

两座电动汽车顶盖的冲压成形

黄祖朋¹, 韦 韡^{1,2}, 蒋明周³, 罗 勇⁴, 张 峰¹, 李开文¹, 周乐育²

(1. 上汽通用五菱汽车股份有限公司, 广西 柳州 545007; 2. 中国机械科学研究总院集团有限公司, 北京 100044;
3. 桂林电器科学研究院有限公司, 广西 桂林 541004; 4. 广西艾盛创制有限公司, 广西 柳州 545007)

摘要:介绍了一种具有复杂形状特征的两座电动汽车顶盖零件及其冲压成形方法。针对该汽车小批量多品种的特点,提出了顶盖冲压模具多种车型配置共用模具的目标,经过分析对比,选择拉伸模独用、后续 OP20~OP40 整形模共用的技术方案。对该顶盖材料进行测试并建立了材料参数模型,采用数值模拟的方法,分析顶盖成形性问题。针对成形过程中的凹面和起皱问题,通过增加压力及调整吸皱筋高度,抑制凹面和尾部整形起皱缺陷的产生。结果表明:对于该种零件,3 mm 高度腰型的吸皱筋的效果最好,经过几次精确的 CAE 模拟分析及相应调整后,材料成形充分,减薄率和应力、应变均满足要求。

关键词:电动汽车顶盖;共用模具;整形模;凹面;起皱

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.08.010

中图分类号: TG386.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2022) 08-0060-08

Stamping of two-seat electric vehicle roof

Huang Zupeng¹, Wei Wei^{1,2}, Jiang Mingzhou³, Luo Yong⁴, Zhang Feng¹, Li Kaiwen¹, Zhou Leyu²

(1. SAIC GM Wuling Automobile Co., Ltd., Liuzhou 545007, China;

2. China Academy of Machinery Science and Technology Co., Ltd., Beijing 100044, China;

3. Guilin Electrical Equipment Scientific Research Institute Co., Ltd., Gunlin 541004, China;

4. Guangxi Aisheng Creative Technology Co., Ltd., Liuzhou 545007, China)

Abstract: A kind of two-seat electric vehicle roof with complex shape features and its stamping method were introduced, and according to the characteristics of small batch and multi-variety for the vehicle, the goal of configuring a common die for various models of roof stamping die was proposed, and after analysis and comparison, the technical scheme of drawing die alone and subsequent OP20-OP40 shaping common was selected. Then, the roof material was tested, and a material parameter model was established. Furthermore, the roof formability was analyzed by numerical simulation method, and aiming at the problem of concave surface and wrinkle in the forming process, by increasing the pressure and adjusting the height of wrinkle-absorbing rib, the defects of concave surface and wrinkle of tail shaping were suppressed. The results show that the waist-type wrinkle-absorbing ribs with the height of 3 mm have the best effect. After several accurate CAE simulation analysis and corresponding adjustment, the material is fully formed, and the thinning rate, stress and strain meet the requirements.

Key words: electric vehicle roof; common die; shaping die; concave surface; wrinkle

汽车顶盖是车身骨架的重要组成部分,与侧围总成、地板总成、前围挡板组成乘员舱用以保护成员。其主要有下列作用:(1)遮挡风雨阳光;(2)保障室内密封性,隔音防尘;(3)提高车身刚度强度和整车安全;(4)防止空中坠落物体砸伤成员及

损害车内物品和防盗;(5)增添车内舒适性。汽车顶盖通常分为固定式顶盖和敞篷式顶盖两种,固定式顶盖常用的材料有碳素结构钢、铝板、碳纤维等;敞篷式顶盖常用的材料有轻质金属或树脂材料、篷布等。目前,国内外汽车顶盖的材料研究方向主要有碳素结构钢、铝板、碳纤维等;一般的汽车顶盖采用的是碳素结构钢板;高级别的车型特别是新能源的车型上,考虑到续航里程及经济性,采用铝合金顶盖。如奥迪 A8 采用的为铝合金顶盖,蔚来汽车 EC6 车顶大量使用了航天级别的 7 系铝;而碳纤维材料则在一些高端车型上使用,如兰博基尼 Aventador SVJ 敞篷版的可拆卸的刚性车顶应用了碳

收稿日期:2021-08-04;修订日期:2021-11-06

基金项目:广西创新驱动发展专项课题(桂科 AA18118040);
柳州市科技计划课题(2018AD50301)

