

# 大型双相钢封头压鼓成形数值模拟研究

代 奥<sup>1</sup>, 阮金华<sup>2,3</sup>, 王志刚<sup>2,3</sup>, 张宏昱<sup>2,3</sup>

(1. 武汉科技大学 高性能钢铁材料及其应用省部共建协同创新中心, 湖北 武汉 430081;

2. 武汉科技大学 冶金装备及其控制教育部重点实验室, 湖北 武汉 430081;

3. 武汉科技大学 精密制造研究院, 湖北 武汉 430081)

**摘要:** 采用有限元数值模拟作为研究手段, 将大型双相钢封头作为研究对象, 通过分析其应力、应变和速度来研究封头压鼓成形过程中坯料的变形规律。结果表明, 在坯料中面的任一法线上, 不同点的应力与应变有较大的不同, 说明了该有限元模型不应采用壳单元。在压鼓成形前期, 坯料主要受到上模的压力, 使其上模底端附近的金属向尾端流动; 随着压下量的增加, 位于下模圆角处的坯料的拉应力也达到材料的屈服点, 在下模圆角的弯曲作用下附近的金属向板坯中心流动; 随着压下量进一步增大, 坯料与上模贴合的部分越来越多, 该区域的金属速度逐渐趋向于 0, 而下模圆角附近的金属速度则越来越大。研究成果可用于指导压鼓模的制造和路径的控制。

**关键词:** 大型封头; 压鼓; 非均匀塑性变形; 应力; 应变

**DOI:** 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.10.009

**中图分类号:** TG386.41

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-3940 (2022) 10-0056-07

## Numerical simulation research on pressure drum forming for large dual phase steel head

Dai Ao<sup>1</sup>, Ruan Jinhua<sup>2,3</sup>, Wang Zhigang<sup>2,3</sup>, Zhang Hongyu<sup>2,3</sup>

(1. High Performance Steel Materials and Their Applications Provincial and Ministerial Construction Collaborative Innovation Center, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China; 2. Key Laboratory of Metallurgical Equipment and

Control, Ministry of Education, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China;

3. Precision Manufacturing Research Institute, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

**Abstract:** Based on finite element numerical simulation, for the large dual phase steel head, the deformation laws of blank in the pressure drum forming process of head were studied by analyzing its stress, strain and velocity. The results show that the stress and strain at different points on any normal line of the middle plane of blank are different, which indicates that the shell element should not be used in this finite element model. In the early stage of pressure drum forming, the blank is mainly subjected to the pressure of upper die, so that the metal near the bottom end of upper die flows to the tail end. With the increasing of reduction amount, the tension stress of blank located at the lower die fillet corner also reaches the material yield point, and the metal near the lower die fillet corner flows into the sheet blank centre under the bending action. With the further increasing of reduction amount, more and more parts of blank and upper die are attached, and the metal velocity in this area gradually tends to zero, while the metal velocity near the fillet corner of lower die becomes larger and larger. Thus, the research results can be used to guide the manufacturing and path control of pressure drum die.

**Key words:** large head; pressure drum; nonuniform plastic deformation; stress; strain

随着石油、化工、能源等行业的发展, 压力容器的尺寸不断增大, 作为其关键部位的封头的尺寸也不断增加, 目前国内一体成形封头的直径最大可达 6.6 m。受制于液压机能力和模具成本, 大型封

头不再采用冲压一体成形工艺生产, 往往采用分瓣成形工艺。将大型封头划分为多个分片, 对不同的分片分别下料, 随后采用模具分别压制 (该过程也被称为压鼓), 检验合格之后再组焊成形为大型封头。与一体成形相比, 分瓣成形工艺可以在很大程度上使企业摆脱加工设备的能力限制, 对模具的需求也大大降低。

目前, 分瓣成形过程中的下料 (瓜瓣) 和压鼓模具中的鼓面设计往往凭借设计人员的经验, 压鼓

收稿日期: 2021-10-29; 修订日期: 2022-01-25

作者简介: 代 奥 (1996-), 男, 硕士研究生

E-mail: a1091041840@qq.com

通信作者: 王志刚 (1973-), 男, 博士, 教授

E-mail: wzhigang@wust.edu.cn

后的组焊过程中往往需要二次号料, 瓜瓣被反复起吊、切割后受热变形又需要再次压鼓整形, 这不仅延长了生产周期, 而且浪费材料和人力。而其中的难点, 首先是成形中存在起皱、开裂等缺陷, 为此必须均衡各处的坯料流动, 其次是压鼓过程中尺寸的预测, 只有尺寸准确才能保证各处的曲率符合期望, 而确保焊接处具有相同的曲率是组焊的必要条件。因此, 明晰压鼓过程中的金属流动规律具有重要的工程意义。

