

## 夹钳数量对双曲顶件拉伸成形的影响

程艳艳<sup>1,2</sup>, 刘祥玲<sup>1</sup>, 王 鑫<sup>1</sup>, 索忠源<sup>1</sup>, 姜 峰<sup>1</sup>, 吕海波<sup>1</sup>

(1. 吉林化工学院 机电工程学院, 吉林 吉林 132022; 2. 南昌理工学院 新能源与环境工程学院, 江西 南昌 330044)

**摘要:** 利用有限元软件 ABAQUS, 以双曲顶件为研究对象, 建立不同夹钳数量下的拉伸成形有限元模型, 分析夹钳数量对板料成形效果的影响。结果表明: 拉形力相同时, 随着夹钳数量的增加, 板料的成形性更好。整体夹钳和 5 个夹钳拉伸成形的板料均未完全贴模, 后者的贴模程度优于前者; 10 个和 15 个夹钳的拉伸成形板料完全贴模, 后者得到的成形件的应变、厚度分布比前者更均匀。在柔性拉伸成形装置上进行双曲顶件成形试验, 试验结果与数值模拟结果相吻合, 验证了双曲顶件柔性拉伸成形的可行性和数值模拟的准确性。

**关键词:** 双曲顶件; 夹钳; 拉伸成形; 贴模; 应变; 厚度

**DOI:** 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.04.012

**中图分类号:** TG386 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2022) 04-0091-04

## Effect of clamp quantity on stretch forming for hyperbolic top part

Cheng Yanyan<sup>1,2</sup>, Liu Xiangling<sup>1</sup>, Wang Xin<sup>1</sup>, Suo Zhongyuan<sup>1</sup>, Jiang Feng<sup>1</sup>, Lyu Haiibo<sup>1</sup>

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin 132022, China;

2. Energy and Environment Engineering Institute, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330044, China)

**Abstract:** For the hyperbolic top part, the finite element model of stretch forming with different numbers of clamps were established by finite element software ABAQUS, and the influence of the number of clamps on the forming effect of sheet metal was analyzed. The results show that when the stretch force is the same, with the increasing of the number of clamps, the formability of sheet metal is better. The sheet metal stretched by the whole clamp and five clamps cannot be completely fitted the mold, and the degree of die fitting for the latter is better than that for the former. The sheet metal stretched by ten clamps and fifteen clamps can be completely fitted the die, the strain and thickness distributions of the forming part for the latter is more uniform than that for the former. The forming test of the hyperbolic top part was conducted by flexible stretch forming device, and the test results are in agreement with the numerical simulation results, which verifies the feasibility of flexible stretch forming for the hyperbolic top part and the accuracy of the numerical simulation.

**Key words:** hyperbolic top part; clamp; stretch forming; die fitting; strain; thickness

拉伸成形是大型薄板曲面件成型的主要方法之一<sup>[1-4]</sup>。随着曲面工程的发展, 传统拉伸成形已不能满足复杂曲面的实际拉形需求。柔性拉伸成形技术脱颖而出, 将整体夹钳离散自适应的思想植入到传统拉伸成形工艺中, 提高了拉形能力<sup>[5-7]</sup>。目前, 许多学者对柔性拉伸成形工艺进行了大量研究, 例如吉林大学李明哲教授等<sup>[8-11]</sup>研制出多夹钳式拉伸成形机, 并对其理论、设备、控制系统进行了完善与创新, 取得了突破性进展; 蔡中义等<sup>[12-13]</sup>探讨了加载方式对成形结果的影响, 提出了模具面的补偿方法,

分析了冲头尺寸和模具形状对成形精度的影响等。

柔性拉伸成形的加载装置是由多个夹钳组成, 每个夹钳独立控制, 图 1 为夹钳结构。夹钳的数量是影响成形质量的重要因素, 本文以双曲顶件为研究对象, 分析夹钳数量对双曲顶件拉伸成形的影响

