

铝合金全框门外板的回弹分析与补偿

王 强, 周卫国, 伍 二, 付家焱

(东风汽车集团股份有限公司猛士汽车科技公司, 湖北 武汉 430056)

摘要: 以某车型铝合金全框门外板为例, 通过对比 Autoform 软件中自带的 free springback、仅 1 个支撑夹紧点的 Constrained springback 以及现场零件的真实回弹结果, 寻求最佳回弹分析及补偿方案。前期同步工程阶段, 确定了影响回弹因素的构成及重点工序, 对 OP20 拉延工序工艺片体进行补充, OP50 翻边工序采用夹料翻边机构改善回弹趋势, 并使用仅 1 个支撑夹紧点的 Constrained springback 对软件自带的 free springback 进行可靠性验证, 同时对检具测量姿态下和车身装配姿态下的回弹趋势进行了校核。实际调试阶段, 对比了前期 CAE 仿真结果, 通过减少压应力、增加刚性、A 面补偿等措施, 控制压料面上的回弹, 减少后序符型问题, 确保回弹控制在一定范围内。最后, 通过门内板分总成的反向矫形, 促使门总成达到精度要求。

关键词: 全框门外板; 铝合金; 回弹; 夹料翻边; 包边回弹

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2024.05.009

中图分类号: TG386

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2024) 05-0067-09

Springback analysis and compensation on aluminum alloy door outer pannel with full frame

Wang Qiang, Zhou Weiguo, Wu Er, Fu Jiayan

(Dongfeng M-Hero Co., Ltd., Wuhan 430056, China)

Abstract: For the aluminum alloy door outer panel with full frame of a certain vehicle model, the optimal springback analysis and compensation scheme were sought by comparing the built-in free springback in software Autoform, Constrained springback with only one support clamping point, and the actual springback results of the parts on site. Then, during the early synchronous engineering phase, the combination of factors affecting springback and the critical processes were identified, and the process sheet for the OP20 drawing process was supplemented. Furthermore, the springback trend in the OP50 flanging process adept by a clamping flanging mechanism was improved, and the reliability of the built-in free springback in the software was verified by Constrained springback with only one support clamping point. Finally, the springback trend under the measuring posture of measuring devices and the assembly posture of vehicle body was checked. The results of the actual debugging phase show that compared with the previous CAE simulation results, through reducing compressive stress, increasing rigidity and A-face compensation, the springback on the pressurized surface is controlled, and the problem of post-order pattern is reduced to ensure that the springback is controlled within an acceptable range. Thus, the accuracy requirements of the door assembly are achieved by the reverse correction of the door inner panel sub assembly.

Key words: door outer pannel with full frame; aluminum alloy; springback; clamping and flanging; springback after hemming

随着汽车电动化的发展, 车身轻量化要求越来越高, 车身铝合金使用比例也越来越大, 随之而来的铝合金成形质量与尺寸问题也越来越多^[1]。本文以某款电动越野车铝合金全框门外板为例, 就前门外板回弹分析改进过程以及补偿方法进行论述。

1 回弹问题概述

由于此车造型以硬朗的铠甲风格为主, 前门外板 A 面是一个曲率很大的平面, 零件整体延伸率较差, 因此, 此门外板的抗弹性变形能力弱, 且由于是带框的整体式车门^[2], 回弹比一般车型要严重。此门外板使用的铝合金为 Novelis 的 6016 铝合金, 料厚为 1.0 mm, 材料的性能参数如表 1 所示。

收稿日期: 2023-10-28; 修订日期: 2024-01-15

作者简介: 王 强 (1988-), 男, 学士, 高级工程师

E-mail: mc_wangq@163.com

表 1 6016 铝合金的性能参数

Table 1 Property parameters of 6016 aluminum alloy

参数	屈服强度 R_{eL}/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	应变硬化 指数 n	塑性应变 比 r	弹性模量 E/MPa
数值	115.5	231	0.251	0.555	70000