近年来, 相关学者对于封头成形也有过深入研究。李雷等<sup>[1]</sup>采用人工神经网络和遗传算法, 完成了一体成形的封头工艺参数优化。王金刚等<sup>[2]</sup>采用数值模拟方法, 研究了坯料温度对椭圆形封头热冲压减薄量的影响, 得到了封头热成形时的最佳温度。朱向哲等<sup>[3]</sup>采用刚塑性有限元法, 分析了成形后封头壁厚的变化规律, 优化了坯料的形状和尺寸。张国智<sup>[4]</sup>建立了封头热冲压有限元模型, 通过实验验证了有限元模型的准确性。李海峰等<sup>[5]</sup>将数值模拟方法与实际生产工艺相结合, 研究了各工艺参数对封头成形后壁厚的影响。万晋<sup>[6]</sup>研究了旋压和冲压对封头成形厚度均匀性的影响, 并得到了封头减薄量和封头强度的关系。王中武<sup>[7]</sup>研究了封头的旋压成形和冲压成形, 发现不同的成形方法导致封头减薄量分布完全不同。沈国勋<sup>[8]</sup>利用公式得到大型厚壁封头拉深成形过程中壁厚的变化规律以及拉伸力大小。隋然等<sup>[9]</sup>分析了冷旋压封头压鼓开裂的原因, 并提出通过去应力退火来减小开裂现象的方法。李辉等<sup>[10]</sup>对瓜瓣拉深模具的拉延筋结构和压边力进行了优化, 获得了半圆截面等效拉延筋结构的最佳参数组合。毕海娟等<sup>[11]</sup>利用有限元软件成功优化了一套可实现两种材质、8 种规格的椭球瓜瓣构建制造的充液成形模具。韩文彦<sup>[12]</sup>优化了金属储罐拱顶瓜瓣板的排版下料。杨小强等<sup>[13]</sup>运用有限元模拟研究了球形封头的冲压成形与回弹过程, 并通过实验证明了所用模拟方法的有效性。刘帆<sup>[14]</sup>针对 N10276 复合板封头热压成形, 提出通过控制温度和时间来减小裂纹倾向。然而, 当前学者对封头的研究重点主要集中在一体成形方面, 但对瓜瓣成形的研究尚不深入、系统。

本文基于某厂直径为  $\Phi 4100$  mm 的封头分瓣成形工艺, 采用弹塑性有限元法模拟了瓜瓣中心区域的压鼓过程, 通过解析压鼓过程中坯料应力、应变、金属流变速度、位移等场量, 明晰压鼓过程中坯料的塑性变形规律, 为大型封头分瓣成形工艺中的下

料和压鼓中的压料面设计提供理论基础。

## 1 双相钢封头压鼓成形过程有限元模型

本文在商用有限元仿真软件平台上建立如图 1 所示的大型双相钢封头中心区域压鼓成形过程的轴对称弹塑性有限元模型, 其中上模和下模设为刚体, 上、下模分别为直径  $\Phi 1100$  和  $\Phi 1500$  mm 的类圆柱体模型, 温度设置为  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。封头板坯设为弹塑性体, 厂家提供的板材尺寸为: 宽度为  $2500$  mm、长度为  $2500$  mm、厚度为  $16$  mm。封头板坯的面积远大于上、下模的最大面积, 为了节约计算时间及计算机资源, 将封头板坯等效为一个直径为  $\Phi 2500$  mm 的圆形板材。

如图 1a 所示, 分瓣成形中压鼓模通常远小于封头大小, 为了压出理想中的封头, 通常需要数十个压鼓点。本文模拟了分瓣成形中平板中心区域第一压鼓过程, 研究其应力、应变和金属流动的变化规律, 如图 1b 所示。并利用压鼓过程的轴对称性, 建立如图 1c 所示的、可以板材中心和上、下模中心三点连线为中心线的轴对称二维 (2D) 模型。图 1c 中, 下模固定不动, 上模以  $10\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  的下压速度向下运动, 直至载荷达到  $6000\text{ kN}$  停止下压。其中, 板坯设为弹塑性体, 单元数设置为  $30000$  个; 下模和上模设为刚体, 不划分网格, 按照步长不超过板坯单元最小边长  $1/3$  原则, 设置模拟步长为  $0.03\text{ s}$ 。

本模型中所用双相钢为厂家提供的 S25073 双相钢, 在 WDS100 型电子万能材料实验机上, 按 GB/T 228.1—2021<sup>[15]</sup>进行单向拉伸实验, 获得图 1d 所示的室温下双相钢的真实应力-真实应变曲线, 并将该曲线应用于本文研究的大型双相钢封头压鼓成形解析中。

## 2 双相钢封头压鼓成形过程有限元模拟结果

采用上述有限元模型, 模拟了下模固定不动、上模以  $10\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  的下压速度向下运动, 直至载荷达到  $6000\text{ kN}$  时停止下压的过程。图 2 为封头压鼓完成时 (Step 430) 的板坯形状。为了明晰板厚的演变规律, 以板坯中心为初始点每隔一个网格长度 ( $0.73\text{ mm}$ ) 选取一个参考点, 共取  $1370$  个参考点来进行对比分析。