作者简介:黄祖朋(1989-),男,博士,高级工程师

E-mail: zupeng.huang@sgmw.com.cn

通信作者:韦 韡(1983-),男,博士,正高级工程师

E-mail: wei6.wei@sgmw.com.cn

纤维材料, 宝马 M6 顶盖也应用了碳纤维材料。但是铝的价格约为钢的 5 倍, 碳纤维则更贵^[1-5]。

随着国内新能源汽车的不断发展, 对个性化要求不断提高。新能源汽车尤其是小型新能源汽车与传统燃油车大批量标准化生产不同, 其更多地呈现出小批量多品种的特点。因此, 对于冲压模具等工装设备的摊销压力也日益增大, 如何在不同的车型直接实现模具的共用以节省制造成本, 成为整车厂关注的重点。上汽通用五菱汽车股份有限公司根据市场需求, 设计开发了一款两座纯电动汽车, 整车尺寸仅为传统燃油车的 1/2 左右, 主要用于城市代步。根据用户画像设计了多个版本, 但是要求顶盖模具在各版本零件中共用, 这为模具开发带来了很大的挑战。由于两座电动车主要用于市内代步, 对成本较为敏感,

综合考虑决定顶盖采用低碳钢材料冲压成形。

1 顶盖冲压成形方案

图 1 为该项目普通版和高配版两种顶盖零件, 材料采用公司顶盖钢板, 料厚为 0.65 mm; 其机械性能参数为: 屈服强度不小于 120~240 MPa; 抗拉强度不小于 270 MPa; 加工硬化指数 n 为 0.224、各向异性指数平均值 γ 为 1.83、伸长率不小于 40%。该顶盖的外形尺寸为 938 mm×1022 mm×164 mm, 宏观尺寸不大, 但是与传统顶盖相比, 前后两侧增加了大量的形状特征: (1) 两种配置的顶盖的外形尺寸一致, 前挡风玻璃区域的产品特征有差异; (2) 产品差异的特征不能通过同一套模具切换来实现。

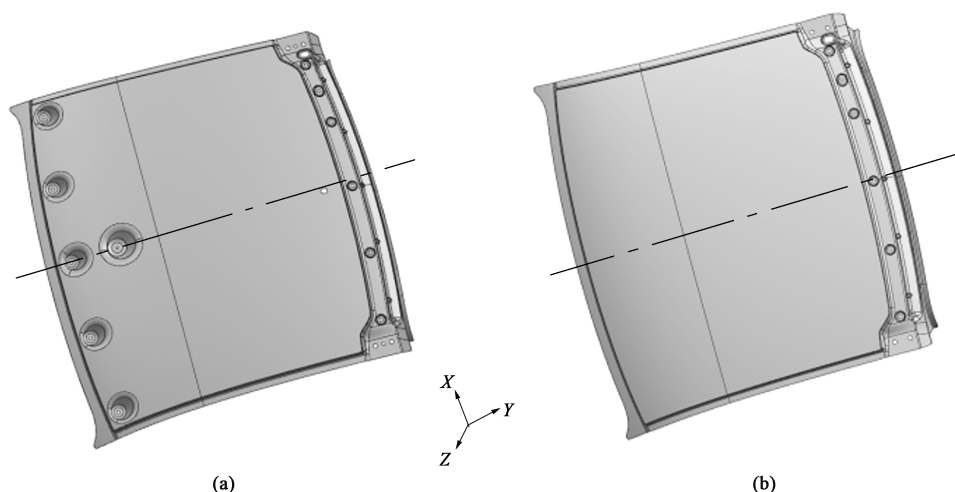


图 1 顶盖零件图

(a) 高配版 (b) 普通版

Fig. 1 Diagrams of roof parts

(a) High level (b) Normol level

从上述特点分析, 这两种顶盖可考虑通过共用模具来实现降低产品开发成本的目的。与传统的顶盖相比, 该车型顶盖的尺寸较小, 零件刚度较好。但是高配版顶盖增加了多个安装沉台, 增加了成形的难度^[6-8]。高低配切换冲孔时压料只能采用弹性元件压料, 高配零件的表面质量差。根据零件特点, 提出了 3 种模具开发的方案。

(1) 方案 1: 如图 2 所示, 高配版和普通版共用拉伸模, 凹台通过整形做出。不需要新增模具, 仅在整形模上增加切换装置。该方案成本低, 且工艺稳定, 但是对凹台深度有要求, 一般仅能整形 5 mm 左右, 否则会导致开裂, 而该车型凹台深度为 30 mm, CAE 分析结果显示开裂严重。

