

## 工艺方案对高强平板冲压件回弹及补偿的影响

孔 敏<sup>1</sup>, 胡 伟<sup>2</sup>

(1. 文华学院 机械与电气工程学部, 湖北 武汉 430074;  
2. 武汉数码模冲压技术有限公司, 湖北 武汉 430056)

**摘要:** 为解决高强度平板冲压件回弹问题严重以及模拟过程中回弹和回弹补偿不稳定等问题, 以某汽车电池盒盖板为研究对象, 通过该零件的全工序回弹进行分析, 探究了导致其回弹补偿不稳定的因素及影响规律, 对比分析了5种工艺方案并确定了控制该零件回弹的最优方案。冲压实验验证表明: 对于高强度平板冲压件, 若采用落料成形方案, 通过工艺优化的方法无法控制其回弹, 且回弹不稳定, 工艺稍有改动便会造成回弹趋势的改变; 但采用拉延-修边冲孔-翻边翻孔的拉延成形方案, 回弹稳定且合格。本研究方法及研究思路对类似零件的生产具有指导意义。

**关键词:** 高强平板冲压件; 回弹补偿; 稳定性; 拉延成形; 落料成形

**DOI:** 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.10.011

**中图分类号:** TG386      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3940 (2023) 10-0075-06

## Influence of process scheme on springback and compensation for high strength flat stamping part

Kong Min<sup>1</sup>, Hu Wei<sup>2</sup>

(1. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Wenhua College, Wuhan 430074, China;  
2. Wuhan Digital Die Stamping Technology Co., Ltd., Wuhan 430056, China)

**Abstract:** In order to solve the serious springback problem of high-strength flat stamping parts and the instability of springback and springback compensation during the simulation process, for a certain automotive battery box cover plate, through the full process springback analysis of the part, the factors that affected the instability of springback compensation and their influencing laws were explored, and after comparative analysis of five process plans, the optimal plan for controlling the springback of part was determined. Then, the stamping experiments verification shows that for high-strength flat stamping parts, if a blanking forming scheme is used, the springback cannot be controlled through the process optimization methods, and the springback is unstable. A slight change in the process causes a change in the springback trend. However, a drawing forming solution of drawing drawing-trimming and punching-flanging is adopted, the springback is stable and qualified. The research method and research ideas have guiding significance for the production of similar parts.

**Key words:** high strength flat stamping part; springback compensation; stability; drawing forming; blanking forming

高强平板冲压件的成形回弹问题一直是模具设计生产的难点, 而在实际工程中, 平板件如电池盒盖板, 应采用何种工艺方案, 往往要综合考虑成形性及经济成本。目前, 其常采用落料成形方案<sup>[1-3]</sup>, 但存在回弹补偿不稳定问题<sup>[4-6]</sup>。国内外研究学者及工程师们发现, 在确定高强钢平板件的工艺方案

过程中, 由于其结构简单, 几乎可以不考虑起皱、开裂等缺陷, 主要考虑其对回弹量的影响<sup>[7-9]</sup>。因此, 在考虑经济成本的同时, 应重点关注平板件的回弹问题, 而常采用的落料成形工艺, 其回弹却极其不稳定且难以控制, 因此, 研究高强平板冲压回弹补偿不稳定的原因及工艺方案的确定迫在眉睫。

基于此, 本文以某汽车电池盒盖板为研究对象, 针对其几何形状简单、顶面为平面、材料为高强度板的特点, 探究了导致其回弹补偿不稳定的原因及影响规律。综合分析后提出了控制该零件回弹的优化方案, 并采用该方案进行了冲压实验验证, 以期类似零件的生产提供指导。