图 3 为压鼓结束后板坯上  $P1\sim P1370$  点的厚度

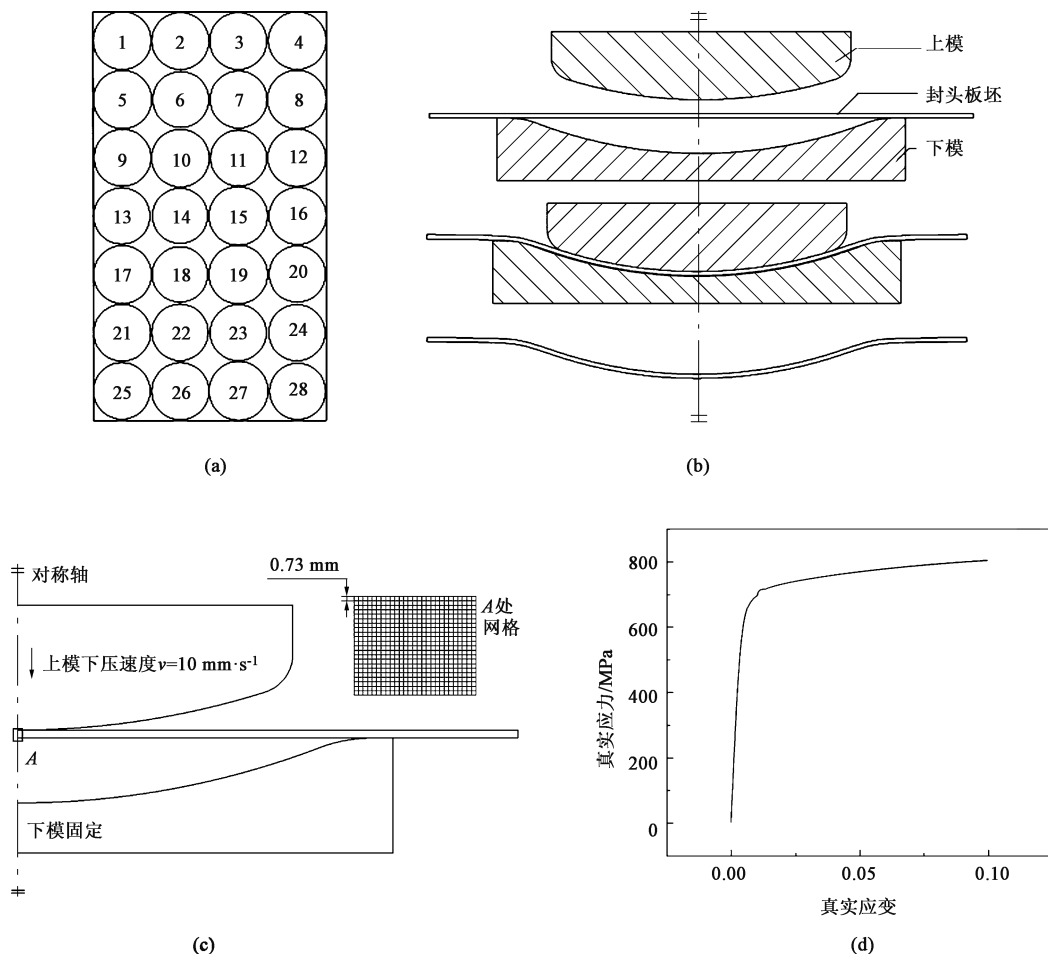


图 1 大型双相钢封头中心区域压鼓成形过程的弹塑性有限元模型

(a) 瓜瓣压鼓成形位置简图 (b) 平板状态下压鼓成形示意图 (c) 压鼓成形过程的轴对称弹塑性有限元模型  
(d) S25073 双相钢单向拉伸真实应力-真实应变曲线

Fig. 1 Elastic-plastic finite element model of pressure drum forming process in center zone for large dual-phase steel head

(a) Schematic diagram of pressure drum forming position for melon flap (b) Schematic diagram of pressure drum forming in flat state (c) Axisymmetric elastic-plastic finite element model of pressure drum forming process (d) True stress-true strain curve of unidirectional tension for S25073 dual-phase steel

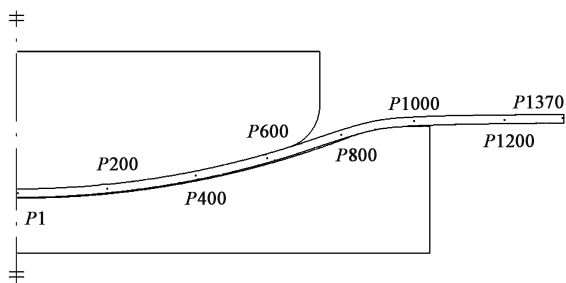


图 2 压鼓成形完成时的板坯形状

Fig. 2 Sheet blank shape when pressure drum forming is completed

分布及其径向位移分布。压鼓成形完成时,  $P_1$  点附近板坯最薄, 在  $P_1 \sim P_{800}$  点区间的板坯厚度逐渐增加至板坯初始厚度 16 mm, 在  $P_{800} \sim P_{955}$  点之间出现了明显的板坯厚度局部减薄现象,  $P_{955}$  点以外区域的板坯厚度大于初始厚度 16 mm。大型封头分瓣成形的压鼓

