

汽车侧围外板冲压缺陷的数值模拟及改进措施

任 闯¹, 潘远安², 苏传义¹, 肖 冰², 高文婧²

(1. 中国第一汽车集团有限公司, 吉林 长春 130011; 2. 长春汽车工业高等专科学校 机械工程学院, 吉林 长春 130013)

摘要: 为了提升汽车侧围外板的表面质量, 寻求解决侧围外板尾灯翻边圆角棱线波浪的方案, 结合理论分析、工艺分析及生产经验, 利用 AutoForm 分析软件完成数值模拟, 还原制件缺陷产生过程, 并首次引入压强参数来判定缺陷。在制定过渡区整改方案后, 再次应用数值模拟仿真手段对比分析方案优劣并择优对模具进行整改。结果表明: 通过压强参数判定制件贴合模具状态, 可更清晰判定缺陷产生的阈值问题; 修改翻边过渡区, 可解决侧围外板尾灯翻边圆角棱线波浪的问题, 并节约修磨成本 2 元/辆, 车型周期内共计节约 103 万元, 为汽车行业冲压外覆盖件的质量提升提供参考。

关键词: 侧围外板; 尾灯; 压强参数; 表面质量; 冲压缺陷

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.05.016

中图分类号: TG386 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2022) 05-0103-07

Numerical simulation and improvement measures on stamping defects for automobile side-frame outer panel

Ren Chuang¹, Pan Yuan'an², Su Chuanyi¹, Xiao Bing², Gao Wenqiang²

(1. China FAW Group Co., Ltd., Changchun 130011, China;

2. School of Mechanical Engineering, Changchun Automobile Industry Institute, Changchun 130013, China)

Abstract: In order to improve the surface quality of automobile side-frame outer panel, a solution to the ridgeline wave at the flanging fillet for taillight of side-frame outer panel was sought. Then, combined with theoretical analysis, process analysis and production experience, the numerical simulation was conducted by analysis software AutoForm to restore the defect generation process of parts, and the pressure parameter was introduced for the first time to determine the defect. After the rectification schemes of the transition zone was formulated, the numerical simulation method was used again to compare and analysis the advantages and disadvantages of the scheme, and the mold according to the best one was rectified. The results show that the threshold problem caused by the defect can be more clearly determined by the pressure parameter to determine the fitting die state of the part. Modifying the flanging transition zone can solve the problem of ridgeline wave at the flanging fillet for taillight of side-frame outer panel and save the grinding cost of 2 yuan per vehicle. Thus, a total saving in the model cycle is 1.03 million yuan, which provides reference for the quality improvement of stamping outer cover panels in the automotive industry.

Key words: side-frame outer panel; taillight; pressure parameter; surface quality; stamping defects

随着人类社会的发展和进步, 汽车制造业的制造理念也发生了巨大变化, 由原来的满足代步需求, 逐渐转变为对机械美和艺术美的追求, 这就使得汽车不仅仅需要实现机械功能和安全功能^[1-3], 还需要在外观质量和造型美观上重点关注, 以实现力与美的完美结合^[4-6]。

冲压外覆盖件承担着外观质量和造型美观的重任, 既要达成外观设计的各种造型, 又要在节约成本的前提下保证生产过程中外表面不产生质量缺陷^[7-9]。侧围外板作为外覆盖件之一, 其在尺寸控制和外观质量控制方面均为难度最高的制件, 质量提升可谓困难重重。吴磊等^[10]利用网格分析法和有限元分析仿真技术, 系统地研究了板料尺寸和拉延筋阻力对拉伸破裂的影响规律, 从而消除侧围外板 B 柱下区域开裂问题; 蒋磊等^[11]通过精细化工工艺模面, 并借助 Autoform 软件改变压边力大小, 既改善了侧围外板拉延成形性, 又降低了开裂风险; 肖敬伟^[12]借助 Autoform 软件对比分析造型线修改方案, 解决了侧围外板 C 柱立壁出现褶皱的问题。然而,

收稿日期: 2021-04-13; 修订日期: 2021-07-15

基金项目: 吉林省高等教育学会课题 (JGJX2021D680、JGJX2021D685)

