

特种成形

## 六边锥台薄壁件无模旋压数值模拟研究

刘宝明<sup>1,2</sup>, 田苗诚<sup>1,2</sup>, 贾震<sup>1,2</sup>, 韩志仁<sup>1,2</sup>, 官雪<sup>1,2</sup>

(1. 沈阳航空航天大学 航空宇航学院, 辽宁 沈阳 110136;

2. 沈阳航空航天大学 航空制造工艺数字化国防重点学科实验室, 辽宁 沈阳 110136)

**摘要:** 针对无模旋压研究中的重点与难点——非对称与非圆截面无模旋压成形精度问题, 以六边锥台薄壁件为研究对象, 采用无模空旋的加工方式成形, 根据所求成形件的几何关系, 研究了六边锥台形状旋轮的径向和轴向运行规律, 并推导了旋轮路径轨迹公式, 使用 ABAQUS 软件对该成形过程进行仿真模拟, 分析其等效应力、等效应变和壁厚的分布规律。在此基础上, 采用 PS-CNCXY600-5 型数控旋压机开展非圆截面旋压成形实验, 获取了与模型相一致的六边锥台形薄壁件, 验证了六边锥台形无模旋压的数值模拟结果的可靠性以及工艺的可行性, 为后续异形件无模旋压方法以及成形机理的研究提供支持, 具有较高的应用价值。

**关键词:** 六边锥台薄壁件; 无模旋压; 旋轮路径; 等效应力; 等效应变; 壁厚

**DOI:** 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.06.016

**中图分类号:** TG306 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2023) 06-0108-07

## Study on numerical simulation on dieless spinning for thin-walled hexagonal frustum part

Liu Baoming<sup>1,2</sup>, Tian Miaocheng<sup>1,2</sup>, Jia Zhen<sup>1,2</sup>, Han Zhiren<sup>1,2</sup>, Gong Xue<sup>1,2</sup>

(1. Faculty of Aerospace Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China;

2. Key Laboratory of Fundamental Science for National Defence of Aeronautical Digital Manufacturing Process, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

**Abstract:** For the dieless spinning accuracy problem of non-symmetrical and non-circular cross-section which is the focus and difficulty in the research of dieless spinning, taking the thin-walled hexagonal frustum part as the research object, dieless spinning method was used to form, and based on the geometric relationship of formed parts, the radial and axial operation laws of spinning wheel with the shape of hexagonal frustum, and the trajectory formula of spinning wheel path was derived. Then, the forming process was simulated by software ABAQUS, and the distribution laws of equivalent stress, equivalent strain and wall thickness were analyzed. Furthermore, on this basis, the non-circular cross-section spinning experiment was carried out to obtain the thin-walled hexagonal frustum parts consistent with the model by PS-CNCXY600-5 CNC spinning machine, which verifies the reliability of the numerical simulation results for the hexagonal frustum dieless spinning and the feasibility of the process, and provides support for the subsequent research on the dieless spinning method and forming mechanism of special-shaped parts, which has high application value.

**Key words:** thin-walled hexagonal frustum part; dieless spinning; rotary wheel path; equivalent stress; equivalent strain; wall thickness

旋压工艺因其成形力相对较小、所需设备吨位低, 具有节材、高效、绿色等优点, 因而被广泛应

用于航空、航天、汽车与农机等工业领域<sup>[1-3]</sup>。异形件的主要特征表现为旋压件的横截面不为圆形或者零件横截面的中心连线与旋压件成形时的旋转中心不重合。国内外学者对此已有深入研究, 例如: 日本学者 Hirohiko A<sup>[4-5]</sup> 研制了两轴联动的非圆旋压装置, 通过控制旋轮径向旋压力恒定, 成功地加工出四边形空心零件; 夏琴香等<sup>[6-7]</sup> 研究了基于非圆横截面仿形芯模的多边形薄壁零件旋压成形方法与装置, 并与邝卫华等<sup>[8]</sup> 设计了筒形件非轴对称收口旋压成形轨迹, 旋压成形出用于汽车尾管的偏心筒形件。

收稿日期: 2022-07-25; 修订日期: 2022-10-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (52275355); 辽宁省教育厅科学基金 (JYT2020005); 国防重点实验室开放基金 (SHSYS202005)