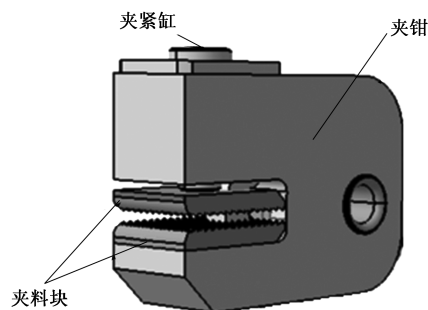


图 1 夹钳结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of clamp structure

收稿日期: 2021-04-15; 修订日期: 2021-07-12

基金项目: 吉林化工学院重大科技项目 (2019017); 吉林化工学院博士启动基金项目 (2021023)

作者简介: 程艳艳 (1980-), 女, 博士, 副教授

E-mail: chengyanyan1980@sina.com

规律。

## 1 建立有限元模型

为了研究夹钳对拉伸成形质量的影响,利用 ABAQUS/Explicit 动态显式算法建立 4 种有限元模型,夹钳数量分别为整体夹钳、5 个夹钳、10 个夹钳和 15 个夹钳。数值模拟中,板料材料选用 ST14 钢,密度为  $7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,弹性模量为 207 GPa,泊松比为 0.28,屈服强度为 176.3 MPa,尺寸为  $2000 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ ,板料材料模型设置为各向同性。模具形状如图 2 所示,短边侧长度为 350 mm,长边侧长度为 960 mm,模具长度为 850 mm,短边侧曲面曲率半径为 450 mm,长边侧曲面曲率半

