

理论与试验研究

双辊夹持板料旋压成形过程塑性变形行为的研究

范淑琴, 赵升吨, 张琦, 王春晖

(西安交通大学 机械工程学院, 西安 710049)

摘要: 双辊夹持式板料旋压成形是用来加工薄壁回转体法兰零件的新工艺。为了研究其旋压成形过程中的塑性变形行为, 利用 ABAQUS 软件建立了双辊夹持旋压成形过程的三维有限元模型, 并进行了薄壁回转体法兰零件的旋压成形过程的数值模拟, 获得了成形过程中等效应力、应变及壁厚的分布。研究了翻边长度对成形件应力应变及壁厚减薄率的影响规律。结果表明等效应力、应变及最大壁厚减薄率均随着翻边长度的增大而增大, 由此根据不同的毛坯材料可以确定相应的最大翻边长度。

关键词: 双辊夹持; 旋压; 数值模拟; 薄壁法兰

中图分类号: TG386 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2010)01-0001-04

Research on Plastic Deformation Behavior of Double Rollers Clamping Sheet Metal Spinning Process

FAN Shu-qin, ZHAO Sheng-dun, ZHANG Qi, WANG Chun-hui

(School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiao Tong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Double rollers clamping sheet metal spinning is a new process to form thin-walled rotary shell parts with complex flange. In order to study the plastic deformation of the new process, FE simulation code ABAQUS/Explicit was used to build the 3D simulation model, and then the spinning process and material deformation were simulated. Distribution of equivalent stress, equivalent strain and wall thickness of flange were obtained. And the effect of flange length on the stress, strain and reduction in wall thickness of formed part was studied. Results show that equivalent stress, equivalent strain and maximum reduction in wall thickness increase with the increase of flange length, so the maximum flange length can be obtained according to different blank materials.

Key words: double rollers clamping; spinning; numerical simulation; thin walled flange

随着制造业的迅速发展, 对一些具有复杂曲面法兰构型的薄壁回转体零件的需求及其制造要求逐渐增加, 如内燃机强力引风罩、电除尘器喇叭口、高压开关屏蔽罩、航空发动机延伸段和收敛段等^[1-5]。特别在风机工业中对于大、中型风机用集风器、风筒等部件的喇叭口及凸缘法兰零件的制造中, 制造精

度满足不了使用要求。对于这些薄壁回转体法兰零件的加工, 传统的加工方法如冲压、拉伸、分瓣、焊接、打磨等, 成形工序多, 得到的零件精度低、表面粗糙, 因此, 双辊夹持板料旋压成形工艺被用来加工薄壁回转体法兰零件。该工艺是一种新型的无模旋压成形工艺, 双辊夹持板料旋压成形系统包括 4 个部

收稿日期: 2009-12-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50905137); 科技人员服务企业行动项目(2009CJG00029)

作者简介: 范淑琴(1977-), 女, 回族, 山西曲沃县人, 博士生, 主要研究方向为塑性成形工艺及设备。

分:旋压头、旋辊、内胀式夹具、工件,如图1所示。

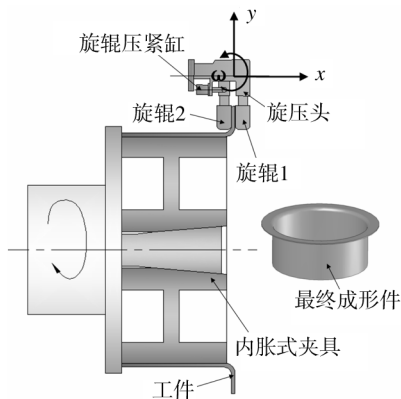


图1 双辊夹持板料旋压成形示意

Fig. 1 Schematic diagram of double rollers clamping sheet metal spinning.