此前门外板零件规划为 4 工序, 模具采用双槽结构, 其中 OP20 拉延、OP30 修边+冲孔、OP40 侧修边+整形、OP50 侧翻边+冲孔。同步工程阶段, 由于前车门外板检具定位系统^[3] 还未确定, 分析时使用 Autoform 软件的 free springback 模块, 这种回弹方式不考虑重力影响, 约束由软件自行提供, 其分析结果如图 1 所示。由图 1 可知, 最大回弹量在窗框区域达到 51.890 mm, 如果直接按照该数值进行回弹补偿, 风险会很大, 无法确保自由回弹控制在标准的 5 mm 以内, 因此, 有必要对工艺和 CAE 模拟进行合理改进, 从而降低回弹量。

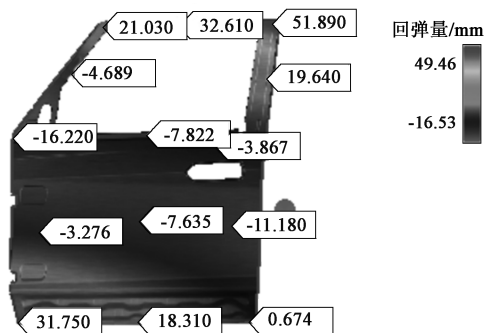


图 1 Autoform 的 free springback 模块分析结果

Fig. 1 Analysis result of free springback module for Autoform

2 回弹分析与改进

产品回弹分析的影响因素很多, 不仅有产品部分的回弹、压料面和工艺补充的回弹, 还有拉延压边力、拉延筋、模具间隙等模具因素^[4], 同时这些因素还影响着零件后序成型^[5]。为了找出影响零件回弹的主要因素, 首先, 使用 Autoform 软件提供的 free springback 模块进行分析, 结果显示 OP20 和 OP30 的回弹相差较大, 这是因为 OP30 修边后应力释放, 回弹值和拉延序有明显差异。OP30 和 OP40 皆为修边序, 回弹量相差不大, 但 OP40 和 OP50 的回弹结果相差比较大。图 2 为 OP40 回弹分析结果, 图 3 为 OP50 回弹分析结果, 窗框最大回弹由 12.040 mm 变为 51.890 mm, 这主要是因为 OP50 窗框内外侧及其他沿周翻边过程中的应力挤压, 材

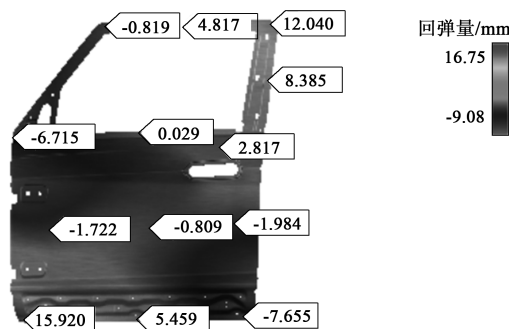


图 2 OP40 的 free springback 分析结果

Fig. 2 Analysis result of free springback for OP40

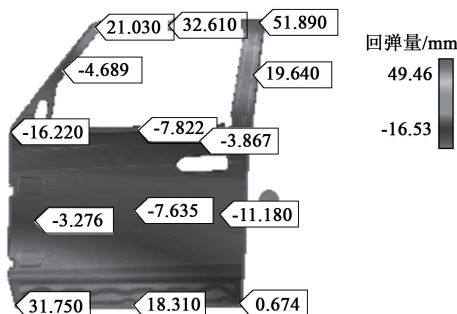


图 3 OP50 的 free springback 分析结果

Fig. 3 Analysis result of free springback for OP50

料失稳, 造成回弹明显增大。

其次, 对拉延工序进行分析, 对比了虚拟筋和实体筋不同状态下的回弹差异, 图 4 为早期阶段无实体筋时压料面的回弹分析结果, 回弹量最大达到 9.626 mm, 修边序成型较差, 这是由于压料面存在压应力和刚性差而造成的。真实筋能够提高压料面的刚性, 使用周圈真实筋的模拟结果如图 5 所示, 压料面回弹有所减少, 但仍不满足修边成型要求。为此, 在压应力比较大的地方增加与材料流向相平行的筋, 如图 6 所示。压料面上回弹得到改善, 修边废料刀满足成型要求, 如图 7 所示。