作者简介: 刘宝明 (1979-), 男, 硕士, 工程师

E-mail: syliubaoming@163.com

通信作者: 韩志仁 (1964-), 男, 博士, 教授

E-mail: hanren888@163.com

异形件在旋压成形时不仅需要旋轮轴向进给,还需要其在径向上往复进给,基于异形旋压零件的表面轮廓,对旋轮径向进给、轴向进给和芯轴转动进行匹配,得出相互协调的轨迹<sup>[9]</sup>。针对此研究,程秋谋等<sup>[10]</sup>采用一种特制机构完成了椭圆件的普通旋压及无芯轴剪切旋压实验,发现其变形规律与常规回转体旋压有所不同。日本学者 Shimizu I<sup>[11]</sup>推导出了椭圆截面锥体空心件的旋轮路径公式,利用数控程序协调旋轮轴向与径向进给,加工出椭圆截面及方截面空心锥体零件。

以上非圆截面的旋压大都采用了仿形芯模,阻滞了旋压工艺的高柔性。鉴于航空航天制造领域对带有回转体特征的异形薄壁件往往有参数修改响应迅捷的需求,所以,更加凸显此类零件的无模旋压方法研究的重要意义<sup>[12]</sup>。无模旋压柔性好,适合于航空航天零件,具有品种规格多、批量小等特点。随着数控技术的发展,无模旋压开始广泛应用在非对称或者非圆截面的异形形状薄壁零件上<sup>[13-14]</sup>。本文采用无模旋压方式成形六边锥台形状薄壁件,并以初始角度离散化的旋轮路径设计方法,理论推导出旋轮路径。在此基础上,开展六边锥台薄壁件无模旋压的有限元数值模拟与实验研究。

## 1 旋轮路径解析

六边锥台薄壁件的几何模型如图1所示,锥台任一横截面均为正六边形。据此将旋轮路径轨迹设计为布置在六边锥台表面的连续的螺旋曲线,由于机器误差,实际成形过程中无法保证旋轮的进给与芯轴的转动匹配为1条绝对连续的曲线,因此,本文采取离散化的方法对旋轮路径轨迹进行解析推导。本文中旋轮路径轨迹是由中心向外运动,以工件旋转第1周的路径轨迹为例,详细说明路径轨迹公式的推导过程。

根据六边锥台薄壁件的形状特征,将板材进行区域划分,以此推导出各个区域中旋轮路径的具体坐标值。将板材划分为7个区域:0°~30°、30°~90°、90°~150°、150°~210°、210°~270°、270°~330°和330°~360°,六边锥台薄壁件旋压过程中旋轮运动路径示意图如图2所示。

六边形为轴对称图形,以0°~30°位置为例对旋轮路径轨迹进行分析,其他的路径轨迹以此类推。旋压路径为1条空间螺旋线,因此,推导旋轮路径需从径向和轴向两个方向进行研究。设置初始角度

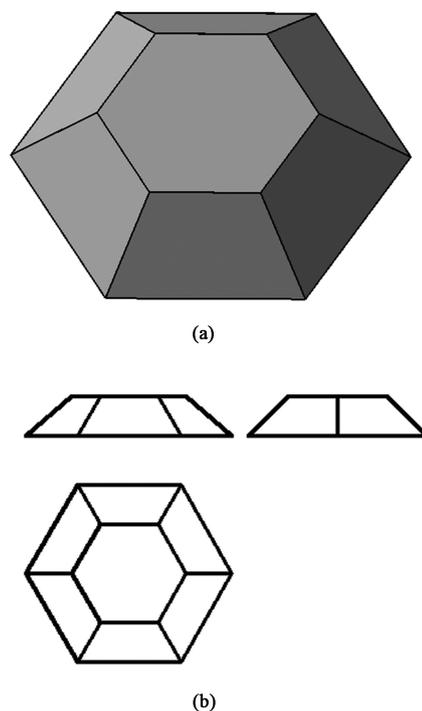


图1 六边锥台薄壁件示意图

(a) 3D图 (b) 三视图

Fig. 1 Schematic diagrams of thin-walled hexagonal frustum part  
(a) 3D diagram (b) Three view

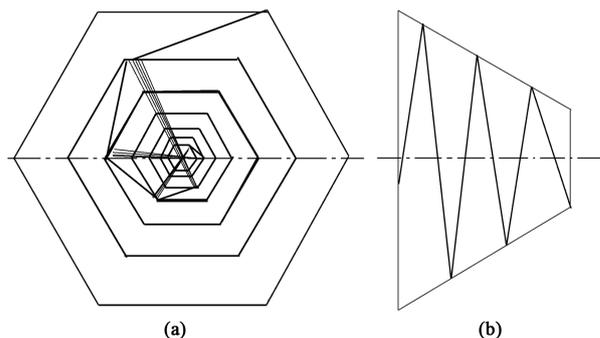


图2 六边锥台薄壁体的旋轮路径

(a) 俯视图 (b) 左视图

Fig. 2 Path of rotary wheel for thin-walled hexagonal frustum part  
(a) Top view (b) Left side view