双辊夹持板料旋压成形采用内胀式夹具将毛坯夹持固定,成形时毛坯随夹具在主轴的带动下一起转动,并被2个旋辊夹紧。2个旋辊进行自转的同时,在旋压头的带动下做3个自由度的运动: x 、 y 方向的平动和绕 z 轴的转动。2个旋辊的长度大于其自身的直径,因此旋辊与毛坯的接触面积较大。由于工件的最终形状由旋辊运动轨迹决定,不是由芯模外形轮廓决定,因此双辊夹持旋压成形为无模的柔性高精度的旋压成形工艺。采用双辊夹持板料旋压成形工艺方法只需一个工艺就可完成薄壁回转体

法兰部位的成形,成形效率和质量均高于传统的加工方法。因此,对双辊夹持板料旋压成形机理及成形工艺进行研究势在必行。

随着计算机技术和有限元理论的发展,有限元数值模拟已成为研究旋压成形规律不可或缺的手段,但是目前对旋压成形的数值模拟的研究主要集中在强旋^[6-8]、拉深旋压^[9-10]和缩径旋压^[11]的有限元模拟研究。双辊夹持板料旋压成形是一种新的旋压成形工艺,还没有看到对其进行有限元模拟研究的文献。

文中采用非线性有限元分析软件 ABAQUS/Explicit 对双辊夹持板料旋压成形过程进行有限元模拟计算,建立了该成形工艺的三维有限元模型。利用该模型研究了翻边长度对成形件的应力应变分布和壁厚分布的影响规律,为进一步的双辊夹持板料旋压成形工艺的实验研究奠定基础。

1 双辊夹持板料旋压成形的有限元模型

为了便于分析并有较高的求解精度,在有限元分析模型中作如下假设和简化。

- 1) 变形材料为均一、各向同性和不可压缩的;
- 2) 旋辊和内胀式夹具均假设为刚体,不发生变形;
- 3) 忽略变形中的温度效应,将变形假设为等温变形。

模型中旋辊和毛坯的几何外形如图2所示,几何尺寸及旋辊工艺参数见表1。

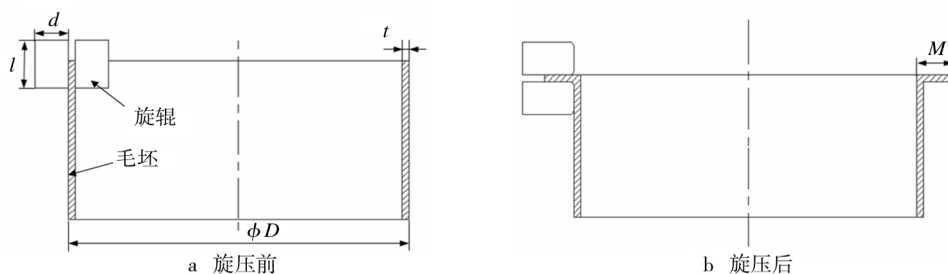


图2 有限元模型中采用的毛坯及旋辊几何外形尺寸

Fig. 2 Geometrical configuration and dimensions of blank and rollers in FE model

表1 工件和旋辊的几何尺寸及工艺参数

Table 1 Dimensions of blank and rollers and process parameters

毛坯几何尺寸		旋辊几何尺寸			旋辊工艺参数	
直径	壁厚	直径	长度	圆角半径	旋辊进给率	翻边长度
D / mm	t / mm	d / mm	l / mm	r / mm	$f / (\text{rad} \cdot \text{r}^{-1})$	M / mm
1000	6	100	150	12	0.16	30, 50, 70, 90

文中所建立的双辊夹持旋压成形有限元模型如图3所示,为了减小旋转毛坯所带来的动态效应,模

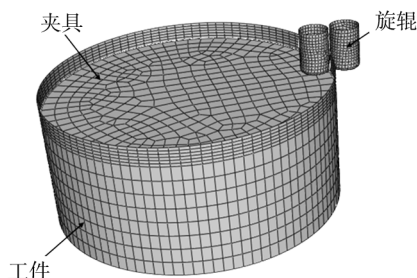


图3 双辊夹持旋压成形有限元模型

Fig. 3 FE model of double rollers clamping spinning process

拟时假设夹具和毛坯固定不动,毛坯下端固定,上端无任何约束;两个旋辊夹持毛坯,绕芯轴公转的同时作翻转运动实现工件的直角翻边。该模型中的毛坯采用 S4R 壳体单元,夹具和旋辊均视为离散刚体,采用 R3D4 单元。模型中的毛坯材料选用 BH210,