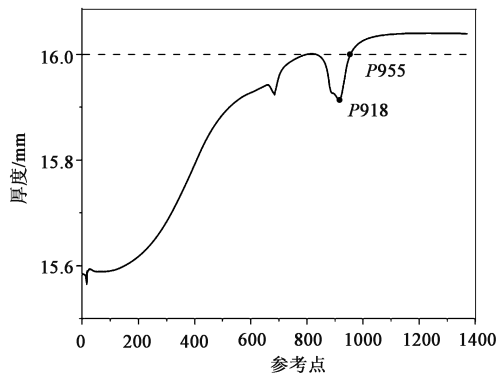


图 3 压鼓成形完成时板坯上  $P_1 \sim P_{1370}$  点的厚度分布曲线

Fig. 3 Thickness distribution curve of  $P_1 \sim P_{1370}$  points in sheet blank when pressure drum forming is completed

成形过程中, 板坯中心区域有较大的拉裂危险。

图 4 为压鼓成形结束时板坯上  $P_1 \sim P_{1370}$  点的

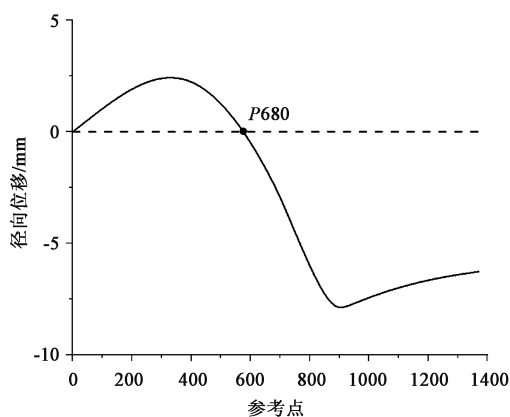
图 4 压鼓成形完成时板坯上  $P1 \sim P1370$  点的径向位移分布曲线

Fig. 4 Radial displacement distribution curve of  $P1 \sim P1370$  points in sheet blank when pressure drum forming is completed