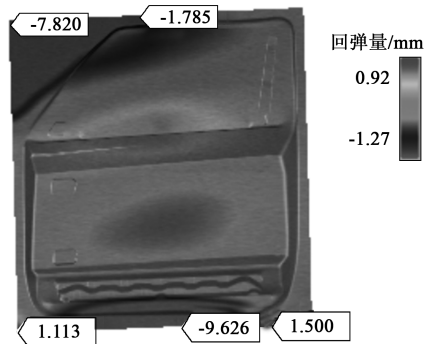


图 4 无实体筋时压料面的回弹结果

Fig. 4 Springback result of binder face without drawbeads

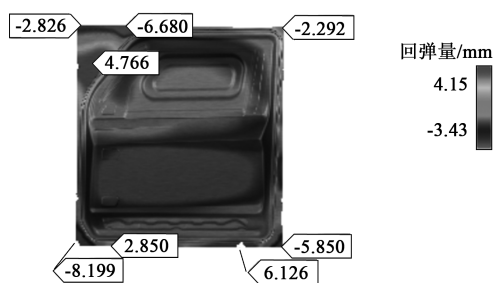


图5 圆圈真实筋时压料面的回弹结果

Fig. 5 Springback result of binder face under actual reinforcement of circumference

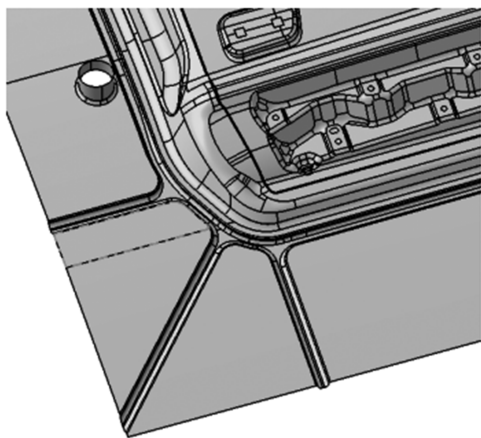


图6 与材料流向平行的筋

Fig. 6 Drawbeads parallel to flow direction of material

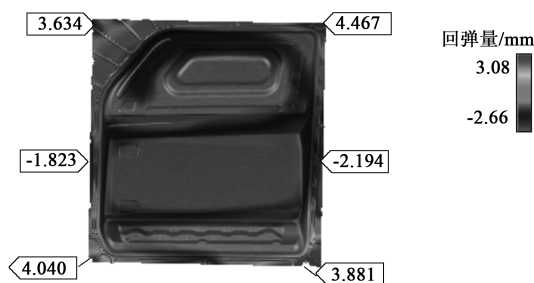


图7 增加与材料流向平行筋后的回弹结果

Fig. 7 Springback result after adding drawbeads parallel to flow direction of material

确定零件产生回弹的主要工序后, 采取第1个措施, 即 OP50 使用夹料翻边^[6], 翻边工艺原理如图8所示, 较传统的翻边悬空部位, 下模增加了一个浮动的夹料板。如图9所示, 在翻边过程中, 翻边镶块与零件接触时, 将工序零件夹在镶块与下夹料板中间同时下行, 翻边过程中加大翻边圆角塑性变形, 减小材料回弹变形, 从而减少翻边后的零件回弹。