其杨氏模量 $E = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa}$, 质量密度 $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$, 屈服应力 $\sigma_s = 210 \text{ MPa}$, 泊松比 $\nu = 0.28$, 真实应力-应变曲线如图4所示。

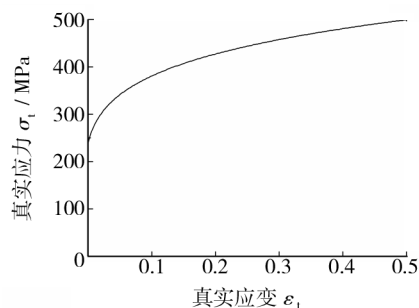


图4 材料的真实应力应变曲线

Fig. 4 True stress-strain curve of material

2 模拟结果和分析

双辊夹持旋压成形过程等效应力、等效应变、壁厚分布如图5所示。从图5a中可以看到等效应力最大值出现在旋辊与毛坯接触的部位。从图5b中

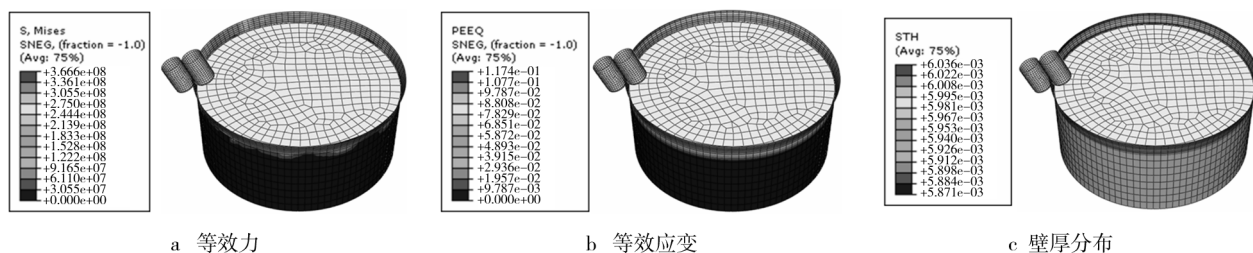


图5 等效应力应变及壁厚分布

Fig. 5 Distribution of equivalent stress, strain and wall thickness

可看到工件在成形过程中,毛坯筒体大部分都没有参与变形,仅仅在法兰翻边处有较大塑性变形,等效应变在法兰边上的分布为沿着径向从中心向外缘逐渐增大,应变最小值位于法兰最内侧,应变最大值位于法兰最外侧,应变越大,则变形越剧烈,壁厚减薄就越严重,这与图5c所示的壁厚分布情况一致。从图5c中可以看到法兰部位的壁厚分布为沿径向从中心到外缘逐渐减小,在法兰边最内侧应变最小处壁厚最大,在最外侧应变最大处壁厚最小,这是由于成形中毛坯料切向受到拉应力,径向受到压应力造成的。

翻边长度对最大等效应力应变影响的曲线如图6a所示,横轴代表旋压成形过程,左纵轴表示最大

等效应力 $\sigma_{e \max}$, 右纵轴表示最大等效应变 $\varepsilon_{e \max}$ 。从图6a中可以看到,最大等效应力与最大等效应变随成形过程的进行均逐渐增大,而且最大等效应力应变随着翻边长度的增大而增大,成形中工件产生的应力应变越大则所需的旋压力越大,由此可知翻边长度越大就越费力。

成形件最大壁厚减薄率与翻边长度的关系曲线如图6b所示,横轴代表旋压成形过程,纵轴代表最大壁厚减薄率 $\psi_{\max}$ 。可以看到,随着翻边长度的增大,最大壁厚减薄率变大。当毛坯材料确定时,最大壁厚减薄率就是确定的,这时可以得到工件的最大翻边长度。

