴对称的回转体类零件的限制，必须使毛坯在成形过程中避开回转状态，而由旋轮进行回转，拓宽了现行旋压的观念。

(3) 三维非轴对称零件的旋压成形时，应力应变的分布及旋压力的变化规律均与传统旋压时的情况有着很大的区别，相比更为复杂。

(4) 提出的旋压成形装置，可使旋轮在随机床主轴作回转运动的同时，沿垂直于机床轴线方向作径向进给运动；而毛坯不但可沿机床的纵、横两个轴线方向作直线进给运动，并可以在水平面内作偏转运动。

(5) 提出的旋压成形装置，既可以用于设计专用机床，也可以用于普通机床的改造。

### 参 考 文 献

- 1 王亚军, 彭希, 冯长根. 汽车催化剂技术发展及研究概况. 工业催化, 2000, 8(2): 3~10
- 2 王成和, 刘克璋. 旋压技术. 北京: 机械工业出版社, 1986
- 3 日本塑性加工学会. 旋压成形技术. 北京: 机械工业出

版社, 1988

- 4 陈适先, 贾文铎, 曹根顺, 等. 强力旋压工艺与设备. 北京: 国防工业出版社, 1886
- 5 夏琴香. 一种旋压成形装置. 2003 年实用新型专利, ZL 02226079 · x

## INVESTIGATION ON THE MECHANISM OF THE SPINNING TECHNOLOGY OF THE 3D NON-AXISYMMETRIC PARTS

*Xia Qinxiang*

*(South China University of Technology)*

**Abstract:** A new type of spinning technology is presented. By this technology, the 3D non-axisymmetric thin-walled hollow part, a portion axis of the part is parallel or has a certain included angle to each other, can be formed directly. It mainly focuses on the working principle, forming characteristic and deformation mechanism. The application prospect of this technology is also depicted. The rollers of the forming apparatus can feed to the main axis, while rotating around it.

**Key words:** Non-axisymmetric parts Spinning technology  
Deformation mechanism

**作者简介:** 夏琴香, 女, 1964 年出生, 硕士, 副教授。主要研究方向为旋压成形工艺及设备。

~~~~~  
(上接第 152 页)

性工程学报, 1994, 1(4): 49~53

- 5 刘桂华, 任广升, 徐春国. 楔横轧三维变形过程的有限元数值模拟研究. 锻压技术, 2001, 26(6): 32~35
- 6 王廷溥. 轧钢工艺学. 北京: 冶金工业出版社, 1981

## RESEARCH ON MECHANISM OF INTERIOR-HOLLOW DEFECT DURING THE DEFORMATION OF CROSS WEDGE ROLLING

*Liu Guihua Ren Guangsheng Xu Chunguo  
Jiang Zhi Shen Zhi*

*(Beijing Research Institute of  
Mechanical and electrical Technology)*

**Abstract:** The deformation of the workpiece during cross wedge rolling (CWR) is simulated by using three-dimension finite element soft named deform-3D. The whole information of the workpiece stress and strain field and the material flow discipline are obtained. So the evolvement history of the interior stress and strain state are grasped, and the mechanism of the interior-hollow defect during CWR is explained definitely.

**Key words:** Cross wedge rolling  
3D finite numerical simulation  
Stress and strain state  
Interior- hollow defect

**作者简介:** 刘桂华, 女, 1968 年出生, 工程师。主要研究方向为塑性变形模拟及回转成形技术。