作者简介: 任 闯 (1989-), 男, 学士, 工程师

E-mail: renchuang@faw.com.cn

通信作者: 潘远安 (1983-), 男, 硕士, 高级工程师

E-mail: 116521719@qq.com

对于侧围外板尾灯的外观质量提升的研究相对较少。

本文针对侧围外板尾灯翻边圆角棱线波浪问题,结合理论分析、工艺分析及生产经验,借助数值模拟仿真技术还原缺陷产生过程及结果,从而有针对性地提出可行的、有效的解决方案并加以验证,最终实现了缺陷的改善与消除。

1 问题描述

1.1 产品结构及缺陷形貌

M 车型侧围外板(以下简称“制件”)的生产

准备过程中出现了尾灯处翻边圆角棱线波浪缺陷,如图 1 所示。缺陷位置为尾灯上部翻边圆角前后共两个凹坑,制件漆前、漆后缺陷均可见,表面质量无法达到 AUDIT 评审要求。经过反复调试仍无法解决,需要进行百分百返修。为使缺陷观察和分析说明方便,本文重点讲解前侧缺陷,后侧缺陷同理分析与整改。

1.2 工艺分析

本车型侧围外板整体采用 4 工序冲压成形,涉及到缺陷位置的共有 3 个工序,分别为拉延、修边、翻边,如图 2 所示(均按冲压方向视图)。

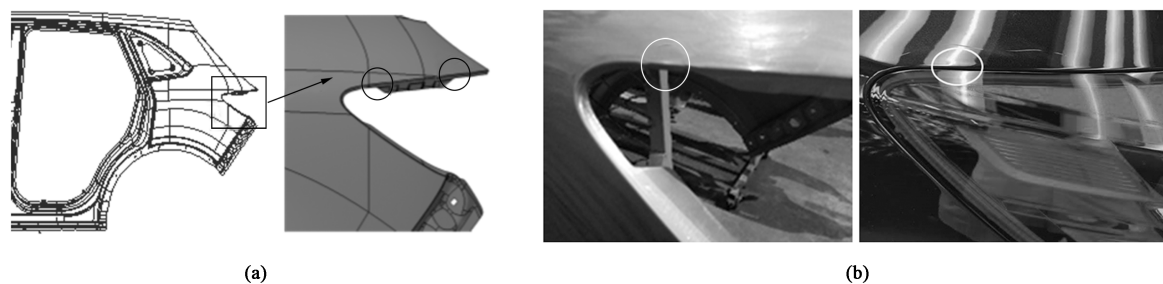


图 1 制件的缺陷位置 (a) 及形貌 (b)