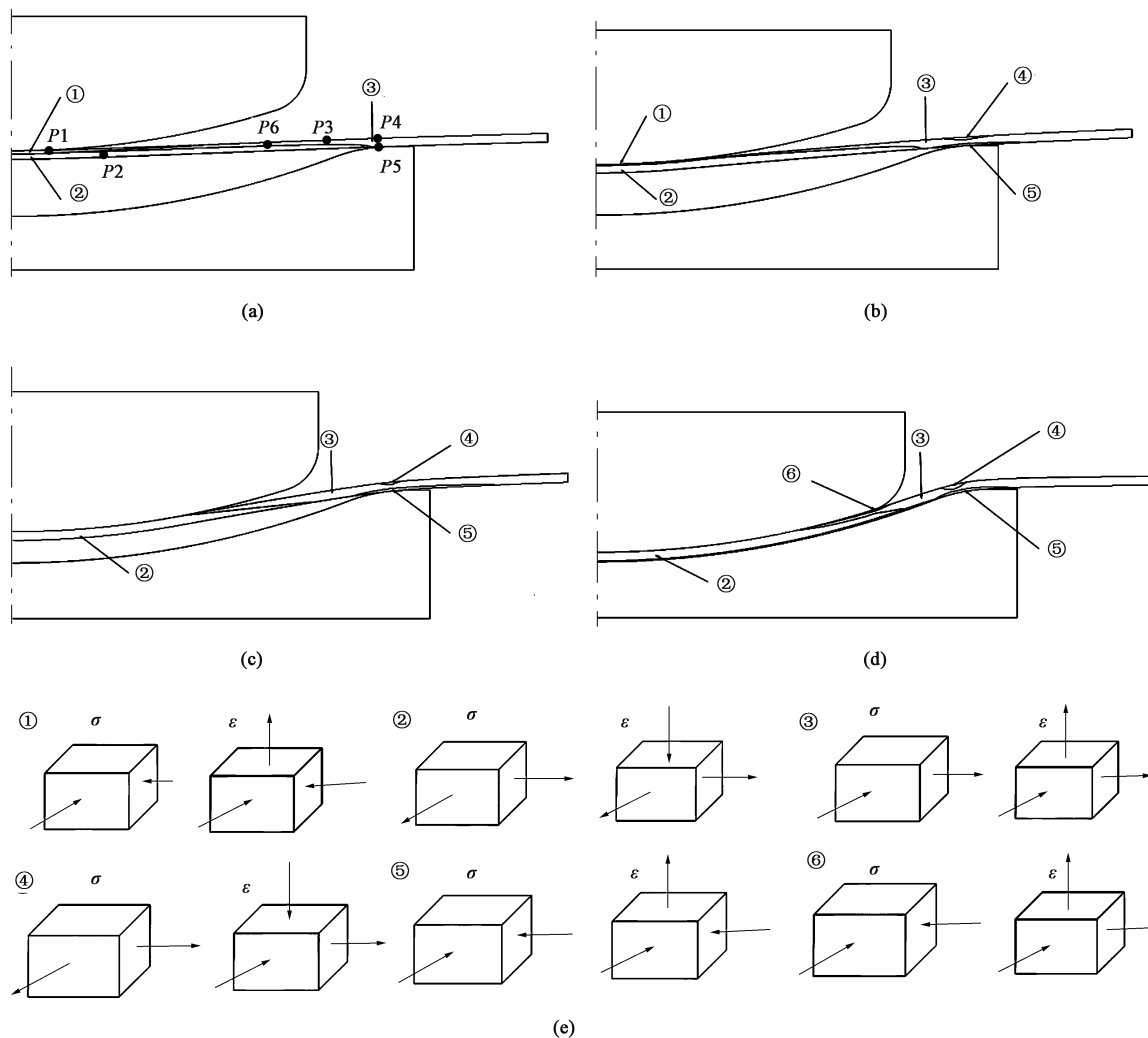


图 5 压鼓成形过程中板坯变形区域演变

(a) Step 80 时板坯的变形区分布及参考点位置 (b) Step 170 时板坯的变形区分布 (c) Step 300 时板坯的变形区分布  
(d) Step 430 时板坯的变形区分布 (e) 变形区①~⑥内的应力和应变状态

Fig. 5 Evolution of deformation zone for sheet blank during pressure drum forming process

(a) Distribution of deformation zone and positions of reference points for sheet blank at Step 80 (b) Distribution of deformation zones for sheet blank at Step 170 (c) Distribution of deformation zones for sheet blank at Step 300 (d) Distribution of deformation zones for sheet blank at Step 430 (e) Stress and strain states in deformation zones of ① to ⑥

径向位移。压鼓成形结束时,  $P1 \sim P680$  点位于上模接触范围内, 且各点的径向位移均大于 0 mm, 说明  $P1 \sim P680$  点所在区域内的金属在径向上整体向上模外流动; 压鼓成形结束时, 位于上模接触范围外的  $P680 \sim P1370$  各点的径向位移小于 0 mm, 说明该区域内的金属在径向上向坯料中心流动。

### 3 双相钢封头压鼓成形过程有限元模拟结果解析

#### 3.1 应力、应变分析

图 5 为压鼓成形过程中板坯的应力和应变分布演变过程, 由于压鼓成形过程中板坯下表面在接触

下模之前为自由面,自由表面上的轴向应力为零,轴向应力沿板坯厚度方向的变化很大,但远小于相同位置的径向应力和周向应力,故下文只标明了径向应力和周向应力。为了明晰压鼓变形机理,本文从板坯中选取  $P1 \sim P6$  点的速度,来阐明压鼓过程中各区域的变形规律和金属流向。

图 5a 为 Step 80 时刻板坯的变形情况及其变形区域划分,此时板坯共分为①、②和③3个变形区域。变形区①(上模底端次变形区)靠近上模,受到了图 5e 中变形区①所示的径向压应力和周向压应力,并在径向和周向产生压缩变形、在厚度方向产生拉伸变形,结合图 6 所示 Step 80 时刻  $P1$  点径向速度小于零的情况,进一步说明 Step 80 时刻变形区①处于厚度方向的拉伸变形状态。变形区②(上模底端主变形区)靠近下模,一直延长至下模圆角附近,受到了图 5e 中②所示的径向拉应力和周向拉应力,在径向和周向均产生拉伸变形、在厚度方向产生压缩变形,结合图 6 所示 Step 80 时刻  $P2$  点径向速度大于零的情况,进一步说明 Step 80 时刻变形区②处于厚度方向的压缩变形状态。板坯剩下的部分均属于变形区③(过渡区域),受到图 5e 中③所示的径向拉应力和周向压应力,且结合图 6 所示 Step 80 时刻  $P3 \sim P6$  点的径向速度均小于零的情况,可知变形区③处于周向压缩变形状态。上模下压使板坯产生了塑形弯曲,变形区②为主变形区,产生了厚度方向的压缩变形,次变形区①则主要为厚度方向上的拉伸变形;变形区①的金属流向板坯中心,变形区②的金属向变形区③方向流动。此时整个板坯的最大应力为 703 MPa,位于板坯中心(与上模底部相连的位置),最大应变速率为  $0.00714 \text{ s}^{-1}$ 。

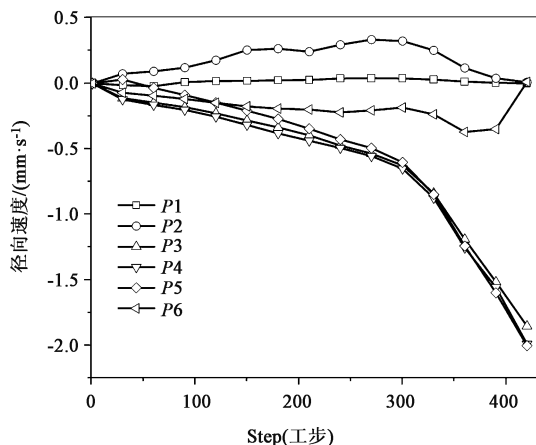


图 6 压鼓成形过程中  $P1 \sim P6$  点的径向速度变化

Fig. 6 Change of radial velocity from  $P1$  to  $P6$  points during pressure drum forming process

