

基于 AUTOFORM 的汽车前围横梁连接板的 数值分析与实验研究

徐迎强, 韩永志, 崔礼春

(安徽江淮汽车股份有限公司, 合肥 230601)

摘要: **目的** 分析汽车前围横梁连接板的冲压成形过程。**方法** 以板料成形非线性分析软件 AUTOFORM 为平台,对汽车前围横梁连接板的冲压成形过程进行 CAE 分析。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 14.6%,在 B340LA($t=1.0$ mm)材质减薄率安全范围内(16.9%),零件型面球化处角部无暗伤及拉裂,翻边处材料流动均匀,无开裂风险,成形结果得到大大改善。**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。最后将优化结果用于指导实际生产,得到了符合质量要求的零件。

关键词: 汽车前围横梁连接板;数值模拟;工艺补充;拉延成形

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2014.03.004

中图分类号: TG386

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2014)03-0015-05

Numerical Analysis and Experimental Study of Front Beam Connecting Part Based on AUTOFORM

XU Ying-qiang, HAN Yong-zhi, CUI Li-chun

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

ABSTRACT: **Objective** To analyze the stamping forming process of an front beam connecting part. **Methods** The stamping forming process of an front beam connecting part was numerically simulated based on blank stamping non-linear 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** Ultimately, the part material maximum thinning rate was 14.6%, within the range of B340LA ($t=1.0$ mm) material thinning rate (16.9%). Part surface ball and flange corners were free of cracking risk, and the defect in the forming process was eliminated. **Conclusion** Simulation could predict the defects of parts forming process, and help to optimize process parameters, and guide die design. Application of the optimized results to practical production resulted in eligible drawing parts.

KEY WORDS: front beam connecting part; numerical simulation; addendum; drawing forming

车身覆盖件尺寸较大、结构复杂,为空间曲面形状,用简单的数学解析很难表达,其加工过程涉及几

收稿日期: 2014-03-03

作者简介: 徐迎强(1987—),男,合肥人,硕士,工程师,主要研究方向为冲压工艺与仿真。

何、材料非线性和复杂的摩擦状态等问题。由于影响因素较多,因此无法精确控制材料的流动,较难找到变形规律,出现的质量问题较多^[1-6]。传统意义上的试模法造成大量资源浪费,已无法应对如今产品更新换代的短周期的要求,板料成形 CAE 使工艺设计人员可以在投产准备阶段,预估零件成形中可能出现的缺陷,如回弹、起皱及破裂等,并优化工艺参数,验证并指导后期的模具设计工作^[7-13]。

前围横梁连接板的成形工艺,由拉延(DR)、修边(TR)、翻边(FL)及整形(RST)等4道工序完成,其中DR是关键,它决定了TR、FL和RST等工序的内容及成形状态。文中针对汽车前围横梁连接板,用板料成形CAE软件AUTOFORM对其成形过程进行数值仿真,根据CAE分析结果对DR型面及工艺参数进行优化,消除零件制造过程中的暗伤及开裂的风险,减小模具开发周期,保证零件成形状态。

1 零件工艺性分析

汽车前围横梁连接板二维图如图1所示,零件材料为B340LA,材料厚度为1.0 mm,最大外观尺寸为268 mm×74 mm,型面较复杂,局部位置成形深度大,型面结构变化较大,变形规律难以掌握,易产生成形缺陷。

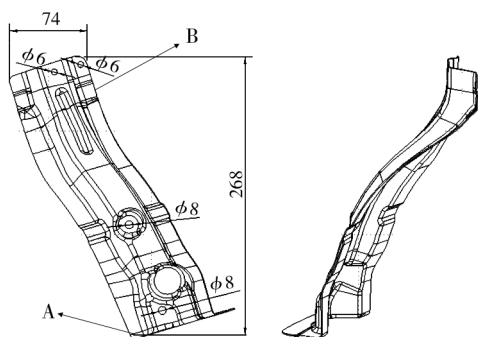


图1 汽车前围横梁连接板二维图

Fig. 1 Sketch of front beam connecting part

根据冲压件的成形工艺,针对零件冲压方向的设计、拉延压料面设计及后工序成形状态等内容,对汽车前围横梁连接板进行工艺方法设计^[14-15]。

图1在添加工艺补充面时,A处直面由后续FL工序完成,因此现沿翻边线圆角处展平;B处型面翘曲,增加其拉延深度,减小型面翘曲角度,后续通过

RST工序完成,这样会保证零件在该处的型面精度;随零件外轮廓增加压料面,并保证和数模实体之间有圆滑过渡,以及合适的圆角和型面光顺,保证DR成形顺利,完成后的工艺数模如图2所示。