为 $\alpha$ ,其值恒定,以偏转角 $\beta$ 作为离散点进行划分。

首先,考虑旋轮的径向位移,设置零件的上表面为基准面,零件中心为点A,AB为旋轮与芯轴的最短距离 $x$ ,如图3所示,AD为基准面上旋轮距零件中心的投影距离,AD为径向位移的一部分,记为 $W_1$ 。C点为基准面上六边形轨迹的顶点,也就是旋轮投影轨迹的拐点。通过图3,并根据三角函数关系可得:

$$W_1 = \frac{x}{\cos(m\beta)} \quad (1)$$

式中: $m$ 为变量,初始值为0,芯轴每转动 $\beta$ 角 $m$

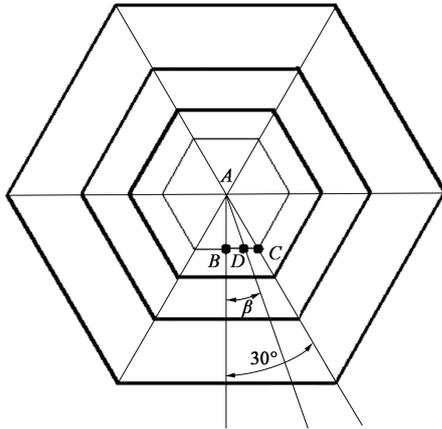


图 3 离散点的划分示意图

Fig. 3 Schematic diagram of division for discrete points

值加 1。

旋轮在运动过程中沿径向的另一部分位移,如图 4 所示,其中  $EG$  为轮的轴向位移,设为  $Q$ ,则有:

$$Q = \frac{mn\beta}{360^\circ} \quad (2)$$

式中:  $n$  为螺旋线的螺距。

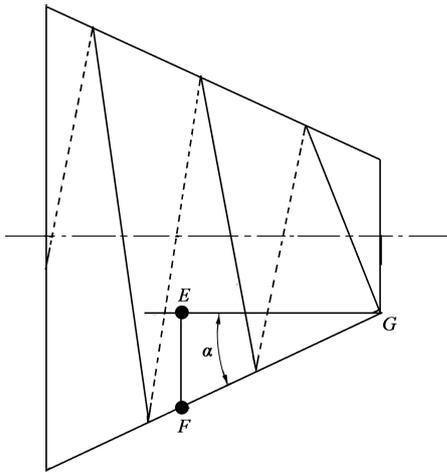


图 4 旋轮路径左视图

Fig. 4 Left view of path for rotary wheel

$EF$  为径向位移的垂直位移,设为  $U$ ,则有:

$$U = Q \tan \alpha \quad (3)$$

空间内的径向位移分为两部分,其中第 1 部分为  $W_1$ , 设置第 2 部分为  $W_2$ , 则有:

$$W_2 = \frac{U}{\cos(m\beta)} \quad (4)$$

在零件旋压成形过程中,旋轮的径向位移即为基准面上的投影距离与径向配合位移之和,即为旋轮与零件接触的具体位置,设为  $W_i$ ,  $i$  为任意时刻。

$$W_i = W_1 + W_2 \quad (5)$$

整理式 (1)~式 (5) 可得旋轮径向位移为:

$$W_i = \frac{x}{\cos(m\beta)} + \frac{mn\beta \tan \alpha}{360^\circ \cos(m\beta)} \quad (6)$$

式 (6) 为  $0^\circ \sim 30^\circ$  旋压过程中旋轮的径向位移公式。

旋轮的轴向位移与旋轮运动过程中的进给率密切相关,对进给率(与空间螺旋线的螺距相同)进行等分计算,设置旋轮的轴向位移为  $Q_i$ 。

$$Q_i = -\frac{Gm\beta}{360^\circ} \quad (7)$$

式中:  $G$  为旋轮的进给率。

通过分析六边锥台薄壁件的几何关系,得到第 1 周锥体盒形件的旋压轮路径公式,亦可用此方法得到符合设计加工要求的完整的旋轮路径表达式。

## 2 六边锥台薄壁件无模旋压有限元模拟分析

随着计算机软件技术的发展,有限元模拟方法在旋压工艺上的应用越来越广泛。通过对异形零件旋压过程预先进行有限元仿真,不仅可以降低物理实验的试错次数,还可以准确获得应力-应变、金属流动等难以直接测得的物理场。因此,本文开展六边锥台薄壁件无模旋压的有限元数值模拟及结果分析。