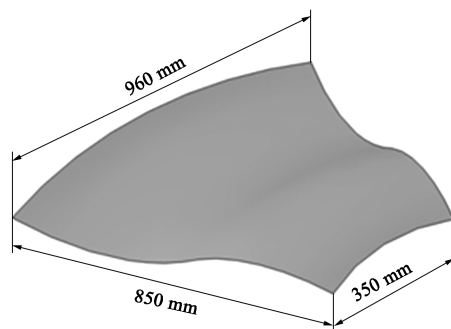


图 2 双曲顶件拉伸成形模具示意图

Fig. 2 Schematic diagram of stretch forming die for hyperbolic top part

径为 2500 mm,二者之间的过渡曲面的曲率半径为 1100 mm。由于为纵向对称的成形件,为了节约计算时间,建立 1/2 模型,见图 3。

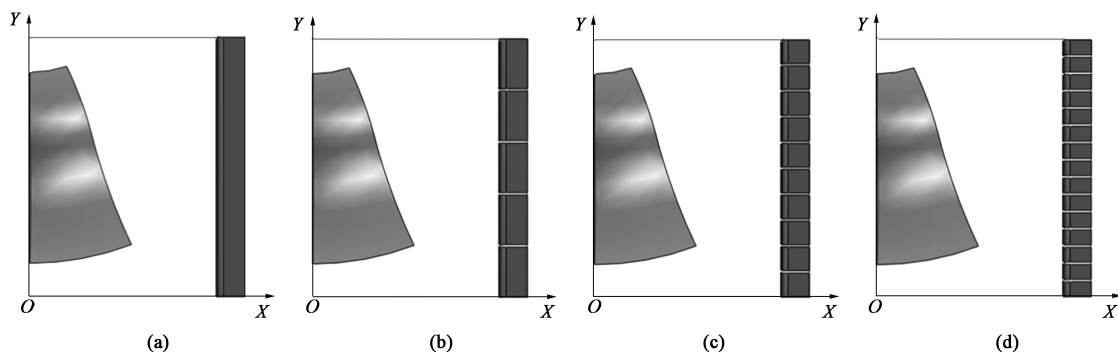


图 3 不同数量夹钳的 1/2 拉伸成形模型

(a) 整体夹钳 (b) 5 个夹钳 (c) 10 个夹钳 (d) 15 个夹钳

Fig. 3 Stretch forming models (1/2) for different numbers of clamps

(a) The whole clamp (b) Five clamps (c) Ten clamps (d) Fifteen clamps

## 2 模拟结果分析

### 2.1 成形性分析

分别使用整体夹钳、5 个夹钳、10 个夹钳和 15 个夹钳进行双曲顶件的拉伸成形数值模拟,在每个夹钳不发生碰撞的前提下,相同夹钳夹持宽度和相同成形力下的成形件如图 4 所示。由图 4a 可以看出,使用整体夹钳的成形件有大面积的板料未贴合模具,为了改善贴模情况、增大成形力,则极易产生拉裂现象。图 4b 为使用 5 个夹钳的成形件,贴模情况有了很大改善,但是仍有小部分板料未贴合模具。图 4c 和图 4d 分别为使用 10 个夹钳和 15 个夹钳的成形件,这两种情况下板料和模具均完全贴合,在成形区没有起皱和拉裂现象,成形质量较好。可以看出,随着夹钳数量的增多,成形效果越来越好。这是因为:随

着夹钳数量的增多,拉伸成形时离散的夹钳能够在一定范围内移动和旋转,以适应模具的形状,获得与模具曲率近似的夹持面,使板料与模具更容易贴合、变形更加均匀,同时避免了起皱和拉裂的产生。

### 2.2 应变分析

由于使用整体夹钳和 5 个夹钳拉伸成形双曲顶件时未完全贴模,故不对其进行应变和厚度的分析。图 5a 和图 5b 为 10 个夹钳和 15 个夹钳下拉伸成形件的应变分布图,前者有效成形区内的应变最大值为 0.0778,后者有效成形区内的应变最大值为 0.0752,最大值减小了 3.34%。由图 5 可以看出,15 个夹钳下的成形件有效成形区的应变较 10 个夹钳下的变化略小,分布更均匀。

### 2.3 厚度分析

图 6 为拉伸成形件的厚度分布图。由图 6 可知,10 个夹钳的成形件有效成形区内的厚度最小

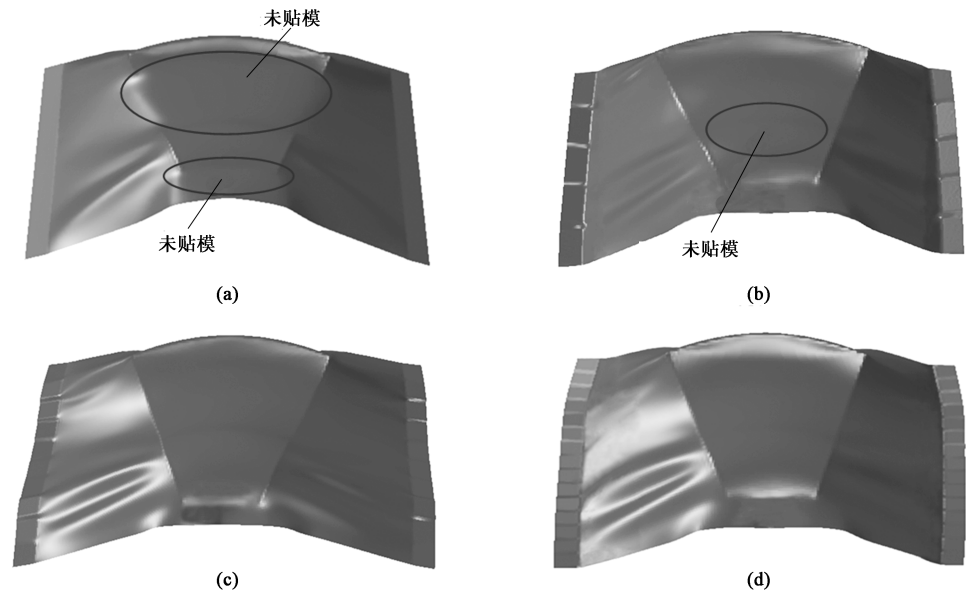


图 4 板料与模具贴合情况  
(a) 整体夹钳 (b) 5 个夹钳 (c) 10 个夹钳 (d) 15 个夹钳  
Fig. 4 Fitting conditions of sheet metal and die  
(a) The whole clamp (b) Five clamps (c) Ten clamps (d) Fifteen clamps

