

犀利化侧围尾灯冲压工艺优化

陈绍翰, 邓国勇, 尤彬波, 李梦瑶, 吴志兵, 邓国朝

(广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院, 广东 广州 511434)

摘要: 针对汽车侧围外板尾灯区域犀利化造型需求和产品结构特点, 并制定了产品工艺方案, 并创建了 CAE 分析模型, 利用 AutoForm 软件进行了 SE 同步仿真模拟分析, 结果发现, 尾灯造型的犀利化增加了侧围钣金的成形难度, 容易产生尖角开裂和拐角圆角起皱问题。分析开裂和起皱问题产生原因, 确定拐角处圆角大小、侧壁拔模角度、翻边深度等是导致零件开裂、起皱的主要因素, 经过产品多轮优化, 最终得出了合理的圆角大小、侧壁拔模角度和翻边深度等工艺参数, 解决了开裂和起皱问题, 同时满足了犀利化尾灯的造型需求, 提升了产品精致性。现场调试出件结果与前期 CAE 分析一致, 大大降低了该零件出现成形缺陷问题的风险。

关键词: 侧围外板; 冲压工艺; CAE 分析; 开裂; 起皱

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2025.02.009

中图分类号: TG386

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2025) 02-0059-06

Optimization of stamping process for sharp side wall taillight

Chen Shaohan, Deng Guoyong, You Binbo, Li Mengyao, Wu Zhibing, Deng Guochao

(GAC Automotive Research & Development Center, Guangzhou 511434, China)

Abstract: For the sharp styling requirements and product structure characteristics of taillight area on the automobile side wall outer panel, a product process scheme was formulated. Then, a CAE analysis model was created, and SE synchronous simulation analysis was conducted by software AutoForm. The results show that the sharpness of taillight styling increases the difficulty of forming the side wall sheet metal, which is prone to the problems of sharp angle cracking and fillet wrinkling. The causes of cracking and wrinkling were analyzed, and it is found that the fillet size at the corners, the side wall draft angle and the flanging depth are the main factors that causes cracking and wrinkling of parts. After multiple rounds of product optimization, the reasonable process parameters such as fillet size, side wall draft angle and flanging depth are finally determined to solve the cracking and wrinkling problems. At the same time, it meets the sharp styling requirements of taillight and improves the sophistication of product. The on-site debugging results are consistent with the previous CAE analysis, which significantly reduces the risk of forming defects in the part.

Key words: side wall outer panel; stamping process; CAE analysis; crack; wrinkle

随着汽车产业的持续蓬勃发展, 汽车的造型样式日益丰富多样。在市场竞争中, 颜值越高的汽车往往越容易吸引消费者的目光, 其产品竞争力也随之提升, 而汽车外覆盖件决定了汽车外观。通常, 设计复杂的外覆盖件产品会导致冲压成形难度大大增加^[1-3], 其中, 侧围外板^[4-6]由于具有尺寸大且外形复杂的特性, 在成形过程中极易出现开裂^[7-8]、起皱^[9-10]等各类表面缺陷, 其愈发复杂化的造型设计更是进一步加大了冲压成形的难度^[11-12]。

针对基于 CAE (Computer Aided Engineering)

技术的侧围外板的冲压工艺成形, 大量专家学者进行了一系列的研究。戴亚等^[13]以轿车侧围外板关键区域为对象, 设计出 Catia 三维模型并分析成形工艺方案, 经拉伸成形仿真验证了该设计方法的可行性和工程应用价值; 蒋磊等^[14]针对汽车侧围外板传统工艺问题提出浅拉伸工艺方案, 以某 SUV 车型为例, 通过相关操作及软件模拟解决潜在缺陷, 经改良设计和优化调整使浅拉伸工艺成功应用且材料利用率达到了 47%。

本文通过 CAE 成形软件 AutoForm 对侧围外板冲压工艺进行仿真分析, 确定了最佳的工艺方案和工艺参数, 解决了尾灯造型犀利化带来的钣金开裂和起皱问题。通过对工艺方案进行现场生产制造, 产品无开裂以及起皱问题, 大大降低了生产成本和