### 2.1 有限元模型建立

六边锥台薄壁件无模旋压有限元建模在 ABAQUS 商业软件平台上进行。首先,建立芯轴、板坯、旋轮的三维几何实体模型。其中,板坯定义为可变形体,材料采用 6061 铝合金;芯轴与旋轮定义为刚体,可绕各自转轴旋转。6061 铝合金的力学参数如表 1 所示。将 3 个实体模型分别建立坐标系,按照其工作原理进行组装装配,具体装配模形如图 5 所示。其中,板料半径为  $R75$  mm,旋轮圆角半径为  $R2$  mm,旋轮攻角为  $45^\circ$ 。

表 1 退火状态 6061 铝合金的力学性能

Table 1 Mechanical properties of 6061 aluminum alloy at annealed state

参数	泊松比	弹性模量/GPa	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa
数值	0.33	67	51.59	146.12

为确保板坯与芯轴同步旋转,将两者绑定,旋轮与板坯之间采用润滑油润滑,根据实践经验将摩擦因数设置为 0.2。利用式 (6)~式 (7) 设置芯轴与板坯的转动边界条件,以及旋轮在板坯平面的

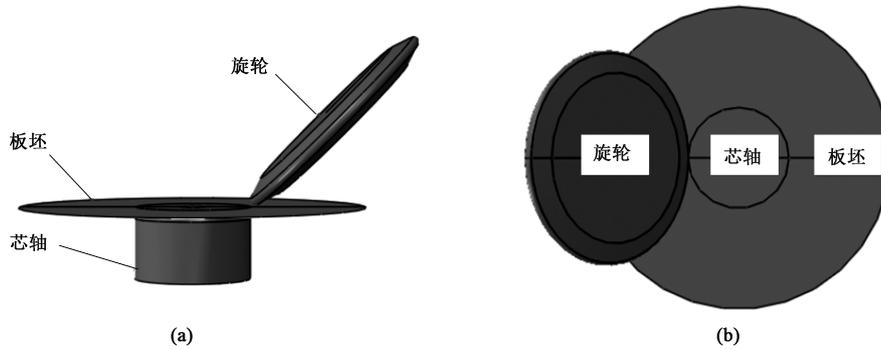


图 5 六边锥台薄壁件的有限元模拟装配图

(a) 主视图 (b) 俯视图

Fig. 5 Finite element simulation assembly drawing for thin-walled hexagonal frustum part

(a) Front view (b) Top view

平移运动边界条件。采用四面体网格对几何实体进行网格划分，板坯网格数为 17390（最大网格边长为 4 mm，最小网格边长为 1 mm）。芯轴转速设为  $10 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ，旋轮进给率为  $5 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$ 。

### 2.2 实验验证

为验证有限元模拟的可靠性，在 PS-CNC-SXY600-5 型数控旋压机上，以完全相同的工况参数条件进行旋压实验。实验中，须将推导所得到的旋轮轴向位移  $Q_1、Q_2、Q_3、Q_4、\dots、Q_i$  与径向位移  $W_1、W_2、W_3、W_4、\dots、W_i$  转化为旋压机能够识别的 NC 代码。

将实验件各条边长与模拟件进行测量对比，模拟与实验件各测量 12 条边，见图 6，其中， $H(0^\circ)$  表示成形后在  $0^\circ$  时成形工件六边锥台的顶边长度， $L(0^\circ)$  表示成形后在  $0^\circ$  时成形工件六边锥台的底边长度，其余类似。直边长度的模拟结果和实验结果如表 2 所示，与理论值相比最大偏差不得超过 6%。使用尖头千分尺测量实验件壁厚，与模拟壁厚尺寸进

行对比，如表 3 所示，发现两者最大偏差为 3.7%。因为回弹和旋轮刀尖圆角补偿设置等问题，模拟和实验结果与锥台的理论值有误差，这个误差需要通过不断地研究来消除。图 7 为六边锥台薄壁件无模旋压实验结果形貌，与有限元模拟结果相比可以看出，两者均将圆形板坯旋压成形为带有 6 条棱边与

