

前围外板的冲压工艺设计及成形分析

韩永志, 徐迎强, 张海洲, 余冰定

(安徽江淮汽车股份有限公司, 合肥 230601)

摘要: **目的** 解决汽车覆盖件因为冲压变形复杂, 成形工艺参数难以确定的问题。 **方法** 分析了汽车前围外板的成形工艺, 研究了复杂型面拉深模具的型面设计, 以有限元分析软件 AUTOFORM 为平台, 对其冲压成形过程进行了数值模拟。根据模拟结果(成形极限图、材料流动分布及材料变薄率)对拉延型面及工艺参数进行了优化。 **结果** 所得零件材料最大减薄率为 17.3%, 在 SPCE ($t=0.8$ mm) 材质减薄率安全范围内(18.7%), 消除了成形过程中的暗伤开裂风险, 成形结果得到了大大改善。 **结论** CAE 仿真能够预测零件成形过程中存在的缺陷, 优化工艺参数, 指导模具设计工作。将优化结果用于指导实际生产, 得到了符合质量要求的拉延零件。

关键词: 前围外板; 数值模拟; 工艺补充; 拉延成形

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2014.04.007

中图分类号: TG386

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2014)04-0036-05

Design and Forming Analysis of the Stamping Process for Front Panel Part of Automobile

HAN Yong-zhi, XU Ying-qiang, ZHANG Hai-zhou, YU Bing-ding

(Anhui Jianghuai Automobile Co., Ltd., Hefei 230601, China)

ABSTRACT: **Objective** Aiming at solving the problems of automobile panel such as complicated deformation during stamping process and uncertainty of forming technical parameters. **Methods** This paper analyzed the forming process of the front panel part of automobile, and discussed the surface design of complex drawing die. The stamping forming process of a front panel part was numerically simulated based on the finite element software AUTOFORM. According to the simulation results (the forming limit diagram, flow distribution and material thinning rate), the drawing surface and the process parameters were modified and optimized. **Results** The maximum thinning rate of the part material was 17.3%, within the security range of SPCE ($t=0.8$ mm) material thinning rate (18.7%), and the defects in the forming process were eliminated, which largely improved the forming results. **Conclusion** CAE simulation could predict the defects existing in the forming process of parts, optimize the process parameters, and guide the die design. When the optimized results were applied to practical production, the eligible drawing parts were obtained.

KEY WORDS: front panel part; numerical simulation; addendum; drawing forming

汽车车身由许多轮廓尺寸较大且具有空间曲面的覆盖件焊接而成,因此对覆盖件的表面质量和尺寸精度有较高要求,如轮线清晰,无皱纹、划伤、拉毛等表面缺陷。覆盖件的成形过程复杂,需要考虑多方面因素,依靠经验和多次的试模可以对覆盖件的成形性进行物理验证,而 CAE 仿真的诞生为冲压成形的评估提供了量的概念^[1-4]。板料成形仿真使工艺人员可以在生产前期阶段,预见成形中可能出现的缺陷,如起皱、开裂等,确定成形所需技术参数,验证并优化模具结构^[5-8]。

在前围外板的制造过程中,需经过拉延、修边、冲孔、翻边及整形等多步工序才能完成,但制件质量的好坏在很大程度上受拉延质量的控制,它决定了后期修边、翻边、冲孔和整形等工序的内容及状态。文中针对前围外板,研究了复杂型面拉深模具的型面设计,用 AUTOFORM 软件对其成形过程进行模拟,根据仿真结果对拉延型面及工艺参数进行优化,以消除成形过程中的暗伤开裂问题,减少模具调试时间,提高效率。

1 零件工艺性分析

前围外板的二维模型如图 1 所示,该零件的材料为 SPCE,料厚为 0.8 mm,外形尺寸为 1477 mm×398 mm×34 mm,主型面曲率较大,型面较为复杂,因此,要获得合格的冲压件,必须设置合理的冲压方向、压料面、工艺补充面和拉延筋等工艺参数。特别是零件中间位置的型面很平缓,可能产生成形时变形量不够,成形后易回弹,需进行充分的塑性变形,控制其回弹。