在模具制造阶段, 现场对 CAE 模拟结果进行了夹料翻边和非夹料翻边的验证, 采用 Greaform 手持

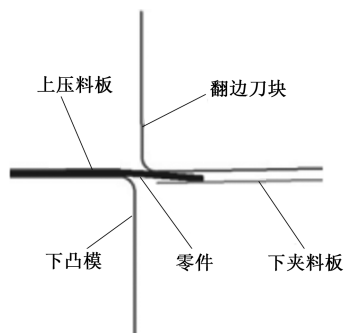


图8 夹料翻边工艺的原理图

Fig. 8 Principle diagram of clamping and flanging process

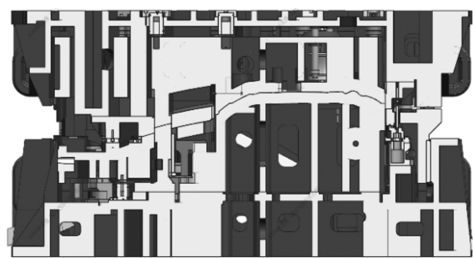


图9 夹料翻边的结构图

Fig. 9 Structural diagram of clamping and flanging

3D 扫描仪 (扫描精度为 0.025 mm), 在检具自由支撑状态下分别对两种状态的零件进行了扫描, 结果相差较大, 如图10和图11所示。

上文的回弹分析均是使用 Autoform 软件的 free springback 模块分析完成, 使用该方法做回弹分析将不考虑自重, 约束由软件自动提供。为了检测这种方式预测回弹的可靠性, 进行了如下对比分析。图12为 Autoform 软件提供的 free springback 分析结果, 图13为水切部位仅一点夹持, 使用考虑重力作用的 Constrained springback 模块分析的回弹结果。很明显, 图13中的回弹最大值约为图12中回弹最大值的 1/10。仅提供1个支撑和夹紧, 其本质上也是自由回弹。

在检具还未制作出来时, 零件回弹的测量实际上是放在模具上进行测量的, 板件上最少有1个点与模具完全重合, 这个重合点相当于软件中 Constrained springback 模块中的夹紧点, 因此, 单点夹紧约束分析具有实际物理意义。但是, 软件提供的 free springback 不考虑重力, 约束条件未知, 是不具备实际物理意义的, 仅仅只是软件提供了一种快速回弹^[7]分析方法。

建议同步工程阶段, 使用1个约束点的夹持回弹替代软件 free springback 选项。图13分析结果表明, 此零件回弹满足数据冻结条件, 可以此数据状态进行工艺设计和回弹补偿。