表 2 六边锥台薄壁件直边长度模拟结果与实验结果对比

Table 2 Comparison of straight side lengths for thin-walled hexagonal frustum parts between simulated and experiment results

直边编号	模拟直边长度/mm	实验直边长度/mm
$L(0^\circ)$	29.68	31.74
$L(60^\circ)$	30.42	32.88
$L(120^\circ)$	29.42	31.88
$L(180^\circ)$	28.76	31.88
$L(240^\circ)$	30.82	32.68
$L(300^\circ)$	29.62	31.90
$H(0^\circ)$	51.84	53.56
$H(60^\circ)$	51.32	53.70
$H(120^\circ)$	52.18	53.82
$H(180^\circ)$	51.02	52.98
$H(240^\circ)$	51.32	54.08
$H(300^\circ)$	52.71	53.88

表 3 六边锥台薄壁件壁厚的模拟结果与实验结果对比

Table 3 Comparison of wall thicknesses for thin-walled hexagonal frustum parts between simulated and experiment results

点	模拟壁厚/mm	实验壁厚/mm
1	1.875	1.878
2	1.747	1.751
3	1.819	1.821
4	1.861	1.865
5	1.743	1.744
6	1.827	1.863

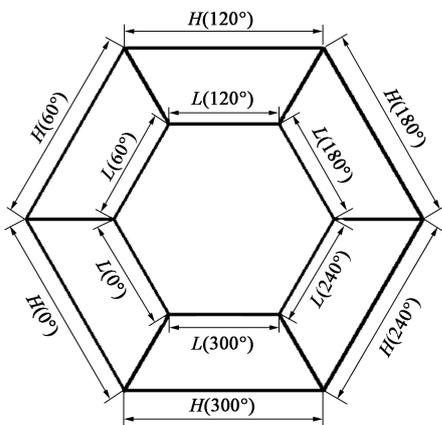


图 6 测量边分布

Fig. 6 Measurement edge distributions

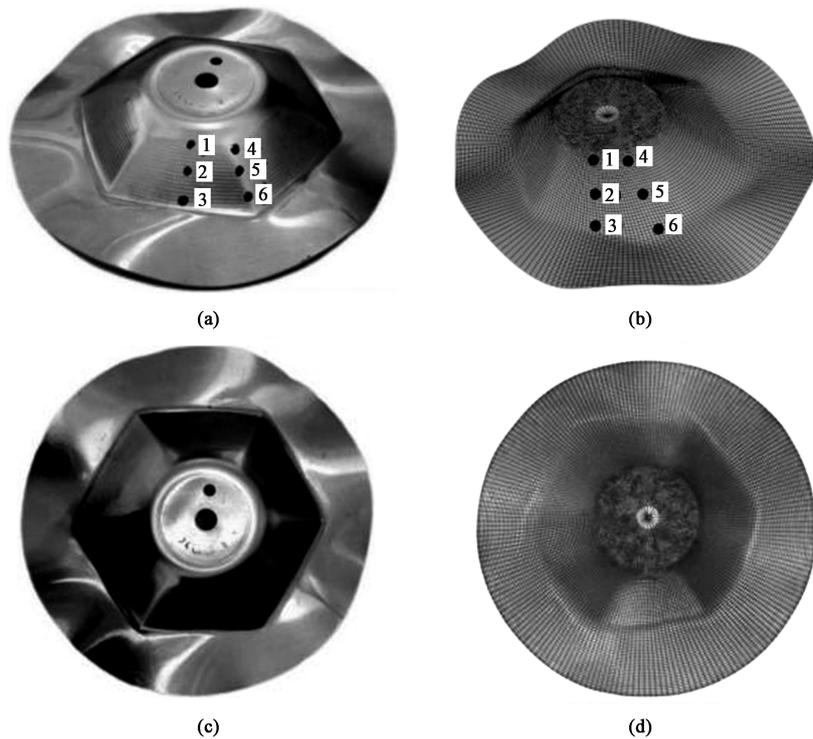


图 7 实验结果与模拟结果对比

(a) 实验件轴测图 (b) 模拟件轴测图 (c) 实验件俯视图 (d) 模拟件俯视图

Fig. 7 Comparison of experimental and simulation results

(a) Axonometric view of experimental part (b) Axonometric view of simulated part (c) Top view of experimental part (d) Top view of simulated part

6 个全等斜坡面的正六锥台形状，模拟和实验件形貌吻合良好。六边锥台薄壁件数模顶面单边长度理论值为 30.00 mm，锥台半锥角为  $45^\circ$ ，底面单边长度理论值为 51.87 mm。可得本文所建立有限元模型可靠，模拟结果可信。