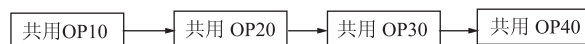


图 2 方案 1 的工艺流程

Fig. 2 Process flow of scheme 1

(2) 方案 2: 如图 3 所示, 高配版和普通版分别各用一套拉伸模和整形模, 凹台在拉伸工序做出。该方案成本很高, 且模具过多, 生产切换和管理复杂。

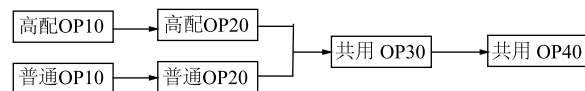


图 3 方案 2 的工艺流程

Fig. 3 Process flow of scheme 2

(3) 方案 3: 如图 4 所示, 高配版和普通版各用一套拉延模, 凹台在拉延工序做出。OP20~OP40

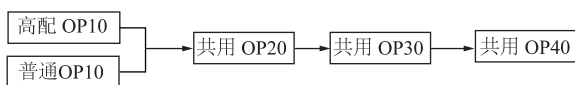
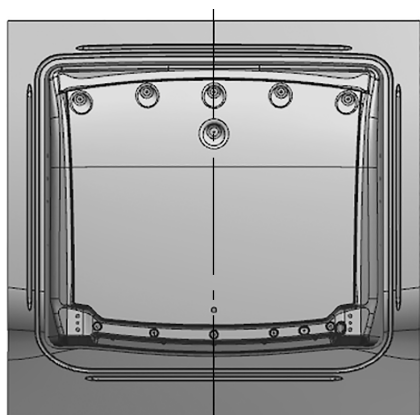
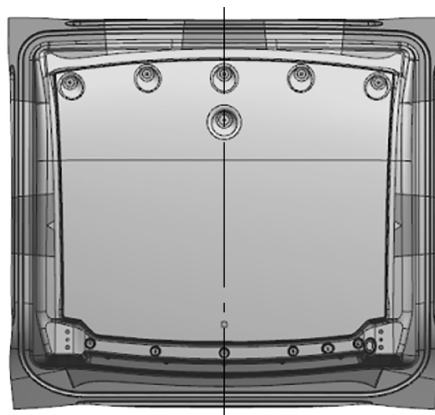


图 4 方案 3 的工艺流程

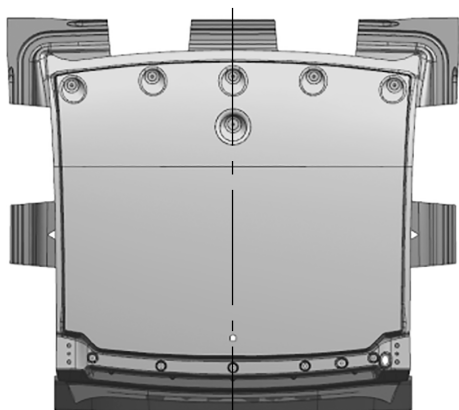
Fig. 4 Process flow of scheme 3



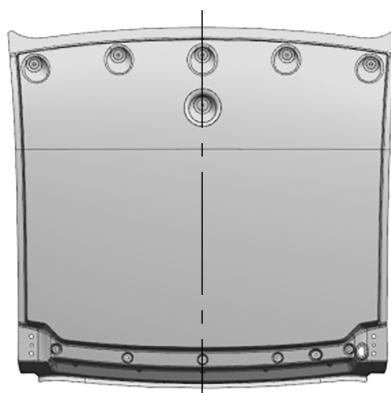
(a)



(b)



(c)



(d)

图 5 顶盖冲压工序

(a) OP10 (b) OP20 (c) OP30 (d) OP40

Fig. 5 Stamping process of roof

2 成形性分析

2.1 材料模型的建立

CAE 模拟分析在实际过程中常用到的材料屈服准则有 Hill 正交各向异性屈服准则、Von Mises 各向同性屈服准则以及 Barlat 多晶材料屈服准则, 在板材冲压成形模拟技术中一般采用第 1 种。在平面应力状态下, Hill 屈服准则可以表示为:

$$\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \frac{2\gamma}{\gamma+1}\sigma_x\sigma_y + \frac{2\gamma+1}{\gamma+1}\sigma_{xy}^2 = \bar{\sigma}^2 \quad (1)$$

式中: σ_x 为 X 轴方向的屈服应力; σ_y 为 Y 轴方向的屈服应力; σ_{xy} 为 X 轴和 Y 轴方向的等效屈服应力; $\bar{\sigma}$ 为等效屈服应力。

屈服应力是塑性应变的函数, 应力、应变之间关系的数学表达式为:

$$\sigma_y = K(\varepsilon_{yp} + \varepsilon_p)^n \quad (2)$$

式中: ε_{yp} 为屈服时的弹性应变; ε_p 为等效塑性应变; K 为强化系数; n 为加工硬化指数。

正交各向异性板料的加工硬化指数 n 对于成形极限的影响规律为: n 越大, 主应变 ε_1 及次应变 ε_2 越大; 各向异性指数 r (r_0 、 r_{90}) 越大, 主应变 ε_1

及次应变 ε_2 越小。

2.2 材料参数的确定

依据 GB/T 228.1—2021^[9]，25 ℃ 下，在 MTS 材料试验机（型号为 QTEST/100）上对顶盖材料进行力学性能测试，结果如表 1 所示。

表 1 材料的力学性能参数

Table 1 Mechanical property parameters of material					
材料	料厚/ mm	泊松比	屈服强度 R_{eL} /MPa	加工硬化 指数 n	各项异性指数 平均值 γ
顶盖钢板 BLD-FC-D	0.65	0.3	165	0.224	1.83