**收稿日期:** 2023-03-04; **修订日期:** 2023-06-09

**基金项目:** 湖北省教育厅科学技术研究计划项目 (B2021334)

**作者简介:** 孔 敏 (1991-), 女, 硕士, 讲师

**E-mail:** 13207131768@163.com

**通信作者:** 胡 伟 (1990-), 男, 学士

**E-mail:** 782802298@qq.com

## 1 工艺分析

汽车电池盒盖板的材质为 HC340-590 钢, 厚度为 1.0 mm, 尺寸为 808 mm (长) × 314 mm (宽) × 10 mm (高), 其结构简图如图 1 所示, 性能参数如表 1 所示。该零件的顶面为大平面, 长度方向两侧为纯折弯, 中间有加强筋和翻孔。

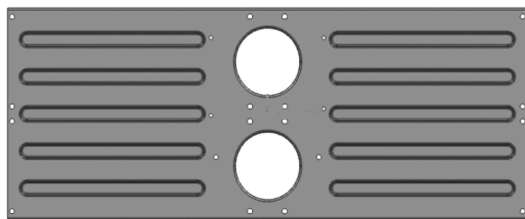


图 1 汽车电池盒盖板

Fig. 1 Car battery box cover

表 1 HC340-590 钢性能参数

Table 1 Property parameters of HC340-590 steel

参数	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	伸长率/ %	硬化指数	各向异性 指数
数值	340	590	0.21	0.19	0.92

该盖板零件较浅, 且型面简单, 一般采用落料成形工艺。由于加强筋比较浅, 可以采用压料板成形或刀块成形; 而中间的加强筋与翻孔及翻边的位置有一定的距离, 可以采用一序成形。由于该盖板零件结构简单, 不存在起皱、开裂缺陷, 故所有成形方案主要考虑对其回弹的影响<sup>[10]</sup>。

## 2 成形方案对回弹的影响

### 2.1 落料冲孔-成形-冲孔方案

方案 1: 采用模具数量最少的工艺方案, 即落

料冲孔-成形-冲孔。由于成形后冲孔基本不影响回弹, 冲孔工序可以忽略不计<sup>[11]</sup>, 其工具体运动如图 2 所示, 回弹模拟结果如图 3 所示。

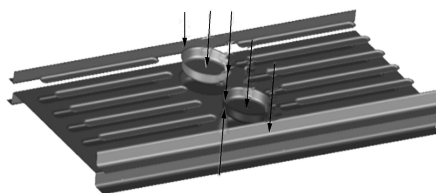


图 2 方案 1 的工具体运动图

Fig. 2 Tool body motion diagram of scheme 1

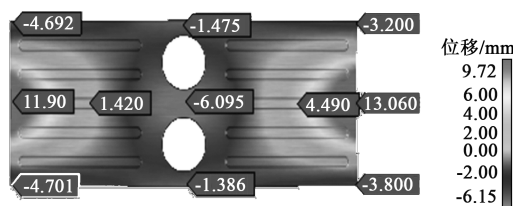


图 3 方案 1 成形后的回弹位移云图

Fig. 3 Cloud chart of springback displacement after forming in scheme 1

通过工序分析, 冲孔工序的应力释放较小, 模具型面大部分被掏空且不墩死, 故仅分析前 3 个工序的回弹即可。通过图 3 可知: 方案 1 一次成形后的最大回弹量为 +13.060 和 -6.095 mm, 且最大回弹量在两端和中间; 由于顶面为平面, 补偿后为曲面, 补偿回弹后很难为平面, 无法通过回弹补偿来解决回弹问题<sup>[12]</sup>。

### 2.2 硬拍成形顶面筋-翻边翻孔方案

方案 2: 采用两工序成形方案。因为翻边是纯折弯, 如果顶面回弹后是平面, 折弯不会引起顶面的回弹<sup>[13]</sup>。故第 1 道工序采用硬拍成形顶面筋, 第 2 道工序采用翻边翻孔。其工具体运动如图 4 所示, 回弹模拟结果如图 5 所示。