对实验件进行进一步检测，发现试件壁厚最大减薄率为 29%，发生在点 2 位置，最小减薄率为 12%，发生在点 4 位置；法兰位置有轻微褶皱，这是因为旋轮与板坯接触区有一定的面积，并不是一个理想的点，板坯旋转时在切向形成线速度的同时

在径向也会挤压金属形成流动速度，成形棱边时的旋转半径大于成形斜面中线时的旋转半径，造成圆周方向的金属流动不一致。关于无模旋压成形精度的控制方面，可以通过推导轨迹修正公式、进行刀具路径补偿等方法来解决。具体方法为：设置多组参数，如进给速度、转速、成形角度、坯料与成形件最大开口直径比等，进行多次实验对比，以选取最优工艺参数，保证产品精度。

### 2.3 模拟结果分析

图 8 显示了无模旋压进行至 3、6、9 s 时应力的

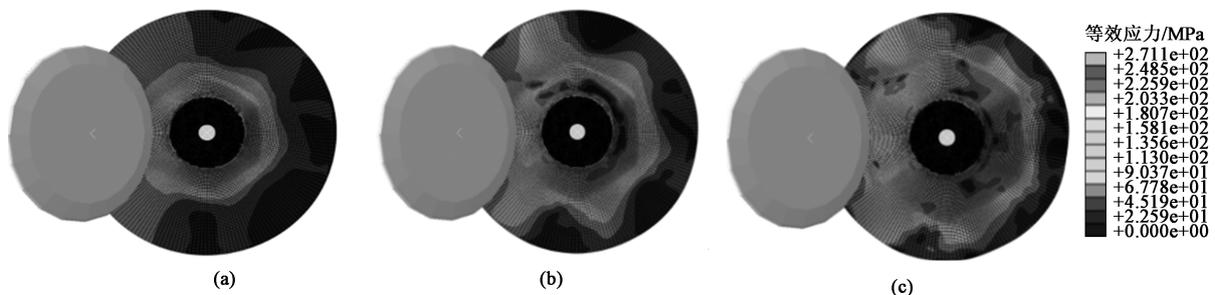


图 8 不同无模旋压阶段的等效应力云图

(a) 3 s (b) 6 s (c) 9 s

Fig. 8 Equivalent stress cloud diagrams at different stages of dieless spinning

变化情况。在成形初始阶段,等效应力小于材料的屈服强度时,材料发生弹性变形;达到并超过材料的屈服强度后会产生塑性变形。从图8中可看出,无模旋压成形全程中的最大等效应力值一直发生在旋轮与板坯的接触区上,当六边锥台斜坡面远离旋轮后,所分布的等效应力减小,整体呈现锥台应力上部小、下部大的特征。这是因为:在无模旋压成形的整个过程中无内部支撑,六边锥台形成过程中金属流动分布不均匀,远离旋转中心轴的棱边金属流出量小,斜坡面中部金属流出量大,但随着成形过程的进行,这种流动差越来越大,因此,板坯在成形锥台上部时的等效应力较小,而成形至锥台下部时等效应力值增大。成形结束时,等效应力最大值为266.69 MPa。芯轴圆角区域也呈现较大的等效应力值,这意味着随着旋

压成形的进行,旋轮产生的拉应力增大,芯轴对板坯的支撑力也增大,导致板坯在芯轴圆角区域发生应力集中。为避免在实际无模旋压过程中出现这种现象,必须设置合理的芯轴端面边缘倒角半径。

图9为旋压过程中等效应变场的分布情况。等效应变在成形过程中较为均匀地分布在六边锥台6个斜坡面上。由图9还可以发现,随着旋压变形的进行,等效应变值不断增大,且每个斜坡面下部的等效应变分布较大。这是由于在成形斜坡面时,旋轮行进到棱边位置处的旋转半径大,在坡面中部的旋转半径小,这样斜坡面中部的板料金属在圆周方向就有堆积趋势,此外随着旋轮的轴向进给,处于旋轮中部的金属沿斜坡面向外流出量也较大,造成斜坡面中下部的整体变形量较大。