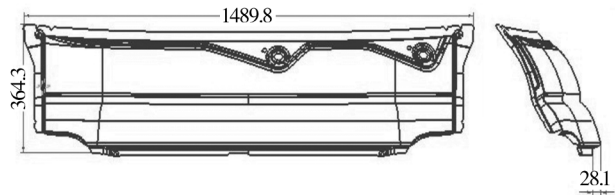


图1 前围外板二维图

Fig.1 Sketch of front panel part

根据覆盖件成形的工艺要求,拉深方向和压料面设计原则及后续工序成形等因素,对零件的工艺补充部分进行设计^[9-10]。

图 2A 所示型面为车身外观分缝位置,面品质要求高(A 面),拉延补充设计时采用轮廓过拉延,即沿翻边线向外顺延 2~5 mm(如拉延棱线和整形棱线完全重合,会造成制件表面产生一条棱线),这样做还可以把拉延 R 角放大,使材料塑性变形更充分,对拉延成形更有利;图 3B 所示位置无法实现一次修边,且需要侧修边机构,因此调整图示位置分模线,实现一次垂直修边,后续整形工序整形至制件要求;增加随型压料面并保证和零件实体之间有良好的过渡,适中的圆角和曲面光滑,以保证拉深的顺利成行,完成后的工艺数模如图 3 所示。

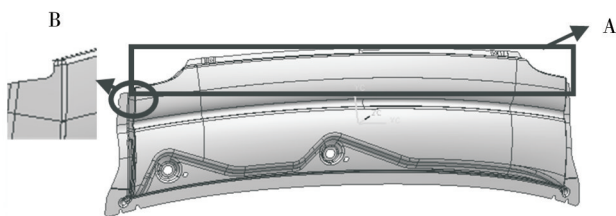


图2 轮廓过拉延及修边示意图

Fig.2 Diagram of exceed contour and trimming

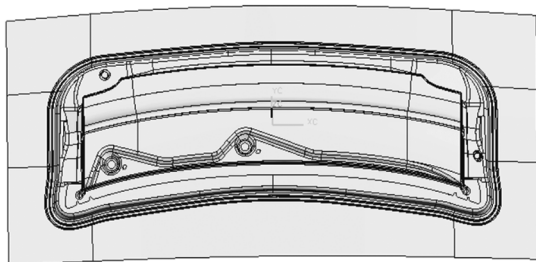


图3 工艺数模

Fig.3 Diagram of process digital model

2 参数设定与有限元建模

2.1 参数设定

汽车门槛内板件的材料为 SPCE,坯料尺寸为 1690 mm×655 mm×0.8 mm,其材料的物理性能见表 1。采用 Hill 屈服模型,在平面应力状态下,Hill 屈服准则可表示为:

$$\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \frac{2r}{r+1} \sigma_x \sigma_y + 2 \frac{2r+1}{r+1} \sigma_{xy}^2 = \bar{\sigma}^2$$

式中: $\bar{\sigma}$ 为沿轧制方向的等效应力; x, y 分别表

表 1 材料的力学性能

Table 1 Mechanical properties of the material

屈服强度	弹性模量	泊松比	Barlat-Lian	拉深强度	厚向异性系数		
σ_s/MPa	E/GPa	μ	指数 m	σ_b/MPa	r_0	r_{45}	r_{90}
167.9	210	0.3	2	207.7	1.87	1.3	2.14

示板材轧制方向和横向; r 为各向异性系数平均值^[11-13]。

2.2 有限元建模

有限元模型如图 4 所示,模具采用倒装结构,凸模、凹模、压边圈选为刚性材料,模具运动类型为 single action,自适应网格重划次数为 4,时间步为 15,板料单元厚向积分点数为 6。板料采用等向强化模型,应力应变关系为:^[14-15]

$$\sigma_y = k(\epsilon_{yp} + \bar{\epsilon}_p)^n$$

式中: k 为与材料有关的常数($k > 0$); n 为硬化系数; σ_y 为 y 方向应力; ϵ_{yp} 为 y 方向塑性应变; $\bar{\epsilon}_p$ 为等效塑性应变。