图 5b 为 Step 170 时刻板坯的变形区域划分情况,与 Step 80 时刻相似,变形区①的范围明显缩小,在变形区③下模圆角附近新增了变形区④(下模圆角上变形区)与变形区⑤(下模圆角下变形区)。变形区④在下模圆角区域上半部分,受到图 5e 中④所示的径向拉应力和周向拉应力,处于径向拉伸变形。变形区⑤在下模圆角区域的下半部分,受到图 5e 中⑤所示的径向压应力和周向压应力,在厚度方向上拉伸变形。此时最大应力为 705 MPa,位置不变,最大应变速率增加至  $0.0108 \text{ s}^{-1}$ ,相比 Step 80 时刻,应变速率大于  $0.005 \text{ s}^{-1}$  的区域在径向和轴向均有较大幅度增加。

如图 6 所示,在 Step 80~Step 170 时刻, $P1 \sim P6$  点的径向速度有所波动,这是由于压鼓变形在 Step 80 时刻下模圆角区域坯料发生弯曲塑性变形,阻碍了金属在板坯中的流动,导致波动的产生。同时,由于下模的弯曲作用,使得变形区④和变形区⑤出现,变形区④中的金属向两侧流动,变形区⑤中两侧金属流向该区域。虽然受到上模处变形的影响而导致在 Step 50 后两处变形区的径向速度皆小于 0,但从图 6 可以看到, $P5$  点的径向速度始终稳定大于  $P4$  点的径向速度(约为  $0.18 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ )。从图 5b 可以看出,变形区①的范围正在不断减小,这是因为:随着压鼓成形的进行,板坯与上模贴合的面积越来越大,而主变形区(应变速率大于  $0.02 \text{ s}^{-1}$ )一直在板坯与上模相切的地方,随着变形区逐渐远离坯料中心,上模底端的金属流动趋近于稳定,所以变形区①的范围越来越小。

图 5c 为 Step 300 时刻板坯的变形区域划分情况,与 Step 170 时刻相比,变形区①已经完全消失,而随着压鼓成形的进行,变形区④和变形区⑤的范围随之增加。从图 6 可以看到, $P4$  和  $P5$  点的径向速度也越来越大,变形区④和变形区⑤的范围随着下模的主变形区扩展而扩展。此时最大应力为 712 MPa,依旧在板坯中心并未移动,此时变形区中心在  $P395$  点(从中心到最外层共有  $P1 \sim P1370$  点)位置,最大应变速率为  $0.0119 \text{ s}^{-1}$ ,相比较 Step 170 时刻,该变形区在径向和轴向范围仍在增加。与此同时,由于板坯与下模的弯曲作用,在板坯与下模接触的  $P683$  点处也开始出现变形区。在该过程中,上模底端变形区的金属向两侧即坯料尾端流动,下模圆角变形区金属向坯料中心流动。从位于两变形区中间的  $P6$  点的径向速度可知, $P6$  点前期受到下模变形区的影响,使其径向速度小于 0,在后期随

着上模变形区向板坯尾端移动, 径向速度逐渐从小于0转变为大于0。

图5d为Step 430时刻(压鼓成形完成时)板坯的变形区域划分情况, 与Step 300时刻相比, 在上模与板坯相切处附近, 新增变形区⑥, 该区域受到图5e中⑥所示径向压应力和周向压应力的作用, 处于周向压缩变形状态。该区域的出现是因为上模尺寸小于下模尺寸使得该区域出现弯曲, 从而导致该区域的内侧出现了压应力。随着压鼓成形的进行, 变形区③的范围正在逐渐缩小, 变形区④以下模圆角为中心逐渐扩散, 最终导致下模圆角区板厚小于初始板厚。此时最大应力为712 MPa, 依旧在板坯中心并未移动。此时变形区中心在P683点位置, 最大应变速率为 $0.0367\text{ s}^{-1}$ , 与Step 300时刻相比, 该变形区在径向和轴向范围均相差不大, 同时下模区域的变形区也愈发明显, 最大应变速率为 $0.0267\text{ s}^{-1}$ , 变形区大小与P683点的变形区大小基本等同。

### 3.2 试验验证

图7比较了大型封头分瓣中心区域单次压鼓成形后板坯厚度的有限元模拟值和实际超声波测厚仪的测量值。半径小于1600 mm的区域, 压鼓成形后的板坯厚度处于减薄状态, 减薄量最大值位于模具中心位置对应的板坯处; 半径大于1600 mm的区域, 板坯厚度则较压鼓成形前更厚。可以看出, 模拟值与测量值吻合较好, 证明了本文采用的有限元法解析大型封头分瓣成形压鼓过程的弹塑性变形规律的有效性。