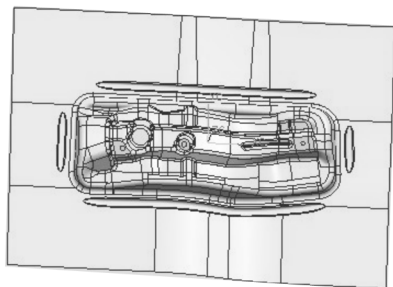


图2 工艺数模

Fig. 2 Diagram of process digital

2 参数设定与有限元建模

2.1 参数设定

汽车前围横梁连接板的材料为B340LA,坯料尺寸为420 mm×190 mm×1.0 mm,其材料的物理性能参数如表1所示。采用Hill屈服模型,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: x, y 分别表示轧制方向及横向; $\bar{\sigma}$ 为沿轧制方向的等效应力; r 为各向异性系数均值^[16-18]。

表1 材料的物理性能参数

Table 1 Mechanical properties of material

屈服 强度 /MPa	弹性 模量 /GPa	泊松 比	Barlat- Lian 指数	拉深 强度 /MPa	厚向异性系数		
					r_0	r_{45}	r_{90}
401.0	210	0.3	2	487	0.72	0.85	1.06

2.2 有限元建模

有限元模型如图3所示,拉延成形采用倒装结构,凸凹模及压边圈选为刚性结构,网格自适应重划分次数为3,时间步长为20,板材单元厚度方向积分分为5。采用等向强化板材模型,材料本构关系为^[19-20]:

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

式中: k 为与材料属性有关的常数($k > 0$); n 为硬化系数。



图3 模拟成形的有限元模型

Fig. 3 Model for FEM analysis

3 模拟结果分析与优化

3.1 结果分析

CAE 分析结果如图 4 所示。从图 4 中可以看出,在 A 处存在开裂风险,原因为该处材料的成形属于胀形成形,受到双向拉应力作用,且型面圆角小,变形较为集中,致周围材料流动不畅而开裂。将 A 处型面进行球化处理,使成形效果得到了改善,后续整形工序再将放大的球化型面整形回制件的要求。从图 4 中还可以看出,在 B 处翻边时,受翻边工具运动作用,受到双向拉应力,材料流向两侧,翻边开裂严重,为此 DR 工序工艺方法需优化。

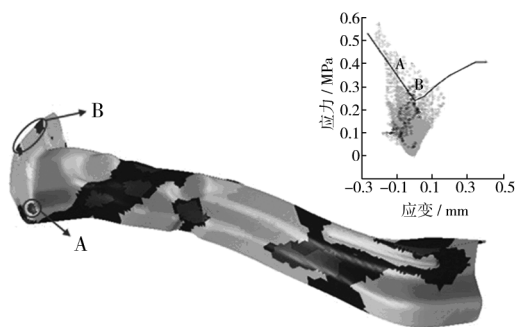


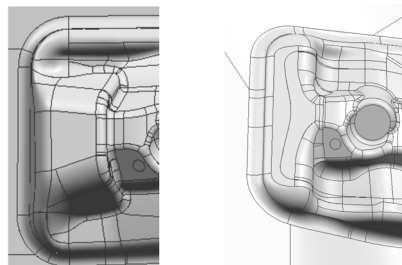
图4 成形极限

Fig. 4 Forming limit diagram

3.2 优化方案

由于采用原工艺方法进行 DR 成形,会产生多处开裂缺陷,因此对 DR 工艺方法进行调整。针对 B 处翻边开裂缺陷,将零件两侧翻边线提高,使翻边线成直线,消除两侧拉应力,使材料更易流动,消除该处的成形缺陷危险度。对 A 处型面进行球化处理,后续整形工序再将放大的球化型面整形回制件的要求,优化前后的模面如图 5 所示。根据以上结