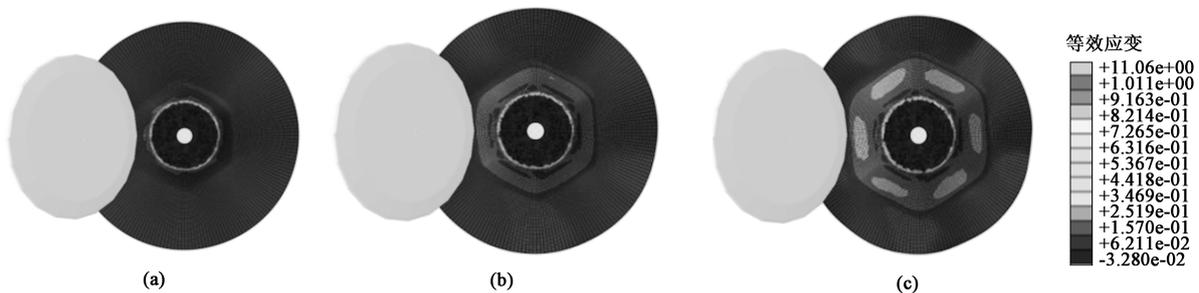


图9 不同无模旋压阶段的等效应变云图

(a) 3 s (b) 6 s (c) 9 s

Fig. 9 Equivalent strain cloud diagrams at different stages of dieless spinning

有限元模拟件斜坡面壁厚分布与棱边壁厚分布如图10所示。从图10中可以发现,无论六边锥台的斜坡面还是棱边,在经过无模旋压变形后壁厚均发生了减薄。虽然存在上文所述的“中间堆积”作用(即六边锥台斜坡面中部在旋压成形时,因旋转半径较同层路径上棱边旋转半径小而产生的金属流入挤压作用),但斜坡面中部的金属流出量也较棱

边大,因此壁厚相差无几。由于材料、润滑、有限元迭代计算等模型误差,有限元计算结果与实验结果也存在一定的不一致,需要不断提高模型精度。

### 3 结论

(1) 采取离散化的思想,将布置在六边锥台薄壁件上完整的旋轮轨迹分解为有限个连续的螺旋线段,在此基础上解析并且推导出旋轮位移的轴向与径向进给公式。

(2) 建立了六边锥台薄壁件无模旋压有限元模型并进行仿真分析,研究并揭示了成形过程中不同时刻的等效应力、等效应变场以及壁厚分布特征及相关金属流动机理。

(3) 采用相同工况参数进行了六边锥台薄壁件无模旋压实验,得到外部形貌与有限元模拟结果吻合良好的试件,对比实验件与模拟件的壁厚分布,发现两者最大偏差为3.7%,验证了有限元模拟结果的可靠性。

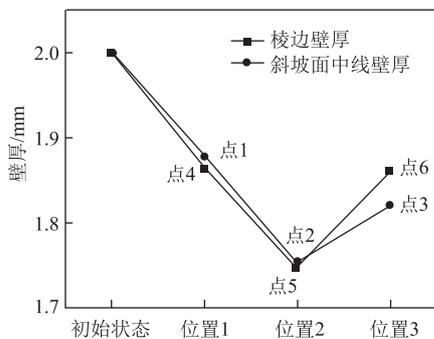


图10 有限元模拟件斜坡面壁厚与棱边壁厚分布曲线

Fig. 10 Wall thickness distribution curves of slope surface and edge in finite element simulated parts