收稿日期: 2024-10-30; 修订日期: 2025-02-02

作者简介: 陈绍翰 (1991-), 男, 学士, 助理工程师

E-mail: chenshaohan@gacmrd.com

周期。

1 产品工艺性分析

图 1 为犀利化尾灯造型的侧围外板零件结构图，产品尺寸为 2.877 m×1.318 m×0.35 m（长度×宽度×高度）。在考虑侧围外板 A 面外观质量以及生产线机械手抓取旋转角等情况下，确定将车身偏离坐标 Y 向 16°作为第 1 道拉延工序的冲压方向，如图 2 所示。

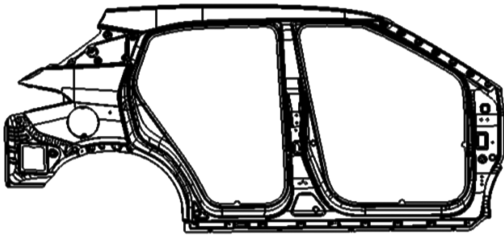


图 1 某车型侧围外板零件结构
Fig. 1 Part structure of side wall outer panel for a vehicle

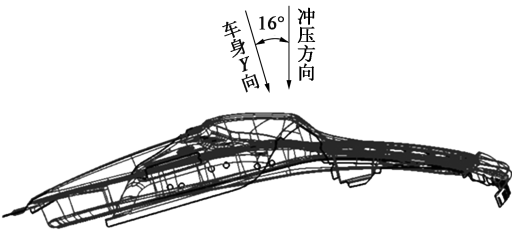


图 2 某车型侧围外板的冲压方向
Fig. 2 Stamping direction of side wall outer panel for a vehicle

2 侧围尾灯冲压仿真分析

2.1 CAE 分析前处理

该侧围外板材质为 DC54D-ZF 钢，料厚为 0.65 mm，其力学性能参数如表 1 所示。其中， R_{el} 为屈服强度， R_m 为抗拉强度， r_m 为材料各向异性指数， n 为加工硬化指数。

表 1 DC54D-ZF 钢的力学性能参数
Table 1 Mechanical property parameters of DC54D-ZF steel

参数	R_{el}/MPa	R_m/MPa	r_m	n
数值	156	285	1.78	0.22

将每一工序所需要的工具体通过 CAD 软件进行设计并导入仿真分析软件中，相关成形参数设置参照表 2 进行，详细的工艺规划如图 3 所示，包括 D-10 拉延、F-20 修边+冲孔+整形、F-30 修边+整形+侧整形、F-40 冲孔+侧冲孔+侧整形等工序。

表 2 CAE 分析参数设置
Table 2 Parameter settings for CAE analysis

参数	数值
压边力/kN	2300
压边圈行程/mm	225
摩擦因数	0.12
拉延筋	实体筋/虚拟筋
工序数量	4

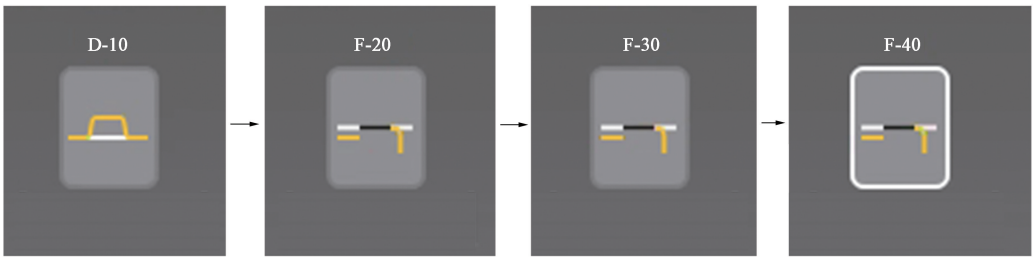


图 3 成形工序设置
Fig. 3 Settings of forming procedures

2.2 仿真分析结果

从侧围外板成形极限图来看，侧围尾灯尖角区域存在较大的开裂风险，如图 4 所示。初步分析是由于侧围外板尾灯尖角处台阶深度较深和圆角过小，导致翻边成形后该区域开裂严重。同时，发现侧围尾灯拐角圆弧处外圆角有起皱趋势，如图 5 所示。