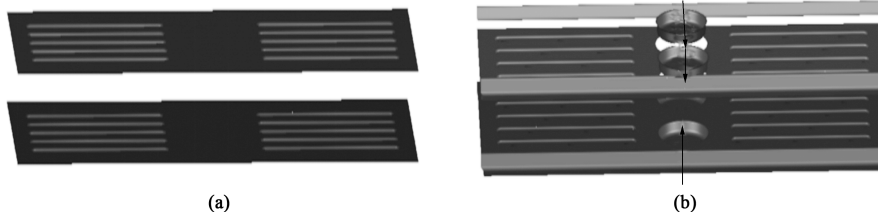


图 4 方案 2 的工具体运动图

(a) 第 1 道工序 (b) 第 2 道工序

Fig. 4 Tool body motion diagrams of scheme 2

(a) The first step (b) The second step

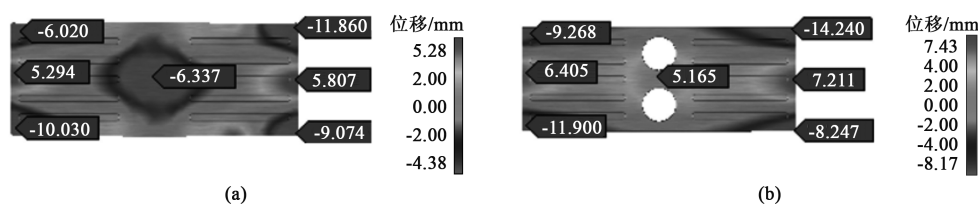


图 5 方案 2 成形后的回弹位移云图

(a) 第 1 道工序 (b) 第 2 道工序

Fig. 5 Cloud charts of springback displacement after forming in scheme 2

(a) The first step (b) The second step

通过图 5 可知，方案 2 第 1 次成形后的最大回弹量为+5.807 和-11.860 mm，第 2 次成形后的最大回弹量为+7.211 和-14.240 mm。趋势和方案 1 一样，正负回弹量不同，总回弹量相差不多。

### 2.3 压料成形-翻边翻孔方案

方案 3：因为最终的回弹是第 1 道工序产生的，因此，在方案 2 的基础上，将方案 1 的硬拍改为压料成形，即加强筋拆除刀块，平顶面做压料。其具体运动如图 6 所示，回弹模拟结果如图 7 所示。

