

汽车复杂梁形件冲压成形及回弹数值模拟

刘晓晶, 刘 博, 陈晓晓, 潘强荣, 张彦燊

(哈尔滨理工大学 材料科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘 要: 回弹问题是影响高强钢板进一步应用的原因之一, 为了降低回弹影响, 通常可以通过设置合理的工艺参数的方法减小回弹. 以材料为高强钢的复杂型面汽车后边梁为例, 对成形过程进行数值模拟分析, 采用设置等效拉延筋及改变压边力大小的方法优化零件的成形结果, 并最终确定后边梁成形时的等效拉延筋位置分布、拉延筋阻力和压边力的大小. 利用计算出偏移最大的节点之间距离的方法对后边梁的回弹量进行测量. 采用局部增大拉延筋阻力以及减小压边力的方法, 对后边梁成形后所产生的卸载回弹及修边回弹进行控制, 等效拉延筋阻力与压边力进行合理配比使回弹减小到较小的范围. 最后将模拟所得到的结果与实验结果对比, 即零件回弹较小, 成形精度较高, 进而得出该回弹控制方法可用于指导实际生产的结论.

关键词: 板料成形; 数值模拟; 回弹; 拉延筋

DOI: 10.15938/j.jhust.2015.01.015

中图分类号: TG386 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2015)01-0075-05

Numerical Simulation on Stamping Forming and Springback of Complex Automobile Beam-shaped Part

LIU Xiao-jing, LIU Bo, CHEN Xiao-xiao, PAN Qiang-rong, ZHANG Yan-shen

(1. School of Material Science and Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China)

Abstract: As a serious problem, springback has restricted the industry application of high strength steel sheet to a large extent. For the sake of reducing springback influence, suitable process parameters are very crucial to reduce springback. Analyzing the forming process of back-beam with complex surface by numerical simulation, a method that is setting equivalent draw bead and BHF optimization was adopted to optimize forming results to determine location distribution of equivalent draw bead and size of draw bead resistance. The springback amount of back-beam is measured