为了探究其起皱原因，通过对凹凸模闭合高度分别为 7、3 和 0.5 mm 时的成形情况进行追踪，可以发现圆弧处外圆角在翻边过程中存在明显的不顺。因此，针对侧围尾灯尖角区域开裂以及拐角圆弧起皱等成形缺陷，提出对应的解决措施。

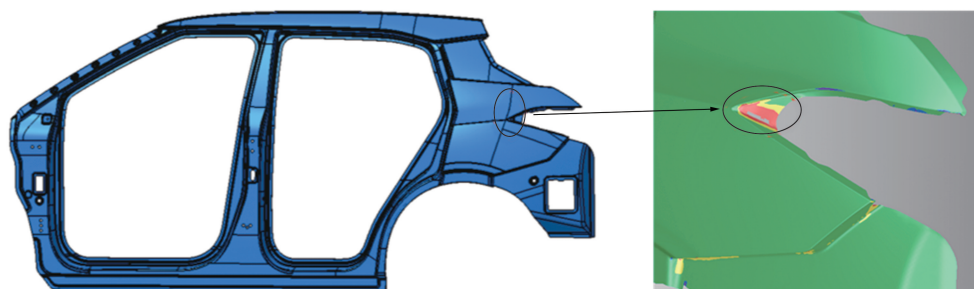
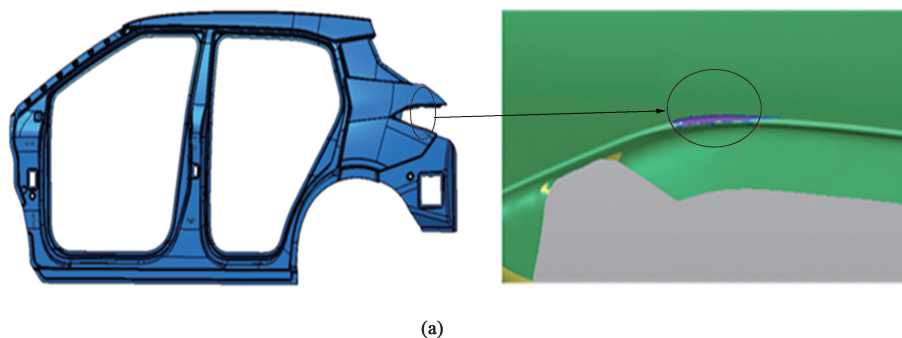
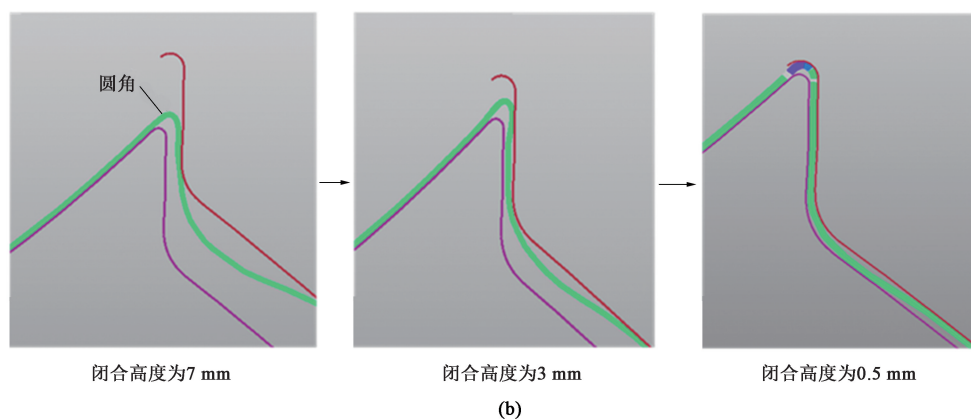