从上文对比分析可知, 重力和约束条件对回弹

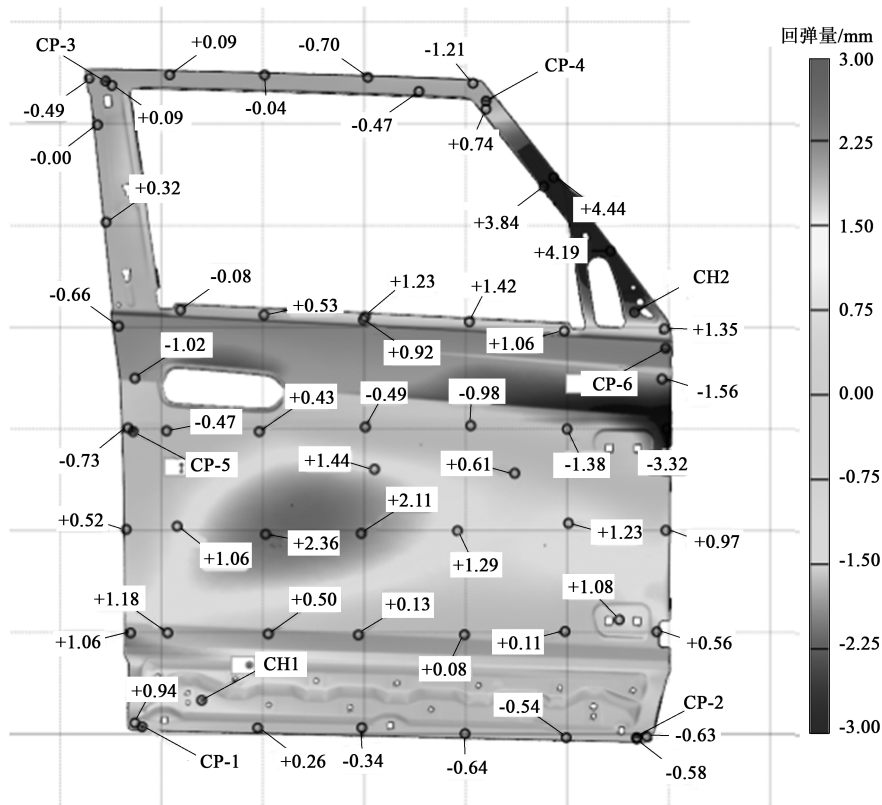


图 10 夹料翻边的实际测量值

Fig. 10 Actual measurement values of clamping and flanging

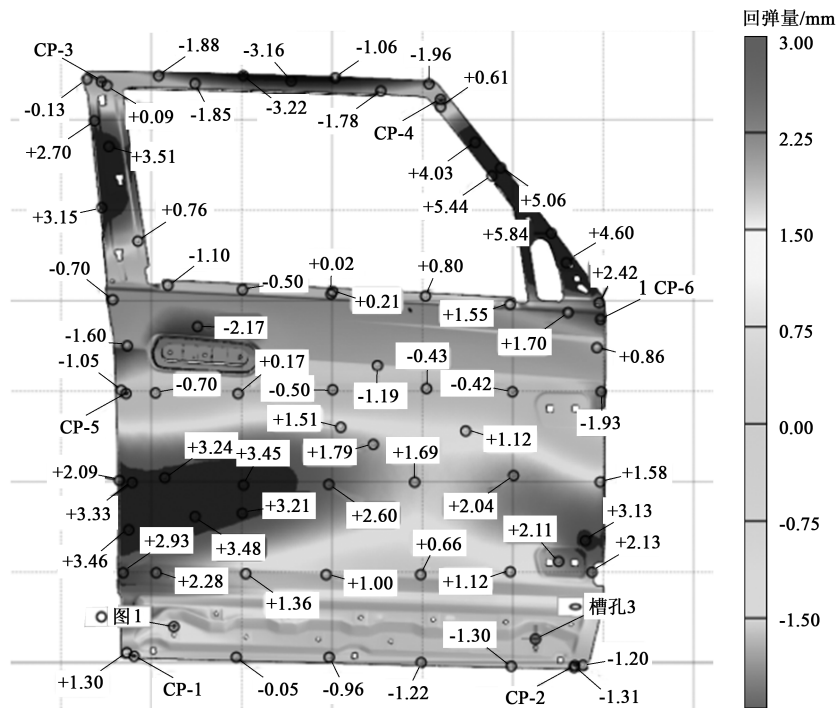


图 11 取消夹料翻边的实际测量值

Fig. 11 Actual measurement values without clamping and flanging

影响很大。但是，此零件因考虑检具存放及检测的便利性，并不是按照零件在车身上的姿态放置检测，

需要对比分析检具检测姿态和车身装配姿态两种条件下的回弹变化。

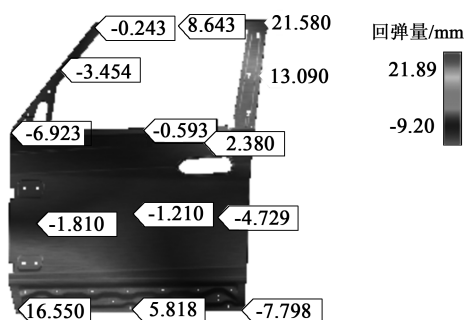


图 12 夹料翻边的 free springback 分析结果

Fig. 12 Analysis result of free springback for clamping and flanging

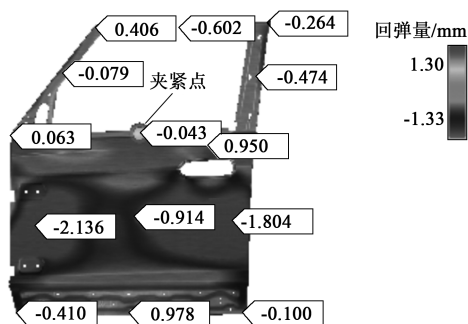
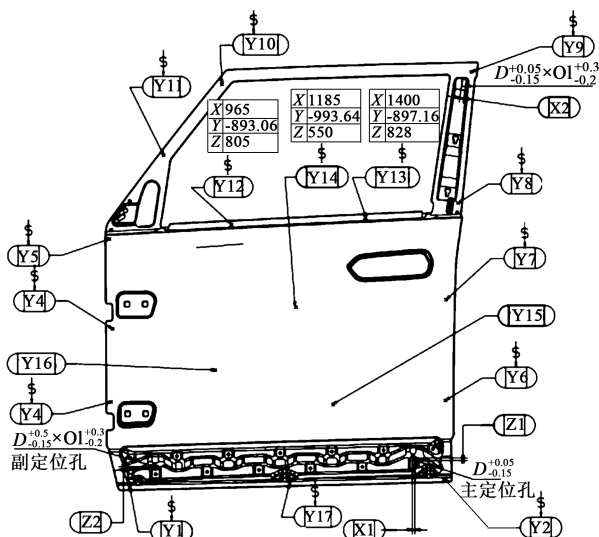


图 13 单点夹紧 Constrained springback 的回弹分析结果

Fig. 13 Springback analysis result of Constrained springback of single clamp

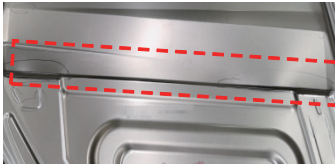
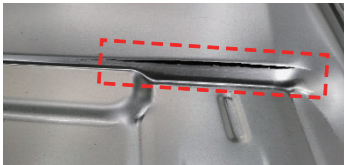