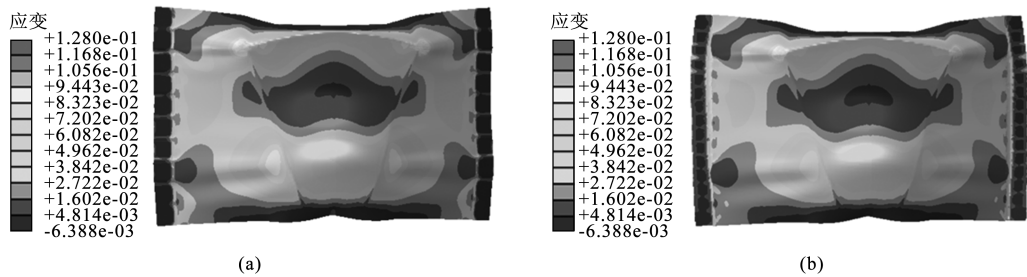


图 5 拉伸成形件的应变分布  
(a) 10 个夹钳 (b) 15 个夹钳  
Fig. 5 Strain distributions of stretch formed parts  
(a) Ten clamps (b) Fifteen clamps

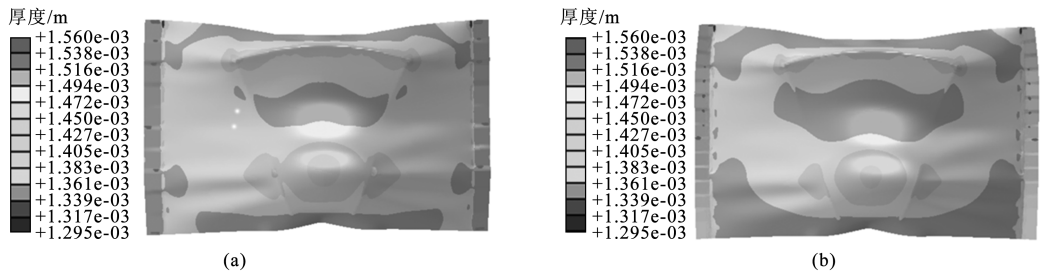


图 6 拉伸成形件的厚度分布  
(a) 10 个夹钳 (b) 15 个夹钳  
Fig. 6 Thickness distributions of stretch formed parts  
(a) Ten clamps (b) Fifteen clamps

值为 1.441 mm，15 个夹钳的成形件有效成形区内的厚度最小值为 1.449 mm，后者厚度较前者减小了 0.53%。

### 3 试验验证

综合考虑板料成形效果以及拉伸成形设备研发

中的设计和成本等诸多因素,最终确定夹钳数量为 10 个。为了验证数值模拟结果的正确性,采用研发的柔性拉伸成形装置(图 7)对双曲顶件进行拉伸成形试验。试验选用的模具、板料的材质和尺寸与数值模拟相同,获得的双曲顶件如图 8 所示。由试验件可以看出,拉伸成形件有效成形区内的板料完全贴模,无起皱和拉裂等现象,成形效果较好,与数值模拟结果吻合。