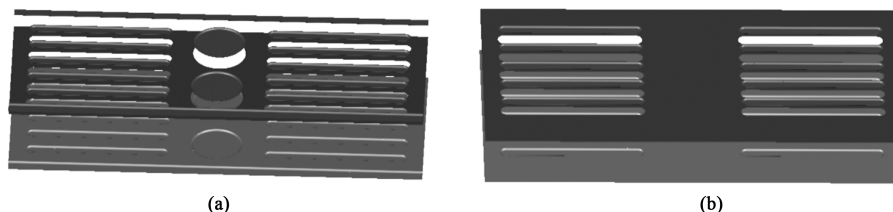


图 6 方案 3 的工具体运动图

(b) 第 1 道工序 (b) 第 2 道工序

Fig. 6 Tool body motion diagrams of scheme 3

(a) The first step (b) The second step

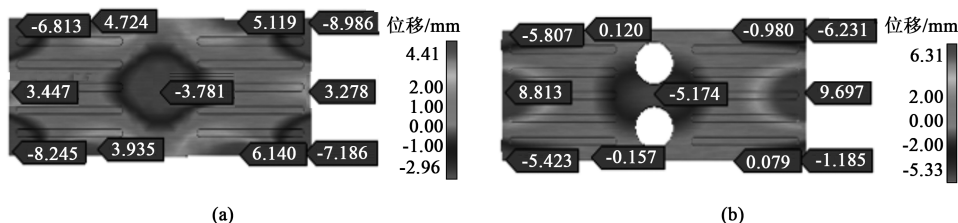


图 7 方案 3 成形后的回弹位移云图

(a) 第 1 道工序 (b) 第 2 道工序

Fig. 7 Cloud charts of springback displacement after forming in scheme 3

(a) The first step (b) The second step

通过图 7 可知，方案 3 第 1 次成形后的最大回弹量为+6.140 和-8.986 mm，第 2 次成形后的最大回弹量为+9.697 和-6.231 mm。方案 3 第 1 道工序成形和方案 2 的第 1 道工序成形的回弹趋势一样，但回弹量有差别；第 2 次成形后，方案 3 和方案 2 中第 2 道工序成形后的回弹趋势不一致，中间趋势完全相反。

### 2.4 第 1 道工序增加预成形方案

方案 4：为了控制中间塌陷和长边边缘回弹后

的大波纹，第 1 道工序成形中间翻孔和两边增加预成形，预成形高度和中间加强筋高度一致，保证同时受力。其具体运动如图 8 所示，回弹模拟结果如图 9 所示。

通过图 9 可知，方案 4 第 1 次成形后的最大回弹量为+5.678 和-11.180 mm，第 2 次成形后最大回弹量为+7.155 和-6.555 mm。方案 4 解决了回弹引起的中间塌陷或者凸起问题，整体回弹量明显减小，但回弹集中在两端且回弹量在 1 mm 以上。

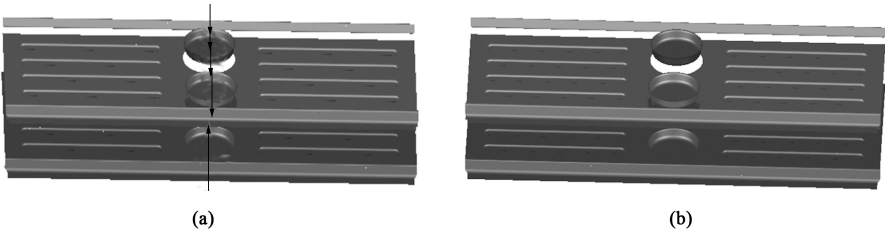


图 8 方案 4 的工具体运动图  
(a) 第 1 道工序 (b) 第 2 道工序  
Fig. 8 Tool body motion diagrams of scheme 4  
(a) The first step (b) The second step

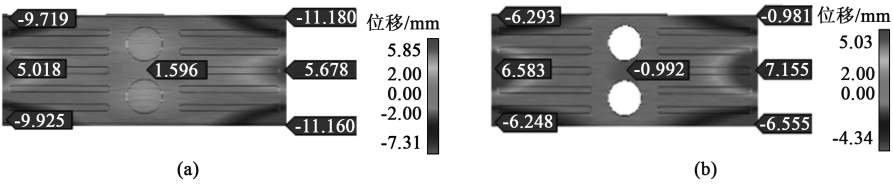


图 9 方案 4 成形后的回弹位移云图  
(a) 第 1 道工序 (b) 第 2 道工序  
Fig. 9 Cloud charts of springback displacement after forming in scheme 4  
(a) The first step (b) The second step

2.5 成形增加纵向加强筋-成形压平方案

方案 5：在方案 4 的基础上，在回弹集中的两端的第 1 次成形中增加纵向加强筋，控制受力

平衡，第 2 次成形压平，保证最终产品形态<sup>[14]</sup>。其工具体运动如图 10 所示，回弹模拟结果如图 11 所示。

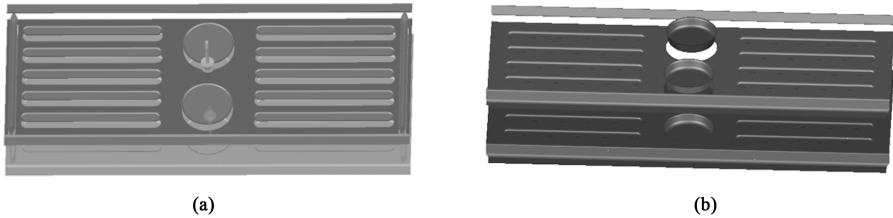


图 10 方案 5 的工具体运动图  
(a) 第 1 道工序 (b) 第 2 道工序  
Fig. 10 Tool body motion diagrams of scheme 5  
(a) The first step (b) The second step