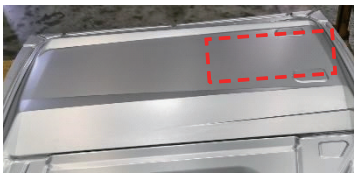
在 GD&T 图纸下发后, 依照 GD&T 图纸进行约束设置, 依照其定义的检具检测姿态^[8]重新进行回弹分析, 图 14 为 GD&T 提供的约束条件, 图 15 为检具检测姿态。



存在差别，流入量差别而引起回弹变化。另外，水切侧整形也导致了后工序回弹变化，如表 2 所示。

图 16 的回弹显示，在主面两侧存在两处凹坑，

表 2 模具调试阶段零件状态及提升对策

Table 2 Part state and improve countermeasures in die debugging stage			
整改轮次	对策	问题描述	问题图片
首轮出件	门框内凸包降低； 反坎降低； 凸模凸 R 增大	水切多处开裂	
第 1 次调整	水切开裂处放大产品凹模圆角，取消整形	水切两侧开裂	
第 2 次调整	拉伸工艺补充上增加凹槽	A 面凹陷及波浪	

这是由于零件外表面曲率小^[9]，而且受到两个铰链安装面的影响，在成形过程中材料无法均匀流动而产生塑性变形，而造成了波浪变形。在模具调试阶段，现场实际零件回弹如图 18 所示，A 面中部有 1 处 2.4 mm 的凹陷，此状态较图 19 加工数据的趋势一致，但是窗框处并未还原，且有一定的恶化。主要是工艺补偿为保证面的质量和光顺性，在 CAE 的补偿量基础上进行了优化。

通过现场调试，无法有效还原 CAE 模拟状态，为此开展了现场的第 1 轮 A 面整改，对零件回弹进行补偿，解决中部凹陷和窗框扭曲的问题，并最终确定在拉伸序进行整改，将凹陷对应的拉伸型面处整体隆起 5 mm，如图 20 和图 21 所示，对拉伸模进行降型面整体加工，后工序 OP30 进行型面符型修正。