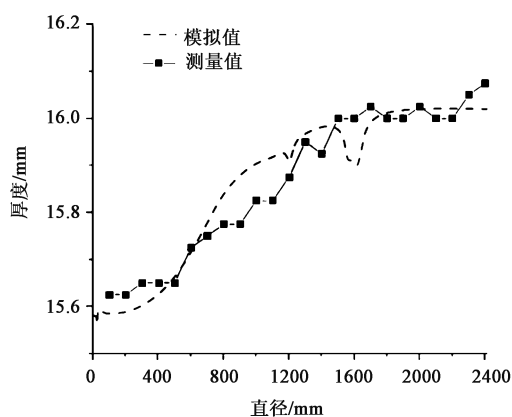


图7 椭圆形封头板坯厚度的试验测量值与仿真模拟值对比

Fig. 7 Comparison of sheet blank thickness between measurement values for test and simulation values for oval head

## 4 结论

(1) 分瓣中心区域单次压鼓过程中, 变形区②

和变形区④均使板坯厚度减薄, 变形区②的减薄量远大于变形区④的减薄量, 工艺设计时应该以变形区②的减薄量作为参考。

(2) 根据上、下模之间坯料金属所处的应力、应变状态的不同, 将其划分为不同的变形区域, 变形区域随压鼓成形过程的进行不断演变。

(3) 在厚度方向上, 不同点的应力、应变有所变化, 说明该板料模型不应采用传统壳单元, 会导致模拟结果不准确。

### 参考文献:

- [1] 李雷, 赵柏森. 基于人工神经网络和遗传算法的封头成形工艺参数多目标优化 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (5): 39-45.  
Li L, Zhao B S. Multi-objective optimization on head forming process parameters based on artificial neural network and genetic algorithm [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (5): 39-45.
- [2] 王金刚, 赵文凯, 刘旭洋, 等. 基于Deform的椭圆形封头热冲压成形有限元分析及优化 [J]. 锻压技术, 2020, 45 (12): 40-46.  
Wang J G, Zhao W K, Liu X Y, et al. Finite element analysis and optimization on hot stamping of oval head based on Deform [J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (12): 40-46.
- [3] 朱向哲, 谢禹钧, 王晓华. 半球形厚壁封头冲压有限元分析及优化 [J]. 辽宁石油化工大学学报, 2004, 24 (4): 51-53.  
Zhu X Z, Xie Y J, Wang X H. Finite element analysis and optimization of the drawing process of head with thick semi-spherical shell [J]. Journal of Liaoning University of Petroleum & Chemical Technology, 2004, 24 (4): 51-53.
- [4] 张国智. 大型封头热拉深力学机理及仿真研究 [J]. 中国机械工程, 2013, 24 (8): 1114-1117.  
Zhang G Z. Study on mechanics mechanism and simulation of hot-drawing process of large head [J]. China Mechanical Engineering, 2013, 24 (8): 1114-1117.
- [5] 李海峰, 陈明亮, 谢志毅. 大型厚壁半球形风头热冲压成形的数值模拟 [J]. 计算机仿真技术, 2004, 21 (3): 109-112.  
Li H F, Chen M L, Xie Z Y. Numerical simulation of hot drawing process for a large-scale thick-walled semi-spherical head [J]. Computer Simulation, 2004, 21 (3): 109-112.
- [6] 万晋. 加工减薄后的椭圆封头强度数值分析 [J]. 石油化工设备, 2006, 35 (1): 41-43.  
Wan J. Strength numerical analysis of elliptical heads due to machining thickness reduction [J]. Petro-Chemical Equipment, 2006, 35 (1): 41-43.
- [7] 王中武. 标准椭圆封头常用成形方法壁厚变化分析及开孔补强经济设计探讨 [J]. 金属加工: 热加工, 2009, (1): 69-72.  
Wang Z W. Analysis on wall thickness variation of common forming methods of standard elliptical head and discussion on economic design of opening reinforcement [J]. Metal Working, 2009, (1):