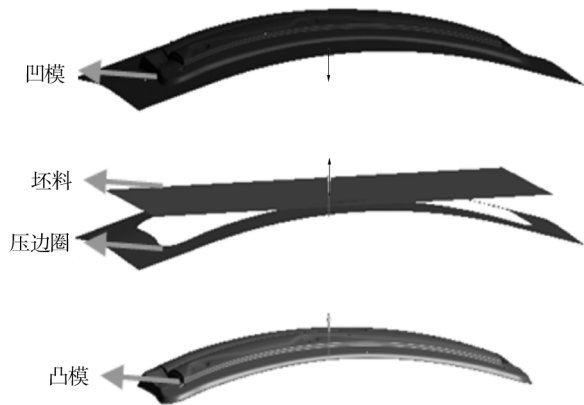


图 4 模拟成形有限元模型

Fig. 4 Model for FEM analysis

汽车覆盖件拉延成形中,一般采用拉延筋或拉延槛。拉延筋增加了压料面上各位置的进料阻力,控制材料的流动方向,调节材料流入量,大大改善零件的拉深条件。参考文献[16—20]拉延筋设计原则,考虑到 CAE 分析的计算时间,在初次计算时,使用等效拉延筋代替实体筋,待得到初次 CAE 结果后,再作针对性调整。等效拉延筋如图 5 所示。

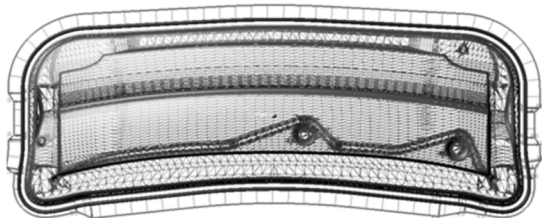


图 5 等效拉延筋示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the equivalent drawbead

3 模拟结果及分析

模拟结果(FLD 图)如图 6 所示,从 FLD 图中可以看出,拉延型面零件部分变形充分,但图 A 处的变薄率达 21%,FLD 处于临界状态,存在开裂风险。该处的开裂属于塑性破裂,因为该处型面 R 角较小,进料阻力大,且存在阶梯面,拉延至零件型面最后阶段,受双向拉应力的作用,变形过度集中,导致周围材料供料不畅而破裂。因此将 A 处 R 角放大,且取消拉延拔模阶梯面至平缓过渡,使成形得到改善,后续整形工序再型面整形至制件要求,优化前后的工艺补充面如图 7 所示。

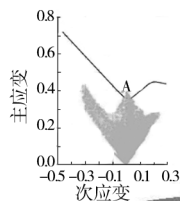


图 6 成形极限图

Fig. 6 Forming limit diagram

根据以上分析及提出的改善措施,在各参数设置相同的情况下,利用新的型面对成形过程进行了

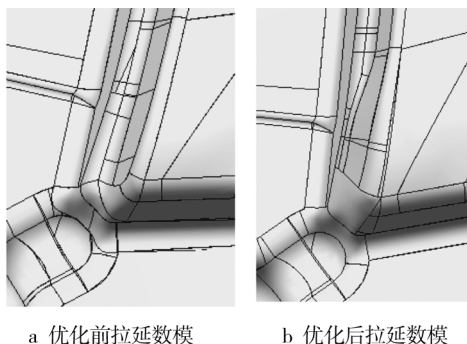


图7 优化前后的工艺补充面

Fig.7 Addendum prior and after optimization

模拟计算,结果如图8所示。从FLD图(图8)中可以看出,A处型面材料最大减薄率为17.3%,在材质减薄率安全范围内(18.7%),变形区控制在FLC安全范围之内,材料流动合理,零件有较好的塑性变形,拉深零件无暗伤破裂风险。