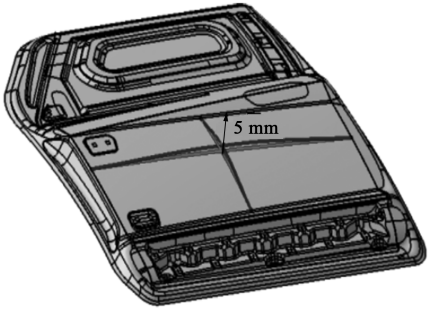


图 20 补偿示意图

Fig. 20 Schematic diagram of compensation

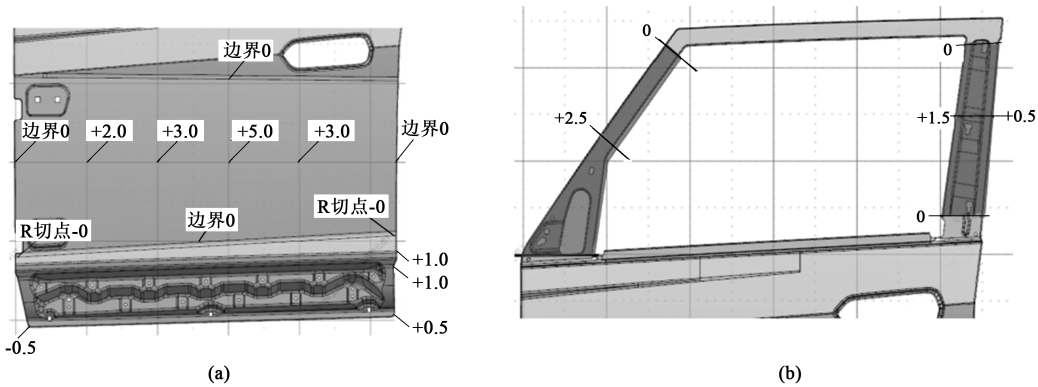


图 21 拉伸模整改指示

(a) 下部指示 (b) 上部指示

Fig. 21 Rectification instructions in drawing die

(a) Lower indicator (b) Upper indicator

补偿后的回弹模拟结果如图 22 所示，所有尺寸偏差均小于 1 mm，除局部回弹稍大外，大部分回弹尺寸满足公差要求。现场出件情况如图 23 所示，主面塌陷问题已解决，但前门前部特征线上部尺寸仍存在一定偏差。

由于现场调试阶段从拉伸开始补偿，后工序

为了符型考虑需要跟着变动，因此涉及模具整改套数多、周期长、成本高、风险高，若有其他选择，尽量减少拉伸补偿工艺^[10]。实际调试完成零件的符型情况良好，OP20、OP30 和 OP40 这 3 个工序上窗框及腰线前侧区域的回弹量与仿真结果一致，全工序研合状态良好，非整形区域无干涉

4 结语

通过对某车型全框铝合金门外板的分析优化以及后期的调试补偿, 结果显示: 全框门外板制作中, 拉延序需考虑控制工艺补充部分的回弹、翻边序需考虑夹料翻边、CAE 模拟应选择正确的约束条件和测量姿态, 在回弹较小且集中于内板法兰面贴合区域时, 从外观品质及成本上考虑, 在无法优先解决外板回弹问题时, 可适度地对门内板进行反向补偿, 以滚边总成结果为导向, 最终保证总成结果。通过这些措施的配合应用, 才能够保证门板满足装车要求。

参考文献:

- [1] 张健, 闫巍, 王刚, 等. 铝合金车门外板冷冲压成形工艺及数值模拟 [J]. 塑性工程学报, 2022, 29 (5): 45-52.
Zhang J, Yan W, Wang G, et al. Cold stamping process and numerical simulation of aluminum alloy auto outer door pannel [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2022, 29 (5): 45-52.
- [2] 李学坤, 张秀丽, 吴丰军, 等. 整体式车门外板窗框回弹控制 [J]. 模具工业, 2021, 47 (8): 38-41.
Li X K, Zhang X L, Wu F J, et al. Springback control of window in frame integral door outer pannel [J]. Die & Mould Industry, 2021, 47 (8): 38-41.
- [3] 杜武昌, 唐远柱, 夏迎飞. 基于重力分析对车门外板 RPS 点位优化的应用 [J]. 模具工业, 2022, 48 (1): 61-64.
Du W C, Tang Y Z, Xia Y F. Application of RPS point position optimization for car door outer plate based on gravity analysis [J]. Die & Mould Industry, 2022, 48 (1): 61-64.
- [4] 张茜, 刘淑影, 牛星辉, 等. 基于 Dynaform 的 DP600 高强度钢 U 形弯曲回弹影响因素研究 [J]. 模具制造, 2020, 20 (4): 32-35.
Zhang Q, Liu S Y, Niu X H, et al. Research on influence factors of DP600 high strength steel U-BEND springback based on Dynaform [J]. Die & Mould Manufacture, 2020, 20 (4): 32-35.
- [5] 霍会荣, 杨欢, 苏飞宇, 等. 外覆盖件冲压模具符型 [J]. 锻造与冲压, 2023, (8): 58-60.
He H R, Yang H, Su F Y, et al. Fitness to the profile of the stamping die of the outer covering part [J]. Forging & Metalforming, 2023, (8): 58-60.
- [6] 覃显峰, 邓国朝. 侧围尾灯翻边问题的解决方法 [J]. 模具制造, 2022, 22 (1): 20-22.
Qin X F, Deng G C. Solution on flanging problem for the side wall tail lamp [J]. Die & Mould Manufacture, 2022, 22 (1): 20-22.
- [7] 赵子海, 孟宇轩, 江克洪, 等. 铝后门外板回弹补偿措施研