- 69-72.
- [8] 沈国勋. 大型厚壁封头锻件的拉深成形 [J]. 大型铸锻件, 2020, (6): 8-10, 23.  
Shen G Y. Drawing forming of large thick-wall head forgings [J]. Large Castings and Forgings, 2020, (6): 8-10, 23.
- [9] 隋然, 唐志云, 黄小丽, 等. 冷旋压封头压鼓开裂的分析 [J]. 现代商检科技, 1999, 9 (6): 31-33.  
Sui R, Tang Z Y, Huang X L, et al. Analysis of drum cracking of cold spinning head [J]. Modern Commodity Inspection Science and Technique, 1999, 9 (6): 31-33.
- [10] 李辉, 孙斌, 丁森. 火箭贮箱底部瓣拉深成形数值模拟 [J]. 上海航天, 2012, 29 (4): 54-58.  
Li H, Sun B, Ding S. Numerical simulation of stretch forming process of rocket tank bottom's melon petals spares [J]. Aerospace Shanghai, 2012, 29 (4): 54-58.
- [11] 毕海娟, 田恕, 李继光, 等. 椭圆瓜瓣构建充液成形模具设计及优化 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (6): 167-173.  
Bi H J, Tian S, Li J G, et al. Design and optimization on hydro-forming die for ellipsoidal melon petal component [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (6): 167-173.
- [12] 韩文彦. 金属储罐拱顶瓜瓣板计算机优化排版下料 [J]. 石油工程建设, 1997, (5): 37-39.  
Han W Y. Computer optimal layout and blanking of melon flap plate on the vault of metal storage tank [J]. Petroleum Engineering Construction, 1997, (5): 37-39.
- [13] 杨小强, 孙家根, 戴龙林. 球形封头不锈钢衬里冲压成形与回弹过程的数值模拟与分析 [J]. 中国制造业信息化, 2004, 33 (5): 113-115, 119.  
Yang X Q, Sun J G, Dai L L. Numerical simulation of the forming and spring return process in thick-walled head lining of stainless steel [J]. Manufacturing Information Engineering of China, 2004, 33 (5): 113-115, 119.
- [14] 刘帆. N10276 复合板封头热压成形的分析 [J]. 压力容器, 2007, 24 (5): 21-25.  
Liu F. Analysis about hot forming of N10276 clad plate head [J]. Pressure Vessel Technology, 2007, 24 (5): 21-25.
- [15] GB/T 228.1—2021, 金属材料 拉伸试验 第 1 部分: 室温试验方法 [S].  
GB/T 228.1—2021, Metallic materials—Tensile testing—Part 1: Method of test at room temperature [S].

### “2022 上海锻压技术与装备展” 将于 2022 年 12 月 21—24 日在上海虹桥国家会展中心盛大开幕

由中国机械工程学会塑性工程分会、中国机械总院集团北京机电研究所有限公司精心筹备的“2022 上海锻压技术与装备展” 将于 2022 年 12 月 21—24 日在上海虹桥国家会展中心盛大开幕。现热忱邀请国内外锻压技术与装备供应商参展, 展示新产品、新技术、新形象; 同时, 邀请国内外同行和朋友届时光临, 共谋行业发展大计!

同期举办: 先进塑性成形技术与装备前沿论坛、全国锻压技术与装备高级研修班、第 22 届中国国际模具技术和设备展览会、2022 上海热处理装备与技术展览会。

“2022 上海锻压技术与装备展” 致力于打造锻压行业一站式展览平台, 不仅涵盖下料、加热、设备、模具、检测、新技术、产品、模拟等锻造生产全产业链, 而且聚焦推动锻压领域产学研进程, 为国内科研机构、团体提供集中展示科研成果、技术推广、人才培养等成果的便利平台, 通过 24×365×360° 式全方位宣传, 为企业开拓市场、扩大贸易往来搭建更畅通的合作桥梁, 同时促进锻压领域的产学研用学术交流与合作, 实现优势互补、互惠共赢。“2022 上海锻压技术与装备展” 期待您的到来! 2022, 相约上海, 见证发展!

**展品范围:** (1) **成形零部件:** 锻件、挤压件、轧制件及特种成形件 (旋压、辊锻、摆辗、斜轧、横轧、楔横轧、充液成形、增量成形及各种新技术等); (2) **锻压设备及附件:** 锻造、旋压、辊锻、摆辗、斜轧、横轧和楔横轧设备, 锻造生产用工业炉、窑和节能技术, 自动化控制, 锻压辅助设备, 锻压防护产品等; (3) **锻压智能制造技术及装备:** 自动化生产线、智能工厂、工业机器人、智能机床、智能物流管理、增材制造、机器视觉技术、工业物联网及系统集成、自动化生产解决方案及各种软件等; (4) **锻压检测设备及仪器仪表;** (5) **工艺设计和 CAD、CAM, 材料成形模拟软件等。**

**展位分类:** (1) **标准展台:** 3 m×3 m, 3 m×4 m, 3 m×6 m。注: 每个标准展位包括: 三面隔板、帽板、地毯、一张展桌、两把椅子、两支照明灯、一个 220 V/5 A 电源插座。(2) **光地展区:** 36 平方米起租。(3) **“科创中国” 新技术、新成果集中展示区:** 宣传板 (单张宣传板标准尺寸约 3 m×2 m); 宣传板由主办方统一制作和布展。

**参观者:** 来自国外及全国各地的专业人士前来参观和洽谈, 其他相关行业的参观者有机械、模具、热处理、工业炉、航空航天、石油、兵器、家电、电子、纺织机械等。

**联系方式:**

**地 址:** 北京市海淀区学清路 18 号中国机械工程学会塑性工程分会秘书处 **网址:** <http://www.cstp-cmes.org.cn>

**联系人:** 林玉彤、秦思晓、周 林 **联系电话:** 010-62920652 **E-mail:** fst\_linyutong@163.com; duanya@cmes.org

中国机械工程学会塑性工程分会