Fig. 1 Defect positions (a) and morphologies (b) of part

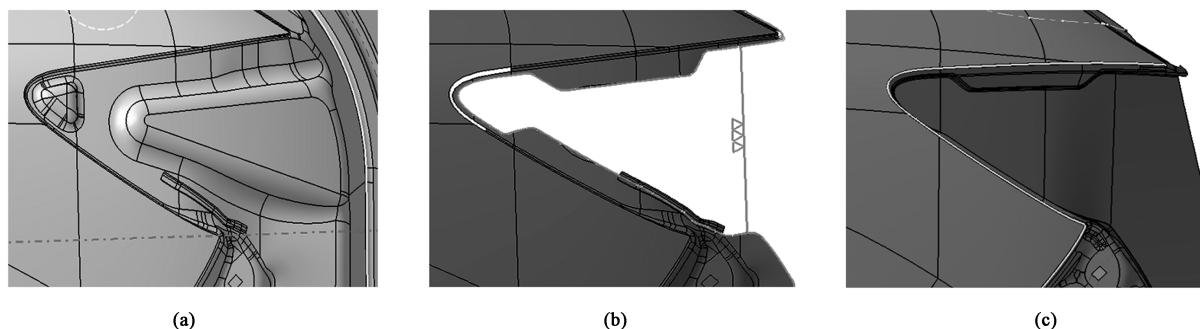


图 2 涉及到缺陷位置的工序

(a) 工序 10 拉延 (b) 工序 20 修边 (c) 工序 30 翻边

Fig. 2 Processes involving defect positions

(a) Process 10 of drawing (b) Process 20 of trimming (c) Process 30 of flanging

2 缺陷产生原因分析

2.1 问题初步理论分析

“翻边圆角棱线波浪”类缺陷的产生一般有如下几个原因。

(1) 翻边接刀。此类缺陷产生于翻边镶块的接刀区域,由于两个翻边镶块翻边的过程中均会向接刀区域擀料,最终使得接刀区域多料,从而产生缺陷。

(2) 活动凸模分界。在一些斜楔翻边中,为了

制件能够正常取出,需要将局部凸模设计为活动凸模,回退避开负角区域。然而,常常由于结构布置或者装调错误,在生产时活动凸模产生微小移动,导致分界处出现此类缺陷。

(3) 非垂直翻边。在翻边过程中翻边镶块的运动方向与制件的翻边方向不一致,存在“侧拍”的情况,即在翻边到底时存在垂直于翻边面的分力,如图 3 所示。其中, F 为翻边镶块施加的力, $F_{\text{法}}$ 和 $F_{\text{切}}$ 为法向和切向两个分力。在多料翻边的情况下, $F_{\text{切}}$ 有可能将多余的料擀向翻边圆角棱线,导致缺陷产生。

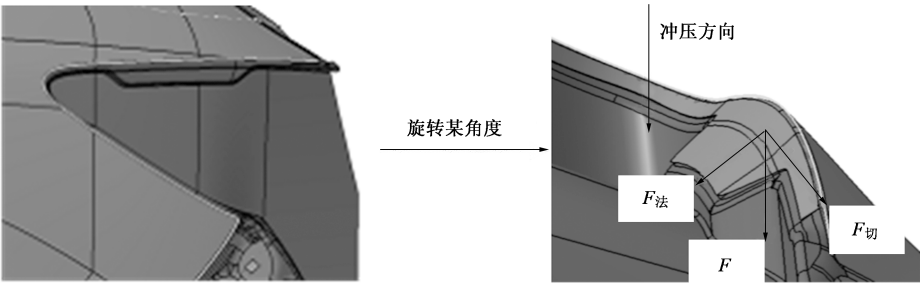


图 3 翻边工序受力分析
Fig. 3 Force analysis in flanging process

结合本案例，在缺陷发生位置不存在翻边接刀及活动凸模分界；由于产品及工艺限制，翻边工序为非垂直翻边，而非垂直翻边是最有可能引起缺陷发生的原因，下面按照该思路进一步深入分析。

2.2 缺陷产生原因深入分析

针对非垂直翻边的特点及缺陷发生的位置信息进行逐一分析。

(1) 翻边多料。缺陷位置处在曲面翻边区域，在翻边过程中，板料从大弧度面流向小弧度面流动，存在必然的多料趋势，如图 4 所示。

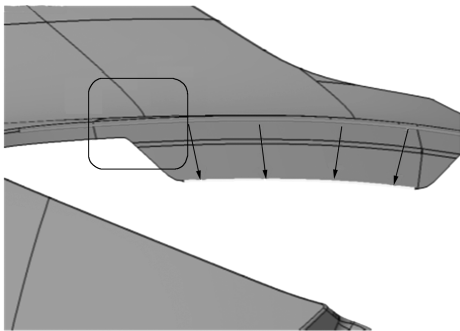


图 4 翻边多料情况
Fig. 4 Over-flanging situation

(2) 长短翻边过渡区。制件缺陷表现为一个凹

坑，而这个凹坑恰好处在长短翻边交接位置，见图 4 方框位置。该位置属于制件翻边面的应力弱区，在翻边过程中极易在该处聚料。

通过上述两点分析，可以还原出缺陷发生的过程。在翻边过程中，由于处于多料翻边区域，板料存在聚料趋势；而缺陷位置处于应力弱区，大量板料向该处聚集，导致该位置处于多料状态；在翻边到底时，翻边镶块对缺陷位置翻边面施加法向压力，使得板料向翻边圆角棱线处流动，导致翻边圆角多料，棱线变形，产生凹坑。