采用 Hill 屈服准则进行 CAE 分析，在 σ_1 - σ_2 坐标系下（该坐标为质点在两向应力状态下的屈服轨迹），Tresca 准则为 Mises 椭圆的内接六边形，以此求得这两个准则在受 6 个纯剪切应力状态下的屈服点是重合的，根据测试结果，绘制屈服圆，如图 6 所示。将以上结果作为分析的初始条件，成形分析边界条件为：单动拉延，成形力为 3250 kN，压边力为 1000 kN，压边圈行程为 85 mm。

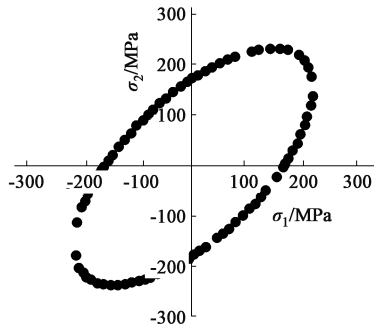


图 6 屈服圆图
Fig. 6 Yield circle diagram

2.3 模拟分析结果

图 7 为成形极限图，图 8 为零件本体与工艺补充和废料区域分布图，图 9 为顶盖拉延工序成形性分析结果。结合图 7 和图 9 的成形结果来看，本体部分均处于安全区域分布图，而零件工艺补充和废料区域有增厚和起皱风险（图 9 四角框选区域），从上述结果分析，工艺补充部分和废料区域的增厚和起皱风险对零件本体的影响不明显，故综合判断该分析结果可接受并可用于模具设计及调试生产。

针对不同的屈服强度，设置了不同的减薄率要求，这是由于顶盖材料的屈服强度小于 250 MPa，因此，产品区域的减薄率应小于 25%，圆角半径小于 4 mm 的区域的减薄率应小于 30%。板料的减薄

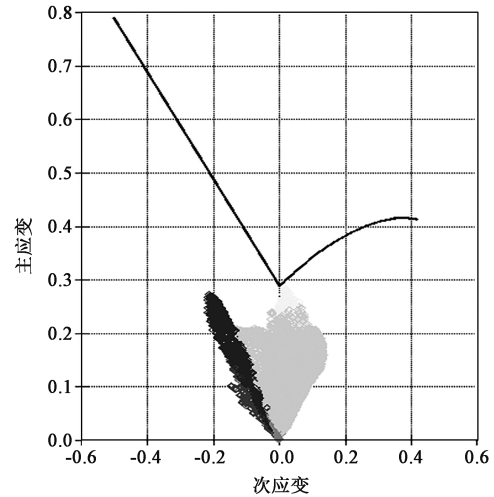


图 7 成形极限图
Fig. 7 Forming limit diagram

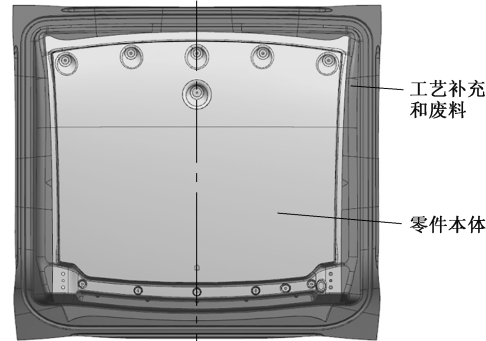


图 8 本体与工艺补充和废料区的分布
Fig. 8 Distribution of body and process supplement and scrap area

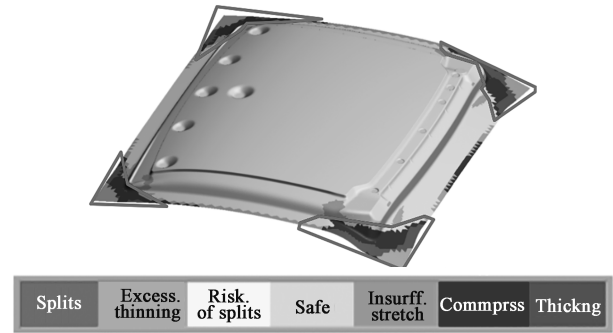


图 9 拉延成形性分析结果
Fig. 9 Formability analysis results of drawing

主要在拉延工序发生，根据该原则检查顶盖拉延工序的减薄率，满足成形性要求，如图 10 所示。

3 潜在问题分析

综合考虑产品的工艺性特点，结合 FMEA 分析，该零件可能出现凹面和起皱两种缺陷。为获得高品质

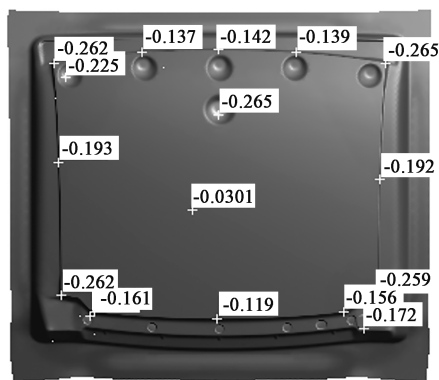


图 10 拉伸工序减薄率分析结果

Fig. 10 Thinning rate analysis results of drawing process

的零件, 需采取相应的措施来抑制缺陷的产生。

3.1 凹面缺陷

因 OP20 工序模具被高配零件和低配零件共用, 上模压料板需避让沉台轮廓, 以免生产低配零件时将板料压出印痕, 但是由于距离边缘太近, 压料板的厚度很薄 (图 11 圆圈处), 仅为 10 mm, 形成图 11 圆圈处所示的压料板尖端突起特征, 从而导致模具的强度很差, 此特征在模具正常服役过程中, 容易失稳而产生断裂等失效问题^[10-11]。