图4 侧围尾灯尖角开裂云图

Fig. 4 Nephogram of cracking at sharp corner of side wall taillight



(a)



(b)

图5 侧围尾灯拐角圆弧起皱部位模拟云图 (a) 和模拟过程示意图 (b)

Fig. 5 Simulation nephogram of fillet wrinkling area at corner of side wall taillight (a) and schematic diagram of simulation process (b)

3 侧围尾灯成形缺陷解决措施

3.1 尾灯尖角部位开裂优化方案

针对尾灯尖角部位台阶深度较深的问题, 将该部位台阶深度降低约 4.3 mm, 同时增大 15°侧壁拔模角度, 如图 6 所示。图 7 为优化后尖角部位的成形情况, 从图 7 中可以看到, 产品优化后尾灯尖角部位的开裂问题得到明显改善, 但尖角部位的最大失效仍然大于 0.8, 且减薄率最大达到约 26%, 说明该部位仍然存在开裂风险, 还需进一步优化。

图 8 和图 9 为尖角部位深度再次优化方案示意图以及优化后的成形开裂情况, 从图 8 和图 9 中可以看到, 继续将台阶深度降低约 1 mm 并且将尖角圆角半径增大至 16 mm, 尾灯尖角部位除局部圆角外其他部位的最大失效均在 0.8 以下, 并且减薄率也降至 22% (目标值) 以下, 说明该优化方案大大降低了尖角部位的开裂风险, 后续只需对局部圆角进行优化即可。

3.2 尾灯拐角圆弧部位起皱优化方案

针对侧围尾灯转角处外圆角翻边不顺问题, 同步推动产品和工艺进行优化, 如表 3 所示。经过多轮优化后尾灯拐角圆弧部位起鼓量大大较少, 起皱

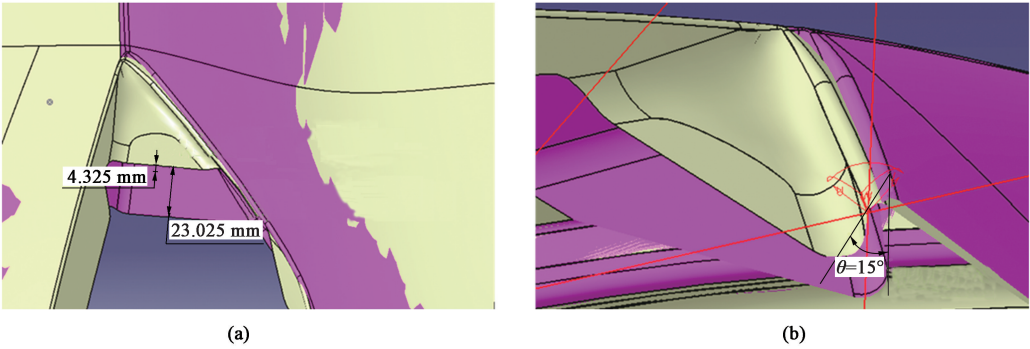


图 6 台阶深度优化示意图
(a) 降低台阶深度 (b) 增大侧壁拔模角度
Fig. 6 Schematic diagrams of step depth optimization
(a) Reducing step depth (b) Increasing side wall draft angle