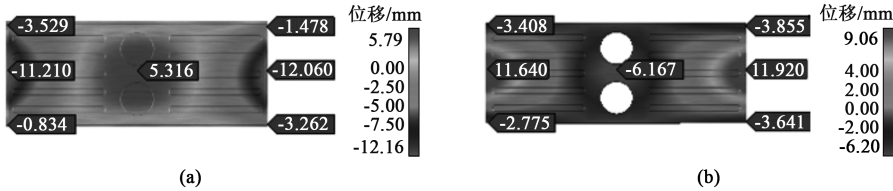


图 11 方案 5 成形后的回弹位移云图  
(a) 第 1 道工序 (b) 第 2 道工序  
Fig. 11 Cloud charts of springback displacement after forming in scheme 5  
(a) The first step (b) The second step

通过图 11 可知，方案 5 第 1 次成形后的最大回弹量为+5.316 和-12.060 mm，第 2 次成形后的最

大回弹量为+11.920 和-6.167 mm。第 1 次成形加纵筋后，回弹趋势变化很大，两端的波纹回弹集中

在中间，且打破了中间的平衡，最终的回弹趋势变化也较大。

2.6 工艺方案对回弹影响的结论

对于落料成形方案，此类工艺方案无论如何优化，最终回弹量均很大，无法控制在公差范围内，且回弹非常不稳定，一点微小的工艺改动便会造成回弹趋势的改变。从几何和受力分析，此类高度板大平面回弹很难通过回弹补偿解决。

3 优化工艺方案

方案 6，即优化方案：采用拉延成形方案，工艺路线为拉延-修边冲孔-翻边翻孔。其模拟流程为拉延-回弹-修边冲孔-回弹-翻边翻孔-回弹，工具体运动如图 12 所示，回弹模拟结果如图 13 所示。

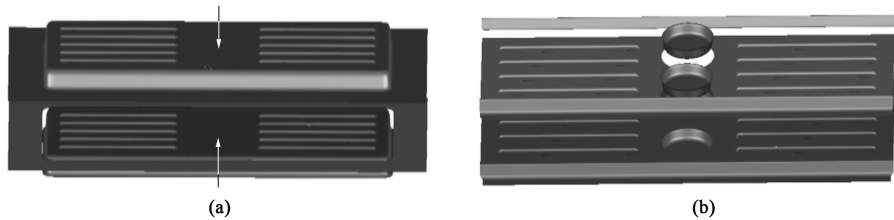


图 12 方案 6 的工具体运动图  
(a) 第 1 道工序，拉延 (b) 第 3 道工序，翻边翻孔

Fig. 12 Tool body motion diagrams of scheme 6  
(a) The first step, drawing (b) The third step, flanging and hole flanging