## 参考文献:

- [1] Xia Q X, Xiao G F, Long H, et al. A review of process advancement of novel metal spinning [J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2014, 85 (7): 100-121.
- [2] Gao P F, Yan X G, Li F G, et al. Deformation mode and wall thickness variation in conventional spinning of metal sheets [J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2022, 173: 1-21.
- [3] Zhan M, Yang H, Guo J, et al. Review on hot spinning for difficult-to-deform lightweight metals [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2015, 25 (6): 1732-1743.
- [4] Hirohiko A. Robotic metal spinning-shear spinning using force feedback control [J]. Journal of the Robotics Society of Japan, 2004, 22 (6): 798-805.
- [5] Hirohiko A. Robotic metal spinning-forming non-axisymmetric products using force control [J]. Journal of the Robotics Society of Japan, 2006, 24 (1): 140-145.
- [6] 夏琴香, 张赛军, 梁佰祥, 等. 三维非轴对称偏心管件旋压成形时的变形力分析 [J]. 机械工程学报, 2005, 41 (10): 200-204.
- Xia Q X, Zhang S J, Liang B X, et al. Deformation force analysis of three-dimensional non-axisymmetric eccentric pipe fittings during spinning [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2005, 41(10): 200-204.
- [7] Xia Q X, Lai Z Y, Long H, et al. A study of the spinning force of hollow parts with triangular cross sections [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, 68 (9-12): 2461-2470.
- [8] Kuang W H, Xia Q X, Ruan F. Process analysis and experimental investigation of multi-pass offset spinning [J]. Journal of South China University of Technology, 2006, 34 (2): 12-16, 21.
- [9] Liu B M, Gao S, Jia Z, et al. Non-axisymmetric die-less spinning using ball-crown-shape roller [J]. Journal of Manufacturing Processes, 2022, 79 (1): 70-80.
- [10] 程秋谋, 康达昌, 吴海江, 等. 椭圆异形件旋压工艺的研究 [J]. 塑性工程学报, 1997, (1): 57-60.
- Cheng Q M, Kang D C, Wu H J, et al. Research on the spinning process of elliptical shaped parts [J]. Journal of Plasticity Engineering, 1997, (1): 57-60.
- [11] Shimizu I. Asymmetric forming of aluminum sheets by synchronous spinning [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2010, 210 (4): 585-592.
- [12] Jia Z, Ye T, Han Z, et al. Study on die-less spinning of cone-cylinder combined hollow parts [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2019, 271: 488-498.
- [13] Jia Z, Han Z R, Xu Q, et al. Numerical simulation and experiment study on hollow spinning process for square cross section cone [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 75 (9-12): 1605-1612.
- [14] 贾震, 包惠莉, 孙泽霖, 等. 同/异种合金焊接接头旋压成形研究现状及展望 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (1): 17-23.
- Jia Z, Bao H L, Sun Z L, et al. Research status and prospect on spinning for welded joint of the same/dissimilar alloys [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (1): 17-23.

# AFDEX

INTELLIGENT METAL FORMING SIMULATOR

智能化金属成形模拟软件

◆**易用**: 简单、友好, 且在不断优化的操作界面, 大量的学习向导以及应用实例, 使工程师不但上手轻松, 更不会在使用中气馁, AFDEX 可以帮助您轻松分析锻造工艺。

◆**准确**: 超过 500 个实际生产应用案例, 包含复杂的冷温热多工位锻造、闭塞锻造、径向锻造、辊锻、辗环等几乎所有锻压成形工艺的模拟。AFDEX 的准确性和能力, 已经在全球百余家制造企业的生产中得到了验证。

◆**各种结果同时展示**: AFDEX 的后处理平台, 可以在运算的同时, 实时显示各种结果: 变形形状、节点的速度、应变、应变率、应力、金属流线、某点流动、边界节点应力、界面应力、温度分布、损伤、磨损、体积变化、载荷等。

◆**自动分析多工步工艺, 轻松进行模具分析**: AFDEX 可以自动对多工位的锻造工艺进行模拟, 无需用户的干预。模具分析与优化是工程师的重要工作, 在 AFDEX 中, 您只需要点击两下鼠标, 即可以对模具进行模拟分析, 结果实时展示给用户。

◆**丰富的材料库与设备模型**: AFDEX 中提供了丰富的开放式材料数据库, 包括美日德标的各种黑色金属、轻合金以及模具钢等两百余种材料数据。用户也可根据自己的需要定制材料库。另外, AFDEX 集成了实际生产中常用的设备模型, 包括液压机、机械压

力机、螺旋压力机、锻锤等。可以满足用户各种成形条件下模拟的需要。

◆**适合多种人群使用**: AFDEX 不强迫锻造工程师了解软件执行的相关理论和有限元方法, 在 AFDEX 的开发理念中, 即使是新手也能轻松的学习和使用它。同时 AFDEX 提供了多国语言界面的支持。

◆**卓越的成本效益**: AFDEX 更了解中国, 专为中国用户而制定的低成本运作政策, 显著降低了用户的采购及使用成本, 具有卓越的成本效益。

◆**我们能够提供的不仅是软件**: AFDEX 一直坚持的开发商与服务商一体化, 可以提供更好的本土化服务与定制服务。中韩技术团队, 为您提供终身的维护服务。在软件之外, 我们更可以为您提供工艺技术开发与制造服务, 协助您进行工艺开发、优化设计、学术研究、装备与生产线建设。

**BRIMET 中国机械总院集团北京机电研究所有限公司**

地址: 北京市海淀区学清路 18 号 2 层 邮编: 100083

电话: 010-82415037, 82415024

传真: 010-62943911

E-mail: info@afdex.com.cn, afdexcn@gmail.com

HTTP://WWW.AFDEX.COM.CN

(以上数据和资料由中国机械总院集团北京机电研究所有限公司提供)