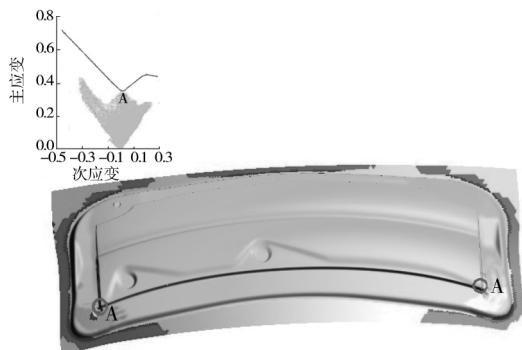


图8 优化工艺面后的模拟结果

Fig.8 Simulation result with optimized addendum

4 优化后模具设计实例

根据优化后的型面数模,设计加工模具,根据CAE优化后的工艺参数,试模得到拉深件及产品件,如图9和10所示。实验试模结果基本与模拟仿真的结果吻合,零件成形良好,无暗伤开裂缺陷。

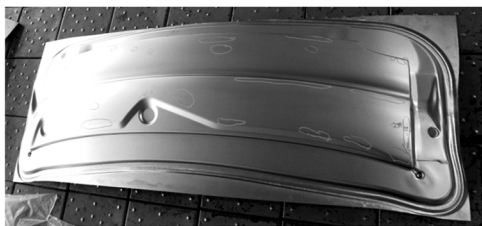


图9 拉深结果照片

Fig.9 Finished drawing part



图10 产品件

Fig.10 Final product

5 结论

针对前围外板,研究了复杂型面拉深模具的型面设计,通过CAE仿真,调整相应的工艺参数,并将优化的工艺参数应用于实际生产中,通过实际生产验证了优化设计的可行性、准确性。

1) CAE仿真能够预测覆盖件成形过程中存在的缺陷,CAE仿真与实际加工的结合可以更好地指导设计,减小模具调试时间,提高效率。

2) 优化后的拉深件型面是合理的,它改善了零件成形时的条件,使材料各处的变形趋向均匀,保证了坯料在拉深过程中不出现暗伤开裂缺陷,同时也方便了后续的修边及翻边等工艺的实施。

参考文献:

- [1] 赵柏森,韦光珍,张玉平.汽车侧围内板冲压成型技术仿真与应用[J].金属铸锻焊技术,2011,40(13):79—81.
ZHAO Bo-sen, WEI Guang-zhen, ZHANG Yu-ping. Simulation and Application of Forming Process for Side-frame Inner Panel[J]. Metal Forging Welding Technology, 2011, 40(13): 79—81.
- [2] 孙晓.基于ETA/DYNAFORM的某车型前围内板拉延模面优化设计[J].新技术新工艺,2013(7):79—84.
SUN Xiao. Optimal Design of Drawing Die Face for the Front Panel of a Light Truck Based on ETA/DYANFORM [J]. The New Technology and New Process, 2013(7): 79—84.
- [3] 王小明.我国汽车工业发展的现状及对策研究[J].重庆工商大学学报,2004(5):71—75.
WANG Xiao-ming. Research on Current Situation and Countermeasures of the Development of Automobile Industry in China[J]. Journal of Industrial and Commercial University of Chongqing, 2004(5): 71—75.
- [4] 倪昀,黄亚玲,章跃洪.基于DYNAFORM汽车覆盖件