果,在各工艺参数相同的情况下,利用新的 DR 型面对成形过程进行了 CAE 计算,结果如图 6 所示。从图 6 可以看出, A 处型面球化后,角部无暗伤及开裂,材料最大减薄率为 14.6%,在 B340LA ($t=1.0$ mm) 材质减薄率安全范围内 (16.9%); B 处无翻边开裂风险,材料流动均匀,成形结果得到很大改善。



a 优化前拉伸数模

b 优化后拉伸数模

图5 优化前后的工艺补充面

Fig. 5 Addendum before and after optimization

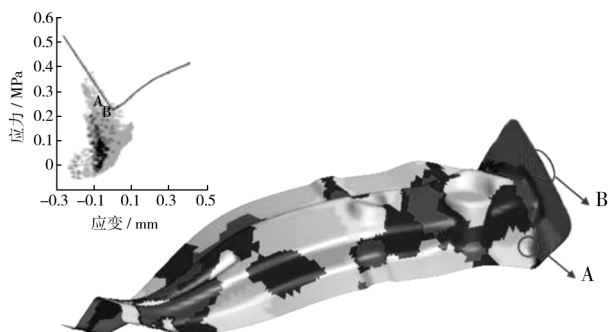


图6 优化工艺面后的模拟结果

Fig. 6 Simulation result with optimized addendum

4 物理验证

按照上述模拟结果,根据修改及优化的拉深件型面,重新设计加工制造模具,调试得到的实验结果如图 7 和 8 所示。零件成形良好,无暗伤与开裂缺陷。



图7 最终拉伸零件

Fig. 7 Finished drawing part



图8 最终产品

Fig. 8 Final product

5 结论

针对汽车前围横梁连接板,通过 CAE 分析,优化成形各工艺参数,并将优化结果应用于实际生产制造中,通过生产结果验证了 CAE 仿真的准确性及有效性。

1) CAE 仿真能够预测零件成形过程中存在的缺陷,CAE 分析与物理验证的结合可更好地指导模具设计工作,减小模具开发周期,保证零件成形状态。

2) 优化后的 DR 工艺方法是合理的,它改善了零件成形状态,使材料均匀一致,消除了坯料在制造过程中出现的多处开裂缺陷的风险,同时也支撑了后续的修边、翻边等工艺内容。

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-seng, 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 Netshape Forming Engineering, 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 Netshape Forming Engineering, 2013, 5(3): 44—47.
- [7] 徐迎强,薛克敏,周结魁,等. 基于智能优化的覆盖件回弹控制[J]. 塑性工程学报, 2011, 5(90): 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, 5(90): 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 Netshape Forming Engineering, 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 Netshape Forming Engineering, 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 Netshape Forming Engineering, 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 Jiaotong 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.
- HAN 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.

(上接第14页)

- [7] 杨明辉, 梁佰祥, 夏琴香, 等. 旋压技术分类及应用[J]. 机电工程技术, 2004, 33(11): 14—16.
- YANG Ming-hui, LIANG Bai-xiang, XIA Qin-xiang, et al. Classification and Application of Spinning Technology[J]. Mechanical and Electrical Engineering Technology, 2004, 33(11): 14—16.
- [8] MUSIC O, ALLWOOD J M, KAWAI K. A Review of the Mechanics of Metal Spinning[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2010, 210(1): 3—23.
- [9] KATHRYN J, JULIAN A. The Mechanics of Incremental Sheet Forming[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(3): 1158—1174.
- [10] 李峰, 初冠南, 刘晓晶. 铝合金圆环压缩过程中的分流行为[J]. 中国有色金属学报, 2009, 19(11): 1923—1927.
- LI Feng, CHU Guan-nan, LIU Xiao-jing. The Shunt Behavior in the Process of Aluminum Alloy Ring Compression[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2009, 19(11): 1923—1927.
- [11] 赵振铎, 邵明志, 张召铎, 等. 金属塑性成形中的摩擦与润滑[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- ZHAO ZHEN-duo, SHAO Ming-zhi, ZHANG Zhao-duo, et al. The Friction and Lubrication of Metal Plastic Forming[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [12] 许光明, 崔建忠. 金属成型过程中摩擦成因的分析[J]. 塑性工程学报, 2000, 7(4): 29—32.
- XU Guang-ming, CUI Jian-zhong. The Analysis of the Friction Causes in the Process of Metal Forming[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2000, 7(4): 29—32.
- [13] LEE B H, KEUM Y T, WAGONER R H. Modeling of the Friction Caused by Lubrication and Surface Roughness in Sheet Metal Forming[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 130: 60—63.
- [14] MORI K, ABE Y, OSAKADA K, et al. Plate Forging of Tailored Blanks Having Local Thickening for Deep Drawing of Square Cups[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2011, 211: 1569—1574.