

直角法兰双辊夹持扩旋成形有限元模型的确定

范淑琴, 赵升吨, 张琦, 王春辉
(西安交通大学机械工程学院, 710049, 西安)

摘要: 为了得到适合于直角法兰双辊夹持扩旋成形模拟的有限元模型, 基于 ABAQUS/Explicit 平台, 针对常用的工件转动与不转动的建模方法, 建立了 2 种直角法兰双辊夹持扩旋成形有限元模型. 利用这 2 种模型对旋压成形过程分别进行了数值模拟, 从旋辊轨迹、动态效应、计算时间、计算结果等方面比较分析了 2 种模型对双辊夹持扩旋成形模拟的影响. 数值模拟结果表明, 工件转动模型得到的最大等效应力应变偏大, 而采用工件不转动模型不仅可以提高计算精度, 而且可有效地降低计算时间, 因此最终确定工件不转动模型为所研究的最佳有限元模型.

关键词: 直角法兰; 双辊夹持; 扩旋; 有限元模型

中图分类号: TG306 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2010)05-0066-05

Finite Element Model Determination of Double Rollers Clamping Expanding Spinning for Right-Angle Flange

FAN Shuqin, ZHAO Shengdun, ZHANG Qi, WANG Chunhui
(School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: To obtain the reasonable model of double rollers clamping expanding spinning, based on ABAQUS/Explicit, two models are established in case of unrotating rotating workpiece. Following the two models, the forming process for right-angle flange is analyzed. And then the effects of two models on simulation are investigated in terms of roller path, dynamic effects, computing time and computing results. Compared with the model for rotating workpiece, the model for unrotating workpiece enables to improve the calculation accuracy and shorten computing period. Although stress and strain distributions of the two models are similar at the same place of the workpiece, the equivalent stress and strain values obtained from the model for rotating workpiece get greater. It is verified that the model for unrotating workpiece is the optimal one to simulate double rollers clamping expanding spinning process with finite element method.

Keywords: right-angle flange; double rollers clamping; expanding spinning; finite element model

现阶段我国对于风机工业中大、中型风机用集风器、风筒等部件的喇叭口, 以及凸缘法兰零件的制造, 基本上均采用冲压、分瓣、焊接、打磨等传统加工方法, 而用这些方法制造的零件精度低, 表面质量差, 对模具的需求量大, 制造成本高, 工作可靠性差. 根据风机产品零件的特点, 采用薄壁回转件直接进行法兰部位双辊夹持扩旋成形是一种很好的成形方法, 但对普旋过程的精确数值模拟目前还处于试探

性研究阶段, 并主要集中在普旋中的拉深旋压和缩径旋压的有限元模拟研究方面^[1-4]. 对旋压进行有限元分析主要采用动态显式算法, 其建模的方法有: ①芯模和工件一起旋转, 旋辊自转并做平面运动^[4-7]; ②芯模和工件不动, 旋辊沿着工件公转做空间运动^[3,8]. 在同样的工艺参数下, 采用这 2 种不同模型进行有限元模拟计算, 通过计算结果的比较来选择较合理的模型作为进一步计算的有限元模型.

本文基于非线性有限元软件 ABAQUS/Explicit,建立了薄壁回转体直角法兰的双辊扩旋成形三维有限元分析模型,并针对上述 2 种建模方法进行了分析比较,确定了合理的有限元模型,为进一步的旋压成形模拟计算奠定了基础.

1 有限元模型的建立

如图 1 所示,取 d_m 为 1 000 mm, δ 为 6 mm, d 为 100 mm, H 为 150 mm,旋辊在 1 s 内完成 90° 的翻边成形, l 为 50 mm,选取旋辊进给率 $f=0.16$ rad/r. 模型中的毛坯选用 BH210 材料,杨氏模量 $E=2.07\times10^5$ MPa,质量密度 $\rho=7\,850$ kg/m³,屈服应力 $\sigma_s=210$ MPa,泊松比 $\nu=0.28$,真实应力-应变曲线如图 2 所示.