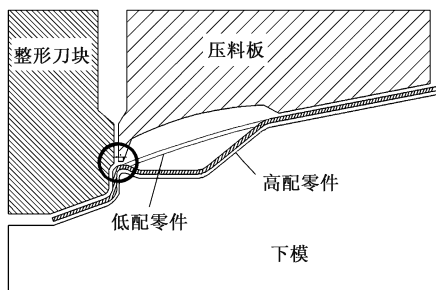


图 11 OP20 共用模具示意图

Fig. 11 Schematic diagram of OP20 common die

由于该突起特征的压料面积较小, 同等压力源情况下, 该特征提供的压料力也较小, 正常接触情况下, 不足以压住板料, 导致在整形时板料蹿动, 该区域产生凹面缺陷, 如图 12 所示。

为了解决上述凹面问题, 采取的措施有:

(1) 从产品端减少凹台布置, 除前侧的安装孔位不取消, 两侧和后侧的卡扣凹台均取消, 以支架代替。

(2) 前侧安装孔的凹台周边, 通过在加工数模上进行偏置, 使压料板该位置形成强压, 增加压料板其他区域的压料面积。

(3) 增加压料板的压力源大小, 从而避免板料在流动过程中失稳导致凹面的产生。

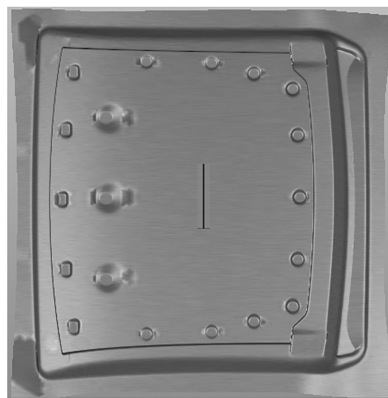


图 12 凹台周边的凹面缺陷模拟结果

Fig. 12 Simulation result of concave surface defect around concave platform

综合采取多种措施后, 对顶盖零件进行试压。图 13 为试制的顶盖实际零件, 顶盖表面经油石打磨后检查, 凹台周边油石痕迹连续, 没有中断和起伏, 即未出现明显的凹面。



图 13 顶盖凹台照片

Fig. 13 Photo of roof platform

3.2 起皱问题

板料成形起皱根据受到的外力条件的不同, 一般分为压应力起皱、不均匀拉伸起皱、剪应力起皱和弯曲力起皱等。材料的宏观起皱表现为压应力起皱的翘曲长度与主应力方向垂直, 不均匀拉伸起皱的长度方向与主应力平行, 而剪应力起皱的长度方向与主应力方向呈一定角度 ($0^\circ \sim 90^\circ$)。由图 14 可知, 材料起皱的长度方向均匀一致, 与主应力方向呈一定的角度, 故该区域产生起皱的原因为不均匀拉伸。遵循不均匀拉伸起皱机制, 考虑加载路径对起皱的影响, 对 FLD 中起皱的评价准则进行修正, 表达式如式 (3) 和式 (4) 所示。

$$\varepsilon_{\text{opt}} = \min \left(-\varepsilon_2 - \frac{\gamma}{1 + \gamma} \varepsilon_1 \right) \quad (3)$$

$$\varepsilon_{\omega} = - \left(\varepsilon_2 + \frac{\gamma}{1 + \gamma} \varepsilon_1 \right) < \varepsilon_{opt} \tag{4}$$

式中： ε_{opt} 为修正后的临界起皱应变； ε_{ω} 修正后的起皱应变。

上述评判准则充分考虑了板料成形过程中应变轨迹对起皱的影响，并且板料在成形过程中的每一个应变状态均将被累计并且对评价标准进行修正。该准则表达材料在冲压成形过程中应变轨迹只能离起皱极限曲线越来越远，当应变轨迹与起皱极限曲线的距离减小，判定材料就有起皱的风险；应变轨迹越快速地靠近起皱极限曲线，材料的起皱风险和程度就越大。同时式（3）中 ε_{opt} 的初始值为 0，所以当材料的应变点在起皱极限曲线以左时，式（3）则不会误判，保证了其准确性和适用性^[12]。

对顶盖数模的几何尺寸进行检查（图 14），发现其尾部的整形量过大，且由于前工序已将工艺补充部分全部切除，导致局部压应力过大而致材料内部失稳，材料成形时处于复杂的、不均匀的应力状态，产生不均匀变形，板料流动不均匀，即产生起皱现象。