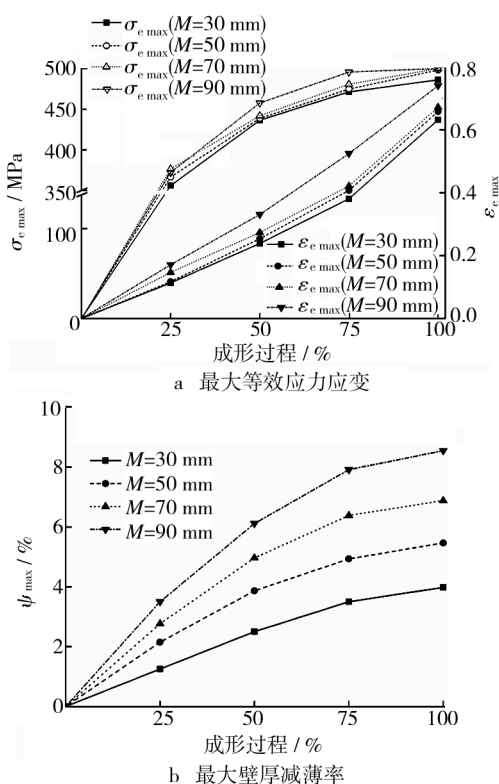


图6 翻边长度对最大等效应力、应变和壁厚减薄率的影响

Fig. 6 Effects of flange length on maximum equivalent stress, strain and reduction in wall thickness

3 结语

1) 利用 ABAQUS 软件建立了双辊夹持旋压成形过程的三维有限元模型,通过数值模拟获得了成形件的应力、应变及壁厚分布规律。

2) 工件在成形过程中,毛坯筒体大部分都没有参与变形,仅仅在法兰翻边处有较大塑性变形,等效应力最大值出现在旋辊与毛坯接触的部位;等效应变在法兰边上的分布为沿着径向从中心向外缘逐渐增大,应变最小值位于法兰最内侧,应变最大值位于法兰最外侧;法兰部位的壁厚分布为沿径向从中心到外缘逐渐减小,在法兰边最内侧应变最小处壁厚最大,在最外侧应变最大处壁厚最小。

3) 翻边长度对等效应力、等效应变和最大减薄率的影响趋势相同,即翻边长度越大,等效应力、应变及最大减薄率越大。毛坯材料确定时可以得到薄壁回转体法兰零件的最大翻边长度。

参考文献:

- [1] 党民,王立志,殷启龙.薄壁异形回转体零件的成形工艺试验[J].机械工人·热加工,2003(7):67-68.
- [2] 张良,白明华.电除尘器喇叭口气流分布仿真分析[J].安全与环境学报,2008(5):69-72.
- [3] 冯晗,张建林,王振生.高压开关屏蔽罩普旋成形工艺的研究[J].锻压技术,2005(1):33-36.
- [4] 石玉峰,刘建章.铌合金辐射冷却喷管延伸段的研制[J].稀有金属材料与工程,1982(4):1-5.
- [5] 付敏琦,李忠禄,郭会民.液体火箭发动机收敛段内壁强力旋压-胀形工艺试验[J].火箭推进,2001(4):32-36.
- [6] XU Y, ZHANG S H, LI P, et al. 3D Rigid-plastic FEM Numerical Simulation on Tube Spinning [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 113(1-3): 710-713.
- [7] HUA F A, YANG Y S, ZHANG Y N, et al. Three-dimensional Finite Element Analysis of Tube Spinning [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 168(1): 68-74.
- [8] BAI Qian, YANG He, ZHAN Mei. Finite Element Modeling of Power Spinning of Thin-walled Shell with Hoop Inner Rib [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2008, 18(1): 6-13.
- [9] QUIGLEY E, MONAGHAN J. The Finite Element Modeling of Conventional Spinning Using Multi-domain Models [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 124(3): 360-365.
- [10] LIU Chun-ho. The Simulation of the Multi-pass and Die-less Spinning Process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 192-193(1): 518-524.
- [11] XIA Q X, XIE Sh W, HUO Y L, et al. Numerical Simulation and Experimental Research on the Multi-pass neck-spinning of Non-axisymmetric Offset Tube [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 206(1-3): 500-508.