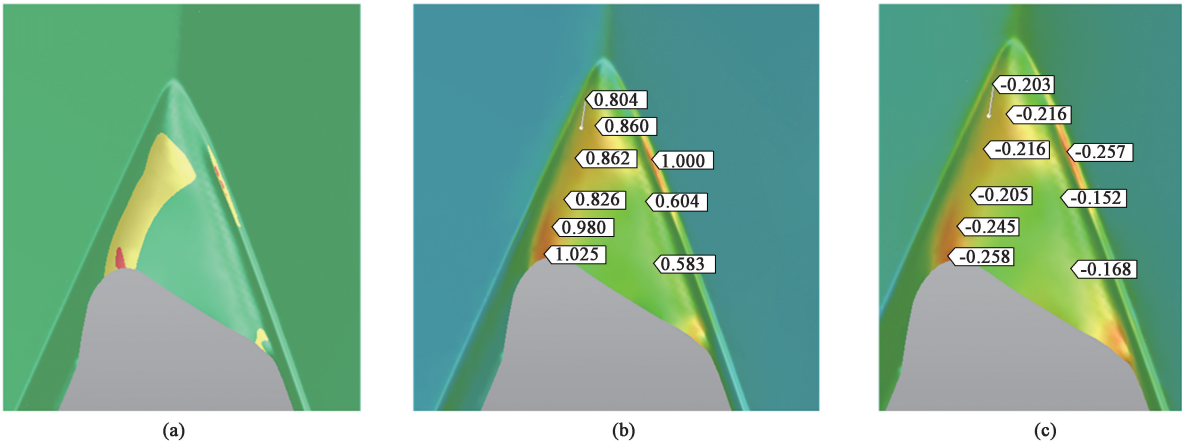


图 7 尖角部位优化后的开裂情况
(a) 成形性 (b) 最大失效 (c) 减薄率
Fig. 7 Cracking situation of sharp corner part after optimization
(a) Formability (b) Maximum failure (c) Thinning rate

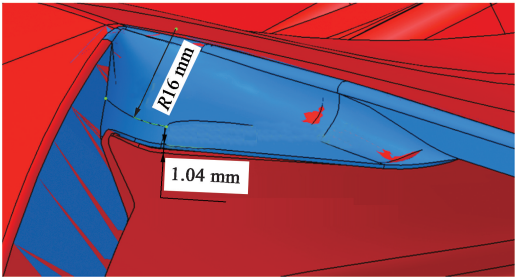


图 8 尖角部位二次优化方案
Fig. 8 Secondary optimization scheme for sharp corner part

风险大大降低。

4 生产验证

根据制定的开裂和起皱解决方案，利用优化后

的侧围外板型面数据对模具进行数控编程加工，最终生产出的产品无开裂、起皱等成形缺陷，如图 10 所示。说明优化后的成形工艺以及工艺参数可以满足侧围外板进行犀利化造型的要求，大大增加了产品外形的竞争力。

5 结论

- (1) 通过对犀利化造型的汽车侧围尾灯进行 SE 同步仿真模拟分析，发现存在尾灯尖角区域开裂以及拐角圆弧起皱等成形缺陷。
- (2) 针对侧围尾灯尖角部位开裂问题，通过降低该部位台阶深度（累计约 5.3 mm）、增大侧壁拔模角度（15°）以及增大尖角圆角半径（16 mm），大大降低了尖角部位的开裂风险；针对尾灯拐角圆