上汽通用五菱汽车股份有限公司根据理论计算并结合多年的造车经验，分析了全球数百个车型的

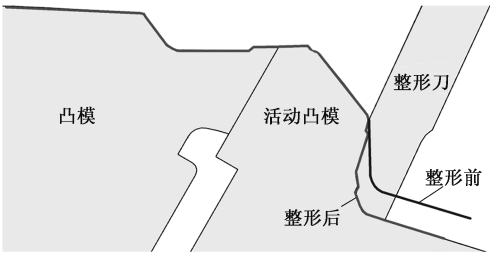


图 14 整形区域结构
Fig. 14 Structure of shaping area

数据，总结并提出了顶盖尾部几何尺寸的制造要求，如图 15a 和表 3 所示，其中整形角应在 $-45^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 之间，整形深度 D_2 应为 $5 \sim 15$ mm。在该几何尺寸的要求下，可确保顶盖成形良好，避免出现起皱、开裂等缺陷。图 15 中， A_1 为整形角度， R_1 为整形圆角， D_1 为成形深度。

然而，因该款新能源汽车的铰链需布置在顶盖上，为了确保尾门打开时包络不干涉，只能加大整形深度，在保证功能的前提下，该处整形深度 D_2 至少需达到 37 mm，如图 15b 和表 3 所示。该整形深度为上汽通用五菱汽车股份有限公司汽车推荐的几何尺寸最大值的 2.4 倍，所以将会导致较严重的起皱问题。

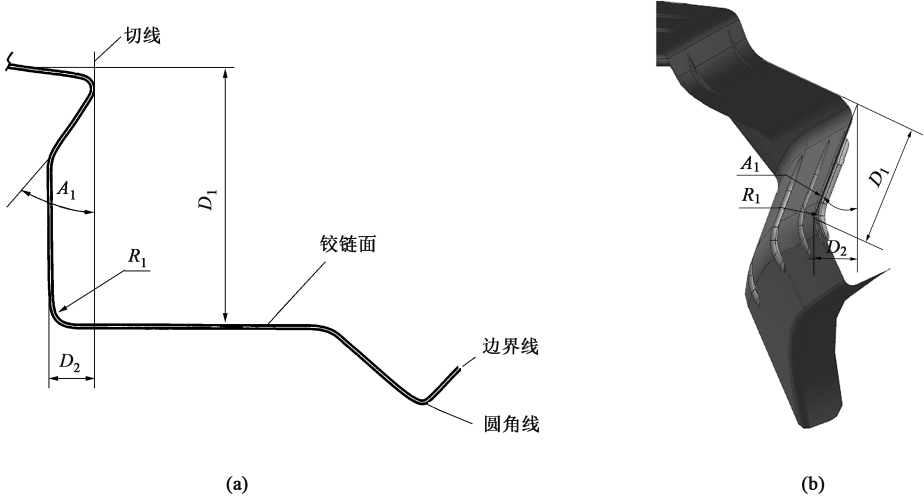


图 15 顶盖尾部几何尺寸示意图
(a) 推荐尺寸 (b) 设计尺寸
Fig. 15 Schematic diagrams of geometry dimensions for roof end
(a) Recommend dimensions (b) Designed dimensions

表 3 顶盖尾部制造要求

Table 3 Manufacturing requirement for roof end				
参数	$A_1 / (^{\circ})$	R_1 / mm	D_1 / mm	D_2 / mm
几何要求	$-45 \sim 6$	$6 \sim 15$	$40 \sim 90$	$5 \sim 15$
本车型	-21	15	42.1	37

为了解决该问题，提出了增加几何特征以吸收起皱的技术方案。拟增加的吸皱筋尺寸为： $34.3 \text{ mm} \times 20.2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 和 $34.3 \text{ mm} \times 20.2 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ ，分别布置 9 个特征，用这 2 种大小的特征分析比较起皱状态。