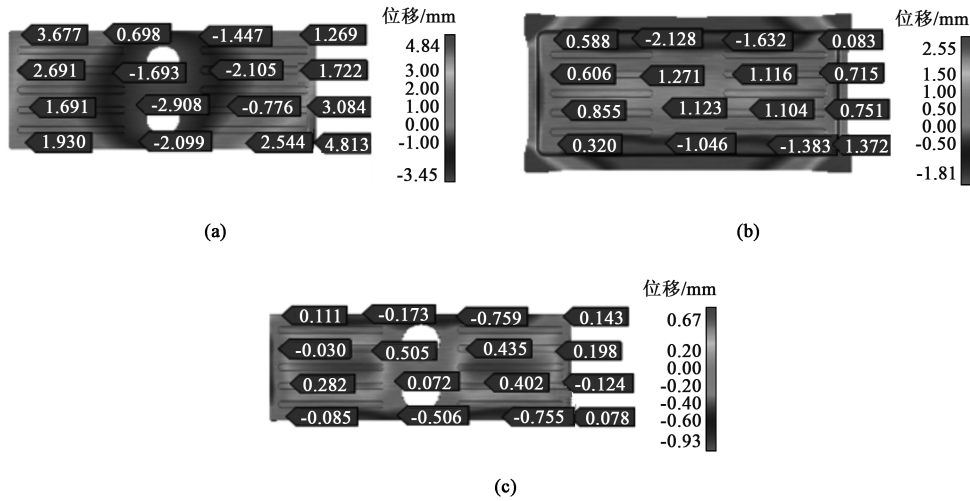


图 13 方案 6 全工序的回弹位移云图  
(a) 第 1 道工序，拉延 (b) 第 2 道工序，修边冲孔 (c) 第 3 道工序，翻边翻孔

Fig. 13 Cloud charts of spring back displacement for whole steps in scheme 6

(a) The first step, drawing (b) The second step, trimming and punching (c) The third step, flanging and hole flanging

通过图 13 可知，方案 6 拉延后的最大回弹量为 +4.813 和 -2.908 mm，修边冲孔后的最大回弹量为 +1.372 和 -2.128 mm，翻边翻孔后的最大回弹量为 +0.505 和 -0.759 mm。相对于落料成形方案，拉延成形方案的整体回弹量小，回弹稳定，最终回弹量在 1 mm 内，符合公差要求。

4 实验验证

采用方案 6 进行冲压实验验证。在零件的主

要装配面上分别等距取 4 个点作为测量点，通过三维坐标测量仪测量多个测量点的回弹值，实验零件及测量点分布如图 14 所示，其回弹量结果如图 15 所示。

通过研究分析，方案 6 为最优工艺方案，采用最优工艺方案进行回弹补偿，在得到的模具型面上进行实验验证。结果表明：采用以上研究方法补偿后，现场无需修模，回弹均控制在 1 mm 以内，有效地解决了该零件的回弹问题。