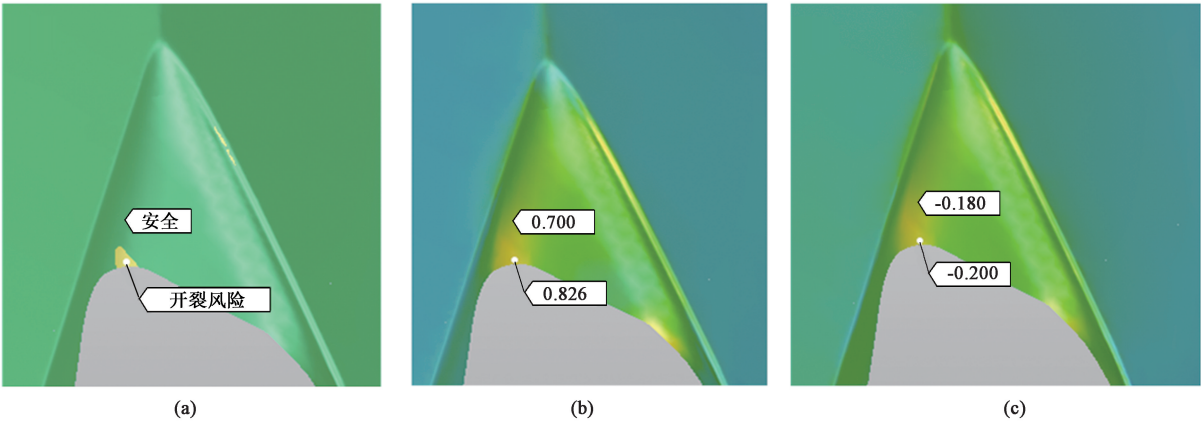


图 9 尖角部位二次优化后的开裂情况
(a) 成形性 (b) 最大失效 (c) 减薄率
Fig. 9 Cracking situation of sharp corner part after secondary optimization
(a) Formability (b) Maximum failure (c) Thinning rate

表 3 拐角圆弧部位起皱多轮优化方案

方案	示意图	模拟示意图	优化结果
第 1 轮优化 (工艺优化: 减少过拉延量)			外圆角翻边不顺有所改善，过程中仍起鼓，不可行
第 2 轮优化 (产品优化)			外圆角翻边不顺改善明显，但过程中仍存在轻微起鼓
第 3 轮优化 (工艺优化: 夹料翻边)			起皱消除，外圆角翻边过程存在约 0.2 mm 的起鼓量



图 10 侧围外板生产验证
Fig. 10 Production verification of side wall outer panel

弧部位起皱问题，通过工艺优化和产品优化同步推进，降低了尾灯拐角圆弧部位起鼓量，大大降低了拐角圆弧部位的起皱风险。

(3) 通过批量验证优化后的工艺方案，从根本上解决了犀利化造型的侧围尾灯开裂和起皱问题，大大降低了犀利化造型给尾灯带来的成形风险。

参考文献：

[1] 龚志辉，钟志华，杨旭静. 汽车外覆盖件回弹评价方法及应用 [J]. 汽车工程，2007，29 (4)：351-354.
Gong Z H, Zhong Z H, Yang X J. The evaluation of springback for autobody panels and its application [J]. Automotive Engineer-