2.3 数值模拟还原

2.3.1 缺陷产生过程还原

通过上述分析，已经基本确定了缺陷产生的原因，但由于只是理论分析、工艺分析及生产经验，分析结果不直观，需要借助数值模拟仿真技术——CAE 分析的方式重现缺陷的产生过程，并尝试寻找定性或定量的整改方案。本文采用 AutoForm 软件进行 CAE 分析，建模过程不做详述，建模结果如图 5 所示。

按照所建数模进行 CAE 分析，并对翻边过程进行逐步检查，发现缺陷发生位置确实出现严重的聚料情况。图 6 为翻边行程结束前 3 mm 时的聚料状态（到底前 3 mm 是常规用来判断翻边、整形状态的节

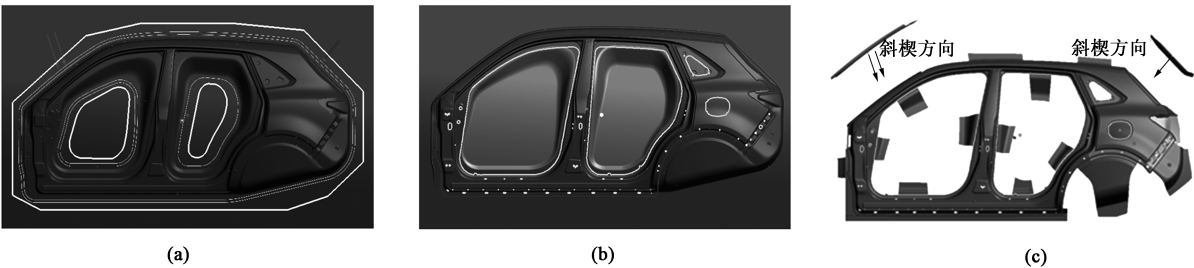


图 5 各工序建模结果
(a) 拉延工序 (b) 修边工序 (c) 翻边工序
Fig. 5 Modeling results of each process
(a) Drawing process (b) Trimming process (c) Flanging process

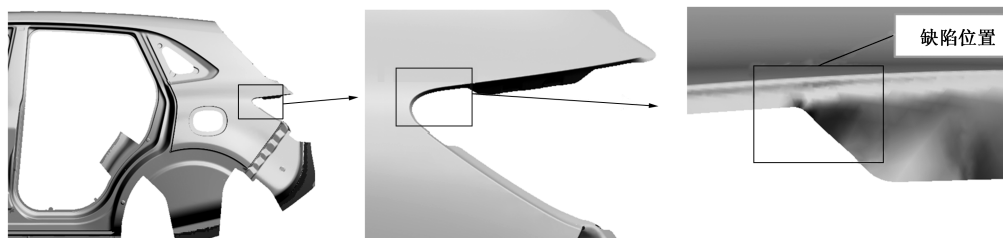


图 6 CAE 分析聚料情况

Fig. 6 CAE analysis of over-material situation

点, 因为此时翻边整形工作接近完成, 且强制校直尚未开始, 最能体现真实状态)。至此, CAE 分析结果与前文一致。虽然数值模拟再现了缺陷的产生过程及结果, 但由于多料状态无法量化, 缺少阈值, 无法直接判断缺陷程度, 需要进一步寻找缺陷的判定依据。

2.3.2 缺陷的数值模拟判定

缺陷产生的直接原因为: 翻边过程中板料被擀向翻边圆角棱线, 导致翻边圆角棱线位置出现多料, 从而产生凹坑, 而圆角处多料则会出现翻边圆角棱线不贴合凸模的情况。

在翻边过程中, 翻边圆角棱线位置会受到凸模给予的支撑力, 若板料出现不贴合凸模的情况, 该支撑力会消失。众所周知, 压力与压强是呈正比关系, 故可以通过检查翻边圆角棱线所受的接触压强来判断板料的接触状态, 从而判定缺陷。

图 7 为缺陷位置翻边到底时板料所受接触压强, 可以明显观察到, 在缺陷发生位置板料所受接触压强消失, 其数值结果为“零”, 说明板料不贴合凸模。再结合前文的理论分析及制件的缺陷表现, 可以确定使用接触压强判定缺陷是合理且有效的。