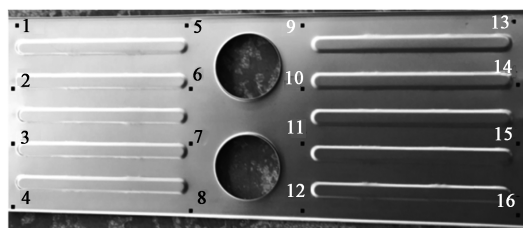


图 14 实验零件图和测量点选取

Fig. 14 Experimental part diagram and selection of measurement points

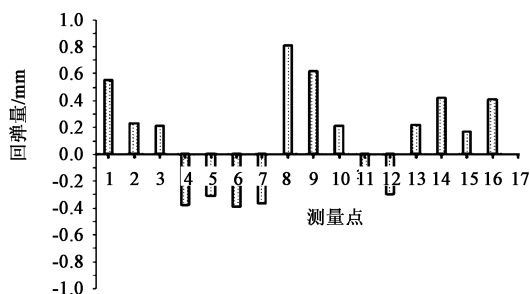


图 15 实验零件的回弹量结果

Fig. 15 Springback amount results of experimental parts

## 5 结论

(1) 落料成形方案, 通过工艺优化无法控制回弹, 且回弹不稳定, 工艺稍有改动, 便会造成回弹趋势的改变。

(2) 对于高强度冲压件应采用拉延成形方案, 工艺路线为: 拉延-修边冲孔-翻边翻孔, 现场试模表明回弹稳定, 回弹量在 1 mm 内, 符合公差要求。

### 参考文献:

- [1] 杨玉贵, 丁哲, 胡建全. 汽车覆盖件顶盖冲压工艺方案标准化研究 [J]. 模具制造, 2021, 21 (7): 8-12.  
Yang Y G, Ding Z, Hu J Q. Research on standardization of top cover stamping process plan for automobile panels [J]. Die & Mould Manufacture, 2021, 21 (7): 8-12.
- [2] 叶梦彬. 浅拉延技术在汽车覆盖件冲压工艺上的应用 [J]. 锻造与冲压, 2023, (16): 50-54.  
Ye M B. Application of shallow drawing technology in automotive panel stamping process [J]. Forging & Metalforming, 2023, (16): 50-54.
- [3] 梁发周, 钟圣滔. 基于 AutoForm 模拟的汽车 B 柱加强板热冲压工艺分析与优化设计 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (12): 75-80.  
Liang F Z, Zhong S T. Analysis and optimization design of hot stamping process for automotive B-pillar reinforcement plate based on AutoForm simulation [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (12): 75-80.
- [4] Sumikawa S, Ishiwatari A, Hiramoto J, et al. Improvement of springback prediction accuracy using material model considering elastoplastic anisotropy and baushinger effect [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2016, 230 (645): 1-7.
- [5] 谢晖, 沈云飞, 王杭燕. 基于改进响应面模型的冲压回弹工艺稳健性优化 [J]. 塑性工程学报, 2018, 25 (4): 26-32.  
Xie H, Shen Y F, Wang H Y. Robustness optimization of stamping springback based on improved response surface model [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2018, 25 (4): 26-32.
- [6] 孙刚, 隋洲, 毕丽娟, 等. 基于 AutoForm 的汽车顶盖冲压回弹补偿研究 [J]. 模具工业, 2021, 47 (4): 11-15.  
Sun G, Sui Z, Bi L J, et al. Research on springback compensation of car roof panel stamping based on AutoForm [J]. Die & Mould Industry, 2021, 47 (4): 11-15.
- [7] Wu Z J, Gong J J, Chen Y D, et al. Springback prediction of dieless forming of AZM120 sheet metal based on constitutive model [J]. Metals, 2020, 10 (6): 124-131.
- [8] Jin L, Yang Y F, Li R Z, et al. Study on springback straightening after bending of the U-section of TC4 material under high-temperature conditions [J]. Materials, 2020, 13 (8): 88-95.
- [9] 朱超. 汽车前门外板冲压成形工艺优化设计及回弹补偿 [D]. 镇江: 江苏大学, 2018.  
Zhu C. Optimization Design and Springback Compensation of the Stamping Forming Process of the Automobile Front Door Outer Panel [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2018.
- [10] Wang Z, Hu Q, Yan J, et al. Springback prediction and compensation for the third generation of UHSS stamping based on a new kinematic hardening model and inertia relief approach [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, 90 (1-4): 875-885.
- [11] Wu J, Zhang Z. An improved procedure for manufacture of 3D tubes with springback concerned in flexible bending process [J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2021, 34 (11): 267-276.
- [12] 闫浩涵, 林春雷, 许晓燕. 背门内板涂胶支撑爪冲压工艺补偿方案 [J]. 模具工业, 2020, 46 (10): 16-18, 26.  
Yan H H, Lin C L, Xu X Y. Compensation scheme for stamping process of glued supporting claw in tail gate inner panel [J]. Die & Mould Industry, 2020, 46 (10): 16-18, 26.
- [13] 唐妍, 蒋松. 翼子板内板冲压工艺数值模拟及回弹补偿 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (12): 105-111.  
Tang Y, Jiang S. Numerical simulation and springback compensation on stamping process for fender inner plate [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (12): 105-111.
- [14] 涂小文. 基于 AutoForm 软件的回弹计算及补偿技术揭秘 (上册) [M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2016.  
Tu X W. Rebound Calculation and Compensation Technology Revelation Based on AutoForm Software: Volume I [M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Publishing House Press, 2016.