- ing, 2007, 29 (4): 351-354.
- [2] 付争春, 马俊山, 胡平, 等. 汽车外覆盖件表面凹陷与畸变的实验与仿真 [J]. 塑性工程学报, 2009, 16 (2): 24-28, 43.
Fu Z C, Ma J S, Hu P, et al. Research on experiment and simulation of automobile panel surface low and distortion [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2009, 16 (2): 24-28, 43.
- [3] 王权, 张晓莹, 朱永刚. 汽车外覆盖件冲击线的影响因素及评价指标 [J]. 锻压技术, 2024, 49 (6): 88-95.
Wang Q, Zhang X Y, Zhu Y G. Influence factors and evaluation index of impact line for automobile outer [J]. Forging & Stamping Technology, 2024, 49 (6): 88-95.
- [4] 蒋磊, 袁璐, 王龙, 等. 侧围外板全工序成形数值模拟与工艺优化 [J]. 塑性工程学报, 2021, 28 (10): 50-60.
Jiang L, Yuan L, Wang L, et al. Numerical simulation and process optimization of full process forming of side outer panel [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2021, 28 (10): 50-60.
- [5] 毕四龙, 丁哲, 郑朝锋. 侧围外板尾灯处成形问题解决方法 [J]. 模具工业, 2024 (7): 27-30.
Bi S L, Ding Z, Zheng C F. Solution of forming problem of tail-light area at side wall outer plate [J]. Die & Mould Industry, 2024 (7): 27-30.
- [6] 向小汉. 侧围外板冲压工艺分析 [J]. 热加工工艺, 2013, 42 (1): 78-81, 84.
Xiang X H. Analysis of stamping process for side wall outer panel [J]. Hot Working Technology, 2013, 42 (1): 78-81, 84.
- [7] 吴磊, 陈新平, 蒋浩民, 等. 侧围外板零件典型开裂与改善 [J]. 塑性工程学报, 2014, 21 (2): 55-59.
Wu L, Chen X P, Jiang H M, et al. Typical cracking and improvement plans of body side outer parts [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2014, 21 (2): 55-59.
- [8] 范彬. 基于侧围外板质量问题的解决浅析拉延件起皱开裂的原因及调整措施 [J]. 汽车实用技术, 2010 (3): 89-91.
Fan B. Based on the quality of side outer panel solution to the problem analysis of drawing parts wrinkling cracking causes and adjustment measures [J]. Automobile Applied Technology, 2010 (3): 89-91.
- [9] 何星明, 李奇明, 易炜, 等. 侧围外板腰线后三角窗位置起皱分析及对策 [J]. 模具技术, 2024 (2): 35-41.
He X M, Li Q M, Yi W, et al. Analysis and solution for wrinkle defect in the waist line of rear triangle window of body side outer panel [J]. Die and Mould Technology, 2024 (2): 35-41.
- [10] 黄小刚, 冯芬艳. 探讨控制深拉延冲压件开裂和起皱问题的方法 [J]. 科技风, 2015 (18): 35.
Huang X G, Feng F Y. Exploring methods for controlling cracking and wrinkling issues in deep drawn stamping parts [J]. Technology Wind, 2015 (18): 35.
- [11] 万志远. 基于 CAD/CAE 的 A 柱内板成形工艺优化及模具设计 [J]. 锻压技术, 2024, 49 (6): 96-101, 238.
Wan Z Y. Forming process optimization and die design of A-pillar inner panel based on CAD/CAE [J]. Forging & Stamping Technology, 2024, 49 (6): 96-101, 238.
- [12] 万志远. 轿车前围挡板成形工艺分析及模具设计 [J]. 锻压技术, 2024, 49 (4): 76-81.
Wan Z Y. Forming process analysis and die design on car front wall panel [J]. Forging & Stamping Technology, 2024, 49 (4): 76-81.
- [13] 戴亚, 王利, 周颖, 等. 基于冲压工艺的轿车侧围外板设计方法及应用 [J]. 山东理工大学学报 (自然科学版), 2024, 38 (1): 48-53.
Dai Y, Wang L, Zhou Y, et al. Design method and application of car side panel based on stamping technology [J]. Journal of Shandong University of Technology (Natural Science Edition), 2024, 38 (1): 48-53.
- [14] 蒋磊, 龚剑, 王龙, 等. 侧围外板浅拉延成形工艺数值模拟 [J]. 塑性工程学报, 2020, 27 (9): 73-81.
Jiang L, Gong J, Wang L, et al. Numerical simulation of shallow drawing for body side outer panel [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2020, 27 (9): 73-81.

关于征求锻压领域 3 项国家标准和 1 项行业标准意见的通知

各位委员、各有关单位、各有关人员：

全国锻压标准化技术委员会（以下简称“锻压标委会”）将于 2025 年组织完成以下 3 项国家标准和 1 项行业标准的制修订工作：《钢质模锻件 金相组织评级图及评定方法》、《铝合金法兰锻件 通用技术规范》、《钛合金板材超塑成形和扩散连接 工艺规范》、《钢质楔横轧件 公差及机械加工余量》。

现针对该 4 项标准征求行业意见，敬请提出修改意见与建议。

该 4 项标准的《征求意见稿》、《编制说明》、《意见表》下载地址如下：

(1) 中国机械工程学会塑性工程分会官网“<http://www.cstp-cmes.org.cn>”一期刊/标准化—标准征求意见

(2) 锻压技术官网“fstjournal.net”—下载中心

请您于 2025 年 3 月 31 日前将填写好的《意见表》通过 E-mail 发至锻压标委会秘书处。

非常感谢您对锻压标委会工作的大力支持！

地址：北京市海淀区学清路 18 号全国锻压标准化技术委员会，100083

电话：010-62920652, 82415085

E-mail: duanya2005@126.com

联系人：魏巍、金红

全国锻压标准化技术委员会