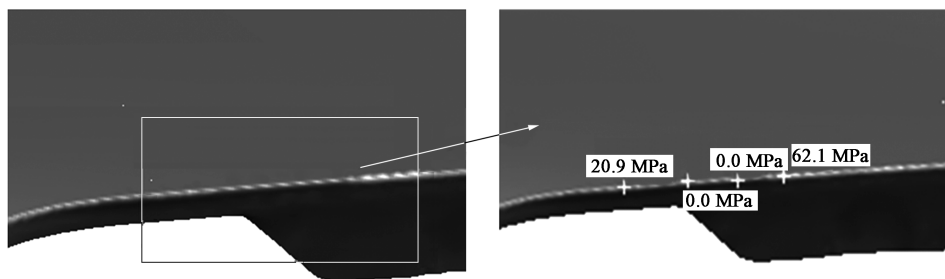


图 7 缺陷位置接触压强数值分析结果

Fig. 7 Numerical analysis results of contact pressure at defect location

3 缺陷整改方案的制定及验证

3.1 缺陷整改方案制定

缺陷的发生有 3 个因素, 分别为非垂直翻边、多料翻边以及翻边过渡区。结合实际生产情况, 针对这 3 个因素分别分析制定解决方案。

(1) 非垂直翻边: 解决非垂直翻边有两个方法, 即更改产品翻边角度和增加斜楔翻边。这两个方法均需要对产品或者生产条件 (增加工序) 进行大量更改, 对已试生产模具基本无法实现。

(2) 多料翻边: 由于多料翻边是产品造型弧度导致的, 对已试生产模具基本无法更改。

(3) 翻边过渡区: 解决长短翻边交接点问题同样是两个方法, 即统一翻边高度或者增大翻边过

渡区。由于工艺及产品功能要求, 翻边高度无法统一; 增大翻边过渡区不涉及工艺及产品功能更改, 可以实现。

综合上述分析, 通过增大翻边过渡区来缓解长短翻边交接点问题是可行方案。为了实现最小整改量, 达到最好的整改效果, 制定如下 3 种整改方案, 如图 8 所示, 并再次使用数值模拟分析加以验证。图 8 中数值为翻边过渡区整改的最大工作量。

3.2 数值模拟验证

对制定的工艺方案进行数值模拟仿真, 并在保持其他参数不变的前提下进行重新分析, 结果如图 9 所示。

主要对两个参数进行分析:

(1) 接触压强: 从分析结果可以看出, 按照方案 1 整改后可以明显看出接触压强为“0”的区域消除, 即板料上翘现象消除, 方案 1 有效。其余方

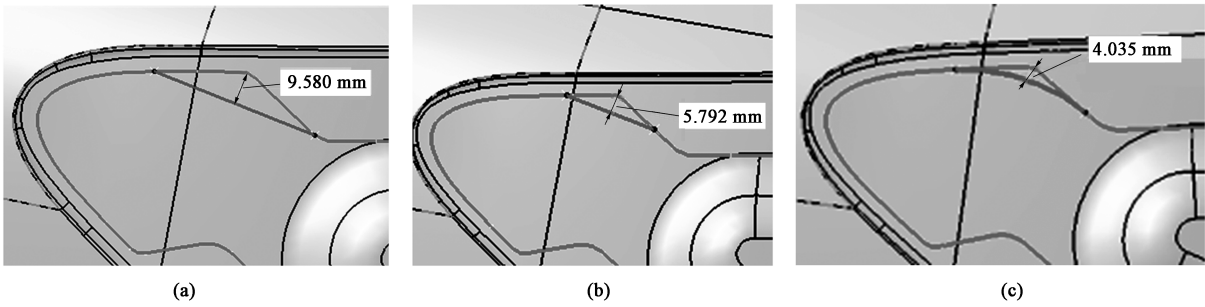


图 8 缺陷整改方案
(a) 方案 1 (b) 方案 2 (c) 方案 3
Fig. 8 Rectification schemes for defect
(a) Scheme 1 (b) Scheme 2 (c) Scheme 3