图 16 分别为增加 2 mm 高度吸皱筋和 3 mm 高

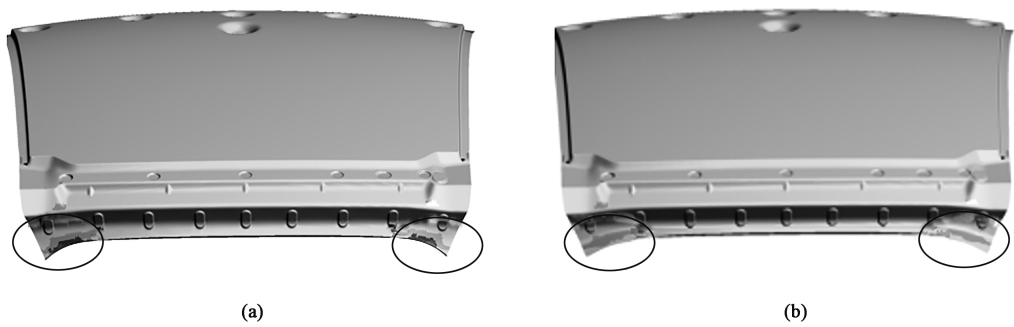


图 16 不同吸皱筋高度对起皱的影响

(a) 2 mm 吸皱筋 (b) 3 mm 吸皱筋

Fig. 16 Effects of different wrinkle-absorbing rib heights on wrinkle

(a) Wrinkle-absorbing rib of 2 mm (b) Wrinkle-absorbing rib of 3 mm

度吸皱筋下顶盖尾部整形起皱情况的 CAE 分析结果。由此可见，增加吸皱筋对于抑制起皱确实具有效果。

为了验证吸皱筋高度和位置对于抑制起皱的影

响，设计了多种拉延筋形状，其中图 17 为两种典型的结构，从图 17 中可见，单向增加拉延筋高度对于减轻起皱没有明显效果。因为在零件成形过程中（图 18），由最小阻力定律可知，塑性变形过程中材

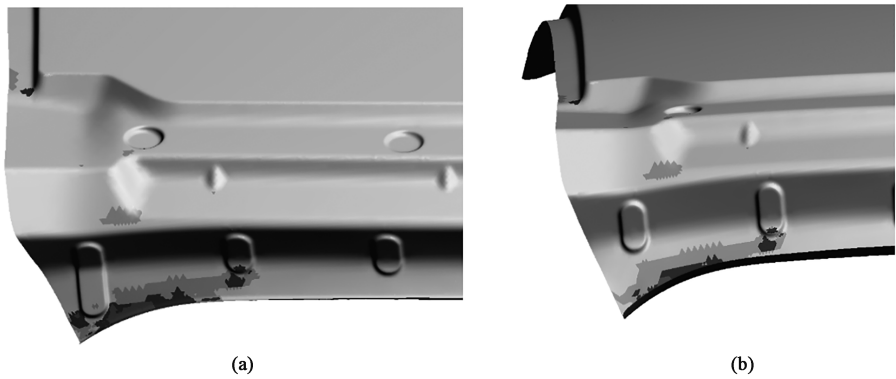


图 17 顶盖尾部增加吸皱筋模拟分析结果

(a) 竖条型 (b) 腰型

Fig. 17 Simulation analysis results of adding wrinkle-absorbing rib to roof end

(a) Stripped-type (b) Waist-type

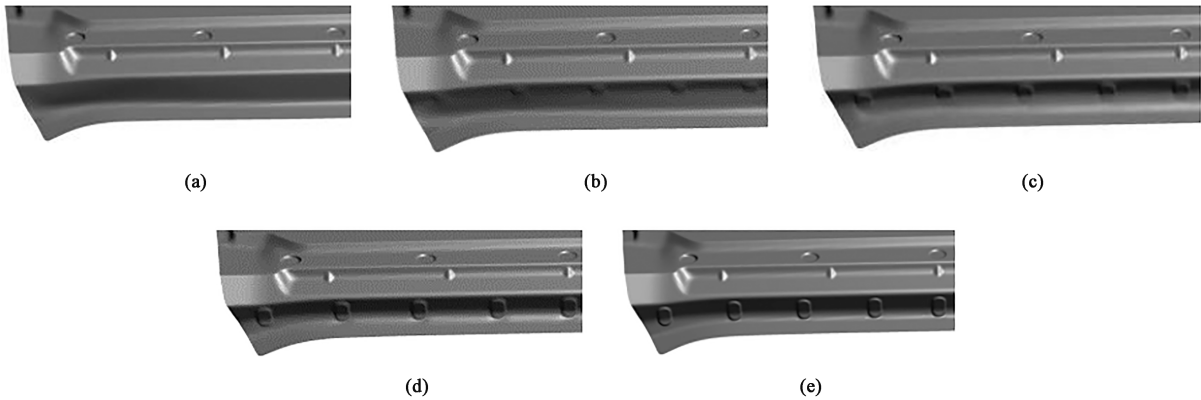


图 18 顶盖尾部变形过程模拟

(a) 初始状态 (b) 到底前 20 mm (c) 到底前 10 mm (d) 到底前 3 mm (e) 底部

Fig. 18 Simulation of deformation process for roof end

(a) Start state (b) 20 mm to bottom (c) 10 mm to bottom (d) 3 mm to bottom (e) Bottom

料向约束最小的地方流动和堆积, 铰链安装面和流水槽部位均有模具压合, 而尾门密封面区域为自由状态, 因此, 材料在该处堆积而形成起皱缺陷, 该起皱缺陷在整形初期已经形成, 无法通过后期吸皱筋成形展平。

结合 CAE 分析经过多轮整改, 该处起皱缺陷已经明显改善, 最终获得的实际零件如图 19 所示。但是由于整形量过大, 顶盖尾端通过两次整形做出, 两次整形方向不同会留下整形的折痕。该区域不影响零件功能及搭接匹配, 经评估达到乘用车表面的质量要求^[13-14]。