究 [J]. 模具工业, 2020, 46 (11): 37-40.

- Zhao Z H, Meng Y X, Jiang K H, et al. Research on compensation measures for rebound of aluminum rear door outer panel [J]. Die & Mould Industry, 2020, 46 (11): 37-40.
- [8] 陈建, 翁兆廷. 汽车覆盖件检具开发技术 [J]. 模具制造, 2019, 19 (6): 67-71, 74.
Chen J, Wong Z T. Development technology of checking fixture for automobile pannel [J]. Die & Mould Manufacture, 2019, 19 (6): 67-71, 74.
- [9] 陈振教, 朱寅, 周驰, 等. 模面曲率对综合补偿系数的影响 [J]. 电加工与模具, 2009, (6): 61-63.
Chen Z J, Zhu Y, Zhou C, et al. The influence of mold surface curvature and comprehensive compensation coefficient [J]. Electromachining & Mould, 2009, (6): 61-63.
- [10] 汤云翔. 汽车大型外覆盖件冲压拉延成形仿真与冲压工艺参数优化技术研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2022.
Tang Y X. Simulation and Optimization of Stamping Process Parameters for Large-sized Automotive Outer Coverings: A Technical Study [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2022.
- [11] 秦亚浩, 陈文波, 王少亚, 等. 浅谈车身钣金材料利用率提升方案研究 [J]. 时代汽车, 2023, (20): 149-151, 155.
Qin Y H, Chen W B, Wang S Y, et al. A study of body sheet metal material utilization rate improvement program [J]. Era Automotive, 2023, (20): 149-151, 155.
- [12] 鲜光斌, 罗琳, 夏华杰, 等. 浅谈门盖压合总成件平度调试的方法 [J]. 模具制造, 2014, 14 (5): 25-29.
Xian G B, Luo L, Xia H J, et al. The door cover assembly method of flush debugging [J]. Die & Mould Manufacture, 2014, 14 (5): 25-29.

警惕不法网站, 保障投稿安全

近期, 本刊接到多名作者投诉, 网络上出现冒充《锻压技术》杂志官方网站的伪网站, 如 www.dyjszz.cn, 这些网站盗用本杂志官网内容及相关行业信息, 误导和欺骗广大投稿作者, 骗取文章版面费、套取作者文章及个人信息, 侵犯了广大作者的切身利益。

特此声明, 本刊唯一官方网站为 www.fstjournal.net, 投稿方式为网站注册登录投稿, 不接受邮箱投稿。请作者投稿时务必认准杂志官方网站, 谨防受骗。

本刊郑重声明伪网站相关人员尽快停止违法行为, 否则将严肃对待, 并将运用一切法律手段维护本刊的权利。

请广大读者协助本刊监督网络上的不法行为, 一经发现, 请联系本刊, 本刊将及时处理, 共同努力营造良好的期刊网络氛围。

《锻压技术》杂志联系方式: fst@263.net; 010-62920652。

《锻压技术》编辑部