- 冲压仿真分析[J]. 热加工工艺, 2011, 40(6): 109—111.
- NI Jun, HUANG Ya-ling, ZHANG Yue-hong. Analysis of Stamping Simulation of Automobile Based on DYNAFORM[J]. Heat Processing, 2011, 40(6): 109—111.
- [5] 卢险峰. 冷压成形技术本质特征[J]. 精密成形工程, 2013, 5(1): 85—88.
- LU Xian-feng. The Essential Characteristics of Cold Pressure Forming Technology[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2013, 5(1): 85—88.
- [6] 张袁, 陈文琳, 喻建军, 等. 铝合金板料冲压成形的模拟分析[J]. 精密成形工程, 2013, 5(3): 44—47.
- ZHANG Yuan, CHEN Wen-lin, YU Jian-jun, et al. Simulation Analysis of Aluminum Alloy Sheet Metal Stamping[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2013, 5(3): 44—47.
- [7] 徐迎强, 薛克敏, 周结魁, 等. 基于智能优化的汽车内板件回弹控制[J]. 塑性工程学报, 2011, 18(5): 64—69.
- XU Ying-qiang, XUE Ke-min, ZHOU Jie-kui, et al. Panel Springback Control Based on Intelligent Optimization[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2011, 18(5): 64—69.
- [8] 崔长齐, 林晨华, 闫绍国, 等. 变薄拉深成形过程中毛坯开裂的原因分析与预防[J]. 精密成形工程, 2013, 5(3): 77—81.
- CUI Chang-qi, LIN Chen-hua, YAN Shao-guo, et al. Cause Analysis and Prevention of Ironing Blank Cracking Process[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2013, 5(3): 77—81.
- [9] 杨天云, 张晴朗, 杨兵, 等. CAE在汽车座椅轻量化设计中的应用[J]. 精密成形工程, 2012, 4(1): 73—76.
- YANG Tian-yun, ZHANG Qing-lang, YANG Bing, et al. Application of CAE in the Lightweight Design of Car Seat[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2012, 4(1): 73—76.
- [10] 徐迎强, 薛克敏, 曹婷婷, 等. 汽车门槛内板零件冲压数值模拟及参数优化[J]. 精密成形工程, 2010, 2(3): 36—40.
- XU Ying-qiang, XUE Ke-min, CAO Ting-ting, et al. Auto Threshold in Numerical Simulation and Parameter Optimization of Sheet Metal Parts[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2010, 2(3): 36—40.
- [11] 高健, 魏宪波, 韦兴民, 等. 汽车左右后轮罩外板成形性分析及工艺设计[J]. 现代制造工程, 2013(8): 64—67.
- GAO Jian, WEI Xian-bo, WEI Xing-min, et al. The Car Left and Right Rear Wheel Cover Design Formability Analysis and Process the Outer Plate[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2013(8): 64—67.
- [12] 王玉国, 卫原平, 沈启. 覆盖件拉深模工艺补充部分和压料面设计[J]. 上海交通大学学报, 1999, 33(2): 184—187.
- WANG Yu-guo, WEI Yuan-ping, SHEN Qi, et al. Panel Drawing Die Addendum and Binder Surface Design[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 1999, 33(2): 184—187.
- [13] 韩宗斌. 汽车表面覆盖件常见冲压缺陷及处理措施[J]. 装备制造技术, 2012(8): 56—60.
- HANG Zong-bin. A Common Stamping Defects and Treatment Measures of Automobile Covering[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2012(8): 56—60.
- [14] 江东海. 汽车覆盖件拉伸站中起皱、拉裂、回弹的分析[J]. 民营科技, 2013(3): 24—29.
- JIANG Dong-hai. Analysis of Tensile Fracture, Wrinkling, Station of Springback of Automobile Covering[J]. Private Technology, 2013(3): 24—29.
- [15] 徐迎强, 薛克敏, 曹婷婷, 等. 汽车门槛内板零件冲压数值模拟及参数优化[J]. 精密成形工程, 2010, 2(3): 36—40.
- XU Ying-qiang, XUE Ke-min, CAO Ting-ting, et al. Auto Threshold in Numerical Simulation and Parameter Optimization of Sheet Metal Parts[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2010, 2(3): 36—40.
- [16] OUSA L C, CASTRO C F, ANTONIO C A C. Optimal Design of V and U Bending Processes Using Genetic Algorithms[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2002, 38(8): 45—49.
- [17] CHUNG J S, HWANG S M. Application of a Genetic Algorithm to Process Optimal Design in Non-Isothermal Metal Forming[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1998, 80—81: 136—143.
- [18] LIU Yu-qi. Quantitative for Springback of Unloading and Trimming in Sheet Metal Stamping Forming[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2013(16): 116—124.
- [19] ZHANG Yu-liang, LI Yi. Numerical Simulation and Analysis of Solid-liquid Two-phase Flow in Centrifugal Pump[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2013(1): 53—57.
- [20] YAO Rui, ZHU Wen-bai, HUANG Peng. Accuracy Analysis of Stewart Platform Based on Interval Analysis Method[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2013(3): 29—34.