图 19 顶盖实际零件

Fig. 19 Practical part of roof

4 结论

(1) 多种版本顶盖零件共用模具在技术上可行, 需要根据零件差异化特征制定具体的冲压方案。

(2) 对于局部凹台特征周边的凹面缺陷, 需综合采用模面偏置和强压等工艺和加工手段进行解决。

(3) 顶盖后端的整形量过大将导致起皱问题, 可通过增加纵向吸皱筋进行抑制, 对于该种零件, 3 mm 高度腰型的吸皱筋的效果最好, 经过几次精确的 CAE 模拟分析及相应调整后, 材料成形比较充分, 处于安全范围之内, 减薄率和应力、应变均满足要求。

参考文献:

- [1] 杨玉英. 大型薄板成形技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1996.
Yang Y Y. Forming Technology of Large Panels [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1996.
- [2] 吕祝星, 宋燕利, 兰箭. 基于特征的汽车覆盖件冲压工艺优选机制 [J]. 塑性工程学报, 2016, 23 (3): 45-51.
Lyu Z X, Song Y L, Lan J. Feature-based optimization mechanism of stamping process for automobile panels [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2016, 23 (3): 45-51.
- [3] 杨玉英, 孙振忠. 汽车覆盖件面畸变评价指标研究 [J]. 塑性工程学报, 2004, 11 (4): 76-80.
Yang Y Y, Sun Z Z. Study on evaluation standard of automobile panels surface deflection [J]. Journal of Plasticity Engineering,

2004, 11 (4): 76-80.

- [4] 李淑惠, 沈洪庆, 倪啸枫, 等. 车身覆盖件冲压成形面畸变缺陷形成机理研究 [J]. 机械工程学报, 2013, 49 (4): 153-159.
Li S H, Shen H Q, Ni X F, et al. Mechanism of surface low during the stamping process of automobile exterior panels [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2013, 49 (4): 153-159.
- [5] 李恒佰, 韦韡, 张峰, 等. 乘用车门外板表面缺陷分析及措施 [J]. 锻压技术, 2020, 45 (8): 69-75.
Li H B, Wei W, Zhang F, et al. Analysis and measure on surface defects for automobile door outer panel [J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (8): 69-75.
- [6] 余万铨, 胡志力, 杨冰, 等. 某铝合金汽车发动机罩外板冲压成形工艺 [J]. 锻压技术, 2020, 45 (4): 45-50.
Yu W Q, Hu Z L, Yang B, et al. Stamping process of automobile engine outer panel for aluminum alloy [J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (4): 45-50.
- [7] 林丰, 全荣. 汽车用高强度钢板成形中的形状不良机理及措施 [J]. 世界钢铁, 2007, 7 (3): 52-56.
Lin F, Quan R. Shape defects caused by spring-back in sheet metal forming of auto-body panels—Their mechanism and counter-measure [J]. World Iron & Steel, 2007, 7 (3): 52-56.
- [8] 沈云啸, 李恒佰, 李开文, 等. 带长尖角的乘用车翼子板冲压成形 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (1): 83-88.
Shen Y X, Li H B, Li K W, et al. Stamping of fender with long nose for passenger vehicle [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (1): 83-88.
- [9] 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].
- [10] 田永生, 邓国朝, 李梦瑶, 等. 基于 Autoform-Sigma 的汽车 A 柱内板冲压工艺参数优化 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (3): 101-104.
Tian Y S, Zheng G C, Li M Y, et al. Optimization on stamping process parameters of automobile A-pillar inner panel based on Autoform-Sigma [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (3): 101-104.
- [11] 韩森和, 林承全, 余小燕. 冲压工艺及模具设计与制造 [M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2008.
Han S H, Lin C Q, Yu X Y. Stamping Process, Die Design and Manufacturing [M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 2008.
- [12] 李骁, 郑松林, 张振华, 等. 汽车内板冲压成形起皱研究 [J]. 热加工工艺, 2014, 43 (7): 154-158.
Li X, Zheng S L, Zhang Z H, et al. Wrinkling research on auto inner door in sheet metal stamping forming [J]. Hot Working Technology, 2014, 43 (7): 154-158.
- [13] 黄延平. 大型覆盖件拉深工艺设计优化 [J]. 金属世界, 2008, (5): 47-48, 54.
Huang Y P. Large-scale cover drawing technological design optimization [J]. Metal World, 2008, (5): 47-48, 54.
- [14] 谢世坤, 黄玉祥, 张庭芳, 等. 汽车翼子板冲压成形模拟研究 [J]. 热加工工艺, 2015, 44 (21): 119-121.
Xie S K, Huang Y X, Zhang T F, et al. Simulation study on stamping forming of automobile fender [J]. Hot Working Technology, 2015, 44 (21): 119-121.