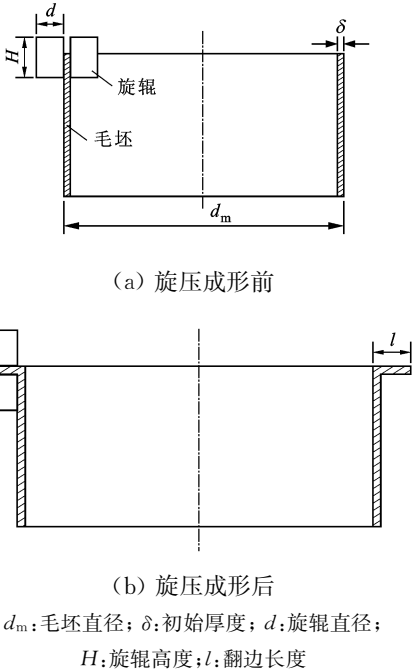


图 1 有限元模型中毛坯和旋辊的几何外形参数

如图 3 所示,为利用 ABAQUS 软件建立薄壁回转体直角法兰双辊夹持扩旋成形有限元模型,采用 2 个旋辊夹持毛坯(变形体)、S4R 壳体单元进行网格划分,芯模和旋辊均视为离散刚体,采用 R3D4 单元进行网格划分,并对毛坯变形区和旋辊圆角处进行网格细化.分别定义芯模与毛坯、旋辊与毛坯之间的接触关系.采用第 1 种工件转动模型模拟时,芯模带动毛坯一起旋转,2 个旋辊做翻转运动以实现工件的直角翻边.采用第 2 种工件不转动模型模拟时,芯模和毛坯固定不动,毛坯下端固定,上端无任何约束,2 个旋辊沿着毛坯绕芯轴公转的同时做翻转运动以实现工件的直角翻边.

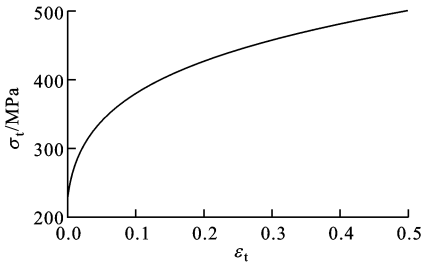


图 2 毛坯材料的真实应力-应变曲线

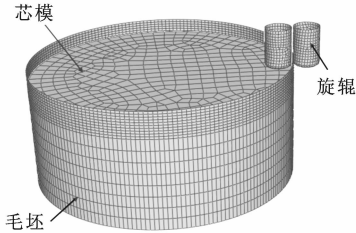


图 3 双辊夹持扩旋成形的有限元模型

2 2 种有限元模型的比较分析

2.1 旋辊运动轨迹

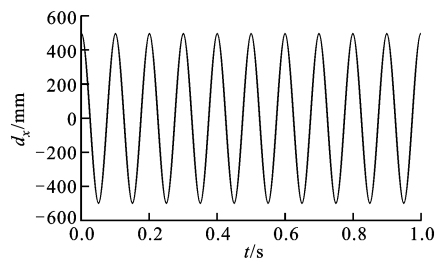
第 1 种工件转动的模型为芯模带动毛坯一起旋转,旋辊只做翻边运动,因此旋辊运动轨迹较为简单,旋辊参考点只需加载绕 y 轴的角速度载荷 ω_y 即可实现,取 $\omega_y=\pi/2$ rad $\cdot$ s⁻¹.

第 2 种工件不转动的模型为旋辊绕芯轴做公转运动的同时做翻边运动,旋辊轨迹相对比较复杂,如图 4 所示.旋辊需要在 5 个自由度上加载控制:①将绕 z 芯轴的公转角速度载荷 ω_z 取为 20π rad $\cdot$ s⁻¹;② x 轴方向的位移载荷 d_x ;③ y 轴方向的位移载荷 d_y ;④绕 x 轴的转动角速度载荷 ω_x ;⑤绕 y 轴的转动角速度载荷 ω_y .因此,从旋辊运动轨迹复杂程度方面考虑,工件转动模型更容易实现.

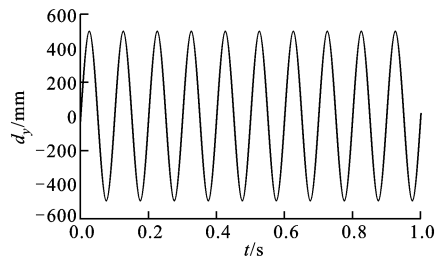
2.2 动态效应特性

采用动态显式的有限元方法进行计算时,为了缩短计算时间,所用的加载速度比实际加工中的速度值要大很多,此时将会产生动态效应,只有将动态效应控制在一定的范围内才能保证计算结果的准确性.因此,在建立有限元分析模型时,应该考虑动态效应的影响,并通过系统动能和内能比 γ 来评定动态效应.