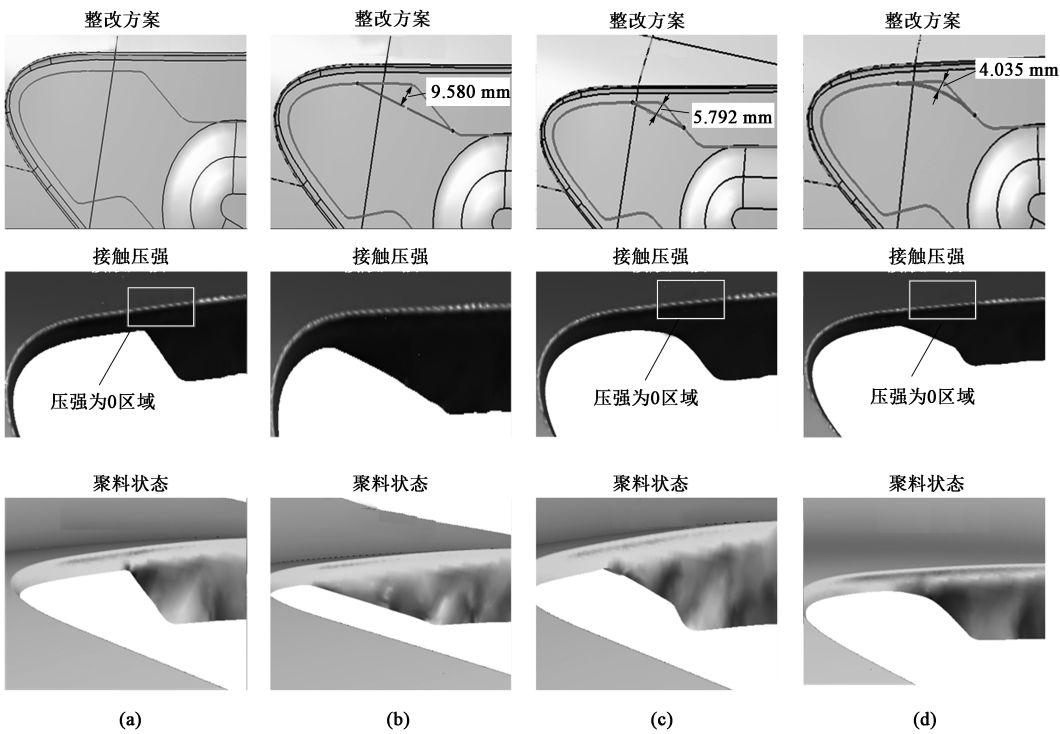


图 9 各方案的分析结果
(a) 原始工艺 (b) 方案 1 (c) 方案 2 (d) 方案 3
Fig. 9 Analysis results of each scheme
(a) Original process (b) Scheme 1 (c) Scheme 2 (d) Scheme 3

案的接触压强没有明显优化。

(2) 聚料状态：按照方案 1 整改后，聚料幅度明显降低；按照方案 2 及方案 3 整改后，聚料趋势有轻微改善。通过数值模拟仿真分析及验证，方案 1 对于缺陷的消除有明显效果，故按照方案 1 执行最终整改。

3.3 整改方案 1 实施效果

根据方案 1 进行产品变更、工艺及模具更改后，出件验证，前侧翻边圆角棱线波浪问题彻底消除，如图 10 所示，并按照此方法整改后侧，完成全部的

整改工作。消除一个制件固定返修点，降低单车返修工时 4 min，降低返修成本约 2 元/辆，车型生产周期内共节约成本 103 万元。

4 结语

现阶段，一般采用理论分析结合数值模拟验证的方法来解决汽车外覆盖件表面质量的缺陷问题，这就需要技术人员具有较深入的专业知识和丰富的实践经验，且需要反复模拟才能达到解决问题的目