图 7 柔性拉伸成形装置

Fig. 7 Flexible stretch forming equipment

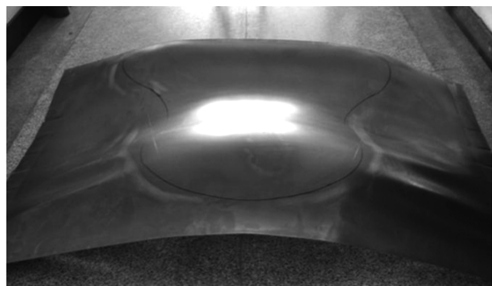


图 8 拉伸成形双曲顶件

Fig. 8 Hyperbolic top part of stretch forming

## 4 结论

(1) 拉形力相同时,整体夹钳的成形件贴模情况最差,5 个夹钳的成形件贴模情况有所改善,10 个和 15 个夹钳的成形件能够完全贴模,且无拉裂和起皱现象。

(2) 柔性拉伸成形数值模拟结果中,15 个夹钳比 10 个夹钳的成形件的应变和厚度的分布更均匀,成形效果更好。

(3) 对双曲顶件进行柔性夹钳拉伸成形试验,试件成形效果良好,验证了拉伸成形的可行性和数值模拟的可靠性,能够对生产实践起到指导作用。

### 参考文献:

[1] 谢洪志,王玲,赵天章,等. 基于数字化的蒙皮拉形加载轨迹优化与应用[J]. 锻压技术, 2021, 46 (1): 56-59.

Xie H Z, Wang L, Zhao T Z, et al. Optimization and application of loading trajectory in stretch forming of skin based on digital [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (1): 56-59.

[2] Sun L R, Cai Z Y, Li X J. Research on contact state and its effect on forming precision in uniform-contact stretch forming based on loading at multi-position [J]. Metals, 2019, 9 (7): 719-719.

[3] 房涛涛,李晓星,郎利辉. 大厚度双曲度铝合金飞机蒙皮拉伸成形工艺优化[J]. 锻压技术, 2021, 46 (1): 29-36.

Fang T T, Li X X, Lang L H. Optimization on stretch forming process for hyperbolic aluminum alloy aircraft skin with large thickness [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (1): 29-36.

[4] 陈根发,方继钊,王勇,等. 复杂鼓包蒙皮成形技术分析与优化[J]. 锻压技术, 2020, 45 (8): 82-87.

Chen G F, Fang J Z, Wang Y, et al. Analysis and optimization on complex bulging skin forming technology [J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (8): 82-87.

[5] 王友,李明哲,彭赫力. 多夹钳式柔性拉伸成形时过渡区长度的研究[J]. 机械工程学报, 2014, 50 (10): 72-79.

Wang Y, Li M Z, Peng H L. Study on transition length in multi-gripper flexible stretch forming process [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50 (10): 72-79.

[6] Xing J, Cheng Y Y, Yi Z. Stress-strain and form accuracy of carbon steel components produced by a multi-point stretch forming technique [J]. Strength of Materials, 2019, 51: 667-677.

[7] Xing J, Cheng Y Y, Li M Z. Research on swinging unit multi-point die with discrete elastic cushion in flexible stretch forming process [J]. Int. J. Adv. Manuf. Tech., 2017, 91: 237-245.

[8] 李明哲,韩奇钢,冯朋晓,等. 多夹钳式拉伸成形机[P]. 中国: CN201755613U, 2011-03-09.

Li M Z, Han Q G, Feng P X, et al. Multi-gripper stretch forming device [P]. China: CN201755613U, 2011-03-09.

[9] Wang Y, Li M Z, Wang D M, et al. Modeling and numerical simulation of multi-gripper flexible stretch forming process [J]. Int. J. Adv. Manuf. Tech., 2014, 73: 279-288.

[10] 程艳艳,李明哲,邢健,等. 非规则曲面件的多夹钳式柔性拉伸成形研究[J]. 机械工程学报, 2014, 50 (22): 90-96.

Cheng Y Y, Li M Z, Xing J, et al. Research of multi-gripper flexible stretch forming for irregular part [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50 (22): 90-96.

[11] 程艳艳,李明哲,邢健. 不同单元形式对多点模具柔性拉伸成形质量的影响[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2016, 46 (5): 1552-1557.

Cheng Y Y, Li M Z, Xing J. Effect of unit form on flexible stretch forming of multi-point die [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2016, 46 (5): 1552-1557.

[12] Cai Z Y, Wang S H, Xu X D, et al. Numerical simulation for the multi-point stretch forming process of sheet metal [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209 (1): 396-407.

[13] Wang S H, Cai Z Y, Li M Z. Numerical investigation of the influence of punch element in multi-point stretch forming process [J]. Int. J. Adv. Manuf. Tech., 2010, 49: 475-483.