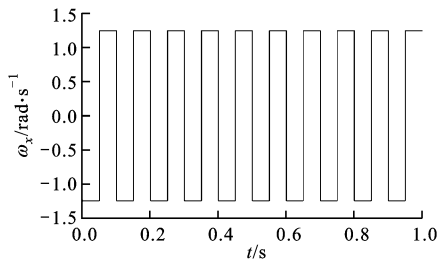
采用工件转动与工件不转动的建模方法,对直角法兰双辊夹持扩旋成形中的动态效应进行比较.从图 5 中可以看到,工件转动情况下的动态效应远大于工件不转动情况下的动态效应,而且旋辊进给率越小,这 2 种情况下的动态效应差别就越大.这是



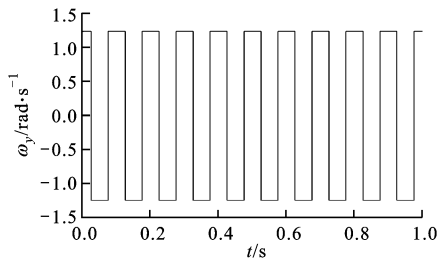
(a) x 方向的位移



(b) y 方向的位移



(c) 绕 x 轴转动的角速度



(d) 绕 y 轴转动的角速度

图 4 工件不转动模型旋辊参考点上的加载曲线

因为与工件不转动模型相比,工件转动使得系统动能变大,从而产生的动态效应也变大,而旋辊进给率越小,工件转动速度则越大,使得动态效应与工件不转动模型的差别就越明显。

图 6 所示为在其他参数都不变的情况下,取不同旋辊进给率时,2 种模型的动态效应比较。从图 6 中可以看出,采用工件转动与不转动模型进行计算时,给定不同的旋辊进给率,成形中系统的动态效应呈相同的变化趋势,即随着时间的推移,动态效应减小,最后趋于稳定。系统的动态效应随着旋辊进给率的减小而增大,这是因为旋辊进给率为工件转动一

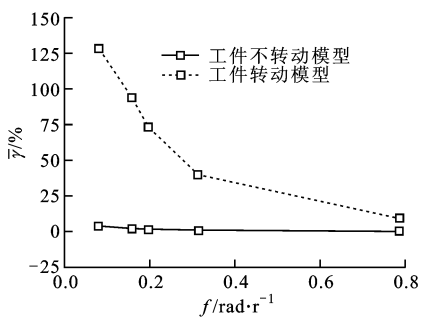
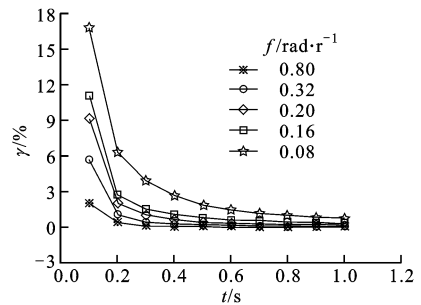
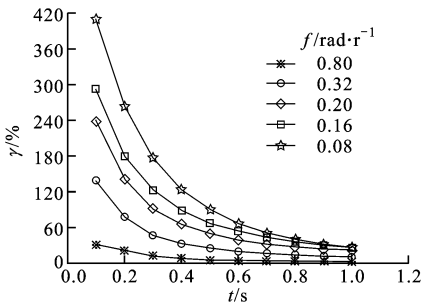


图 5 2 种模型动态效应平均值的比较

周时旋辊翻边的弧度,所以旋辊进给率减小则工件转动的速度增大,动态效应也越大。因此,工件不转动模型优于工件转动模型,而且在成形中旋辊进给率应尽量取较大的值。



(a) 工件不转动模型



(b) 工件转动模型

图 6 旋辊进给率对 2 种模型动态效应的影响

2.3 计算时间

在计算时间步相同的情况下,工件转动模型的模拟计算时间大概是工件不转动模型的 10 倍,如图 7 所示。影响计算时间的因素有很多,例如划分网格的多少、单元的大小等,而本文中的 2 个模型在设置条件均相同的情况下,出现的计算时间差别主要是因为工件转动使得工件参与计算的部分变大,从而造成了计算工作量变大。因此,为了提高计算效率,应优先选取工件不转动模型进行模拟计算。

2.4 计算结果

如图 8 所示,当直角法兰旋压成形 50% 时,在工件与旋辊接触处等效应力均为最大值,工件转动

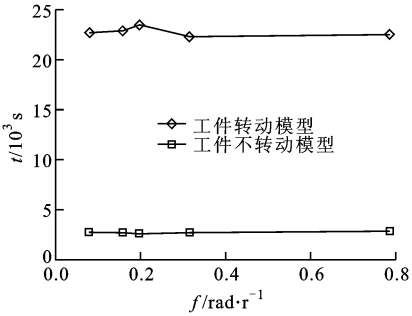


图 7 2 种模型计算时间的比较

模型中毛坯筒体由于是绕主轴转动,因此产生了较大的应力,而工件不转动模型中的毛坯筒体应力较小,只是在靠近翻边部位应力较大.图 9 所示为当直角法兰旋压成形 50%时,由 2 种模型计算得到的等效应变分布情况,可以看到 2 种模型的等效应变在毛坯筒体处很小,应变主要集中在法兰部位.从图 9a 中可以看到,当采用工件转动模型计算时,由于工件随着芯模一起旋转,工件法兰部位的根部在翻边过程中与芯模接触并相互作用,因此产生了较大的应变,在法兰翻边的根部出现应变最大值,而与芯模没有接触的翻边部分的应变值较小.工件沿径向向外缘发展,在旋辊的作用下应变值逐渐增大,在最外缘达到最大值.从图 9b 中可以看到,采用工件不转动模型计算时,由于工件不转动,工件与芯模之间没有相互作用,与芯模相接触的法兰根部在翻边的过程中产生的应变较小,因此在旋辊的作用下,工件沿法兰翻边从根部向外缘的应变值逐渐增大,在最外缘达到最大值.

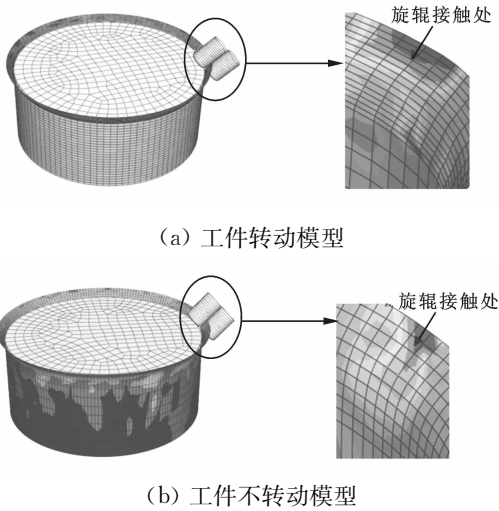


图 8 工件的等效应力分布结果

图 10 所示为由 2 种模型计算得到的最大等效应力 $\sigma_{\max}$ 和最大等效应变 $\epsilon_{\max}$ 的变化曲线,随着成形过程的进行,应力、应变都逐渐增大,而且工件转动

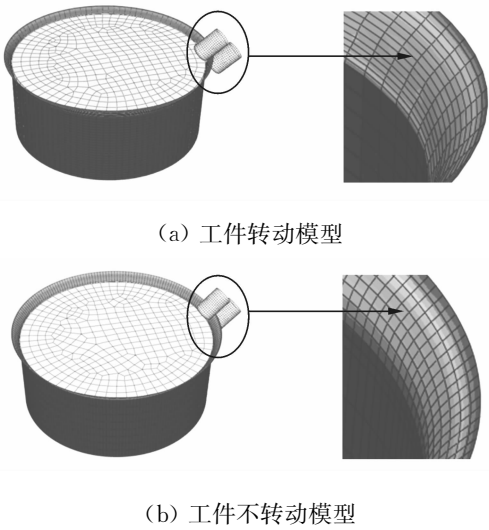


图 9 工件的等效应变分布结果

模型计算得到的应力、应变均比工件不转动模型计算得到的数值要大.其中,工件转动模型计算得到的等效应力、等效应变分别为工件不转动模型的 1.06 和 1.3 倍左右,因为 2 种模型计算时系统的动能不同,所以产生的动态效应也不同.工件不转动模型的动态效应非常小,可以认为其有限元分析过程为准静态过程,而工件转动模型的动态效应非常明显,远远大于工件不转动模型,从而引起非真实的应力波,不能保证是准静态分析过程,所以产生不准确的解且值偏大.