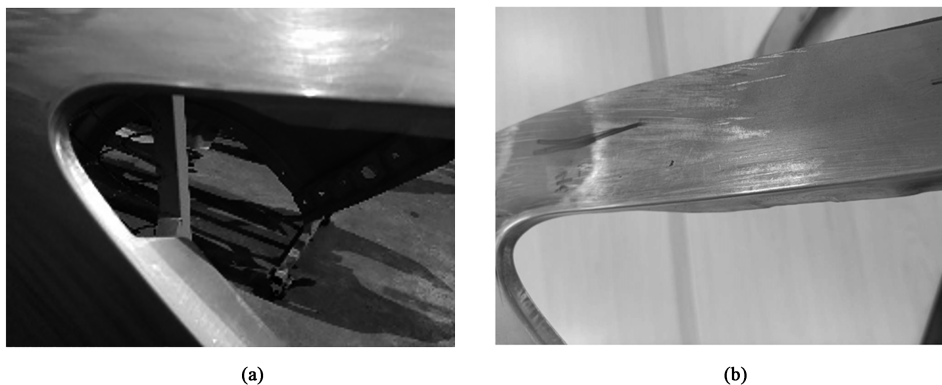


图 10 方案 1 实施效果
(a) 整改前制件状态 (b) 整改后制件状态

Fig. 10 Implementation effect of scheme 1

(a) Part status before rectification (b) Part status after rectification

的。而在本案例侧围外板表面质量缺陷解决过程中,首先结合生产经验进行理论与工艺分析了解缺陷产生原因,再应用数值模拟软件还原缺陷产生过程及结果,并验证选出最佳整改方案,最终解决了质量问题,提升了汽车外观质量。利用数值模拟仿真软件与所积累的经验相融合达到了事半功倍的效果。值得一提的是,在外覆盖件的面品缺陷判断中,引入“接触压强”这个参数来判定多料时制件不贴合凸模问题,缺陷可以更直观地、更清晰地体现出来。这种新方法值得推广。

参考文献:

- [1] 崔淑娟,刘明,赵清江,等. 汽车前端结构的行人大腿碰撞保护性能研究 [J]. 汽车工程学报, 2020, 10 (4): 263-268.
Cui S J, Liu M, Zhao Q J, et al. Research on the vehicle front-end structure for pedestrian upper-leg impact protection [J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2020, 10 (4): 263-268.
- [2] 覃炳恒,邱贵年,刘昌业,等. 门槛梁抗弯性能影响因素研究 [J]. 机械设计与制造, 2021, (3): 189-193, 197.
Qin B H, Qiu G N, Liu C Y, et al. Research on influencing factors of bending performance of threshold beam [J]. Machinery Design & Manufacture, 2021, (3): 189-193, 197.
- [3] 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, Deng 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.
- [4] 程永胜,徐晓琪,陈国强,等. 基于用户偏好的 SUV 汽车造型魅力因素研究 [J]. 现代制造工程, 2020, (12): 116-122.
Cheng Y S, Xu X Q, Chen G Q, et al. Research on SUV car styling charm factors based on user preference [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2020, (12): 116-122.
- [5] 曹长才,孟宇轩,赵子海,等. 汽车外覆盖件 R 角精致感研究 [J]. 模具制造, 2020, 20 (7): 23-25.
Cao C C, Meng Y X, Zhao Z H, et al. Research on the solution of R-corner delicacy of automobile panel [J]. Die & Mould Manufacture, 2020, 20 (7): 23-25.
- [6] 尤彬波,林楷,谢育涛,等. A 柱加强板热成形拐角开裂起皱优化 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (3): 105-110.
You B B, Lin K, Xie Y T, et al. Optimization on wrinkle and crack at corner of A-pillar reinforcement panel in thermoforming [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (3): 105-110.
- [7] 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.
- [8] 代丽,朱勇. 汽车侧围外板表面缺陷分析及冲压工艺优化 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (6): 91-98.
Dai L, Zhu Y. Surface defect analysis and stamping process optimization on automobile side wall outer panel [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (6): 91-98.
- [9] 张博凡,罗家兵,郭杰. 侧围内板跌落变形仿真及设计优化 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (2): 71-75, 86.
Zhang B F, Luo J B, Guo J. Simulation and design optimization on drop deformation for side wall inner panel [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (2): 71-75, 86.
- [10] 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 w outer parts [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2014, 21 (2): 55-59.