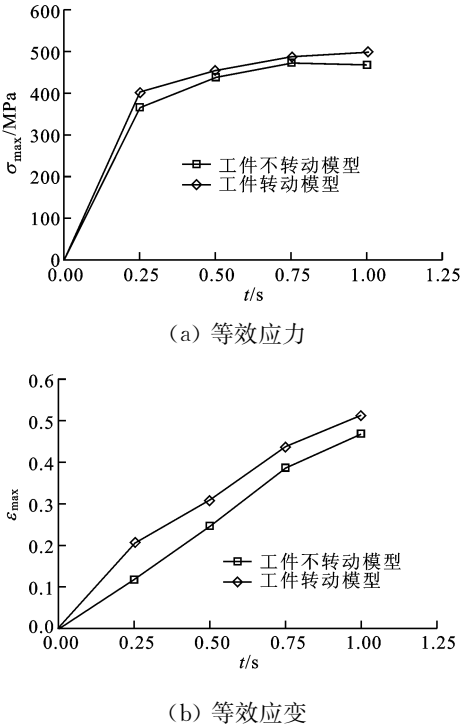


图 10 工件转动与不转动模型的计算结果比较

3 结 论

本文采用非线性有限元软件 ABAQUS/Explicit, 对直角法兰双辊夹持扩旋成形进行了有限元模拟计算, 并针对工件转动和不转动的建模方法进行了分析比较. 结果表明: 对直角法兰双辊夹持扩旋成形进行有限元模拟时, 如果采用工件转动模型进行计算, 其旋辊运动轨迹较为简单、易实现, 但计算时间约为工件不转动模型的 10 倍, 因此计算效率、精度较低, 而且动态效应远大于工件不转动模型. 采用工件转动模型计算得到的等效应力、等效应变值分别为工件不转动模型的 1.06 倍和 1.3 倍左右, 所以在选取计算模型时, 应优先选取工件不转动模型.

参考文献:

- [1] LIU Jianhua, YANG He, LI Y Q. A study of stress and strain distributions of first-pass conventional spinning under different roller traces [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 129(1/3): 326-329.
- [2] 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.
- [3] XIA Qinxian, XIE Shiwei, 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.

- [4] LIU Chunho. The simulation of the multi-pass and dieless spinning process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 192/193: 518-524.
 - [5] SEBASTIANI G, BROSIUS A, EWERS R, et al. Numerical investigation on dynamic effects during sheet metal spinning by explicit finite-element-analysis [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 177(1/3): 401-403.
 - [6] ZHAN Mei, YANG He, ZHANG Jinhui, et al. 3D FEM analysis of influence of roller feed rate on forming force and quality of cone spinning [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 187/188: 486-491.
 - [7] 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.
 - [8] 孙丽丽, 聂爱琴, 胡小建, 等. 汽车轮毂旋压成形过程的有限元数值模拟 [J]. 合肥工业大学学报, 2008, 31(4): 552-555.
- SUN Lili, NIE Aiqin, HU Xiaojian, et al. FE numerical simulation of automobile hub spinning forming process [J]. Journal of Hefei University of Technology, 2008, 31(4): 552-555.

(编辑 管咏梅)

(上接第 39 页)

- [3] SAKAWA M, MORI T. An efficient genetic algorithm for job-shop scheduling problems with fuzzy processing time and fuzzy due date [J]. Computers & Industrial Engineering, 1999, 36(2): 325-341.
- [4] MATTFELD D C, BIERWIRTH C. An efficient genetic algorithm for job shop scheduling with tardiness objectives [J]. European Journal of Operational Research, 2004, 155(3): 616-630.
- [5] YUN Y S. Genetic algorithm with fuzzy logic controller for preemptive and non-preemptive job-shop scheduling problems [J]. Computers & Industry Engineering, 2002, 43(3): 623-644.
- [6] KIM B H. A new game-theoretic framework for maintenance strategy analysis [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2003, 18(2): 698-706.
- [7] ALI R Y. An effective hybrid immune-hill climbing optimization approach for solving design and manufacturing optimization problems in industry [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(6):

2773-2780.

- [8] 汪西原, 汪西莉. 启发式搜索策略(爬山法)的改进与实现 [J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 1999, 27(1): 58-65.
- WANG Xiyan, WANG Xili. Improve and implement a heuristic search technique-hill-climbing [J]. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 1999, 27(1): 58-65.
- [9] 周光辉, 张国海, 王蕊, 等. 采用实时生产信息的单元制造任务动态调度方法 [J]. 西安交通大学学报, 2009, 43(11): 56-60.
- ZHOU Guanghui, ZHANG Guohai, WANG Rui, et al. Dynamic job scheduling method based on real-time production information for manufacturing cell [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2009, 43(11): 56-60.
- [10] SRINIVAS M, PATNAIK L M. Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithm [J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 1994, 24(4): 656-667.
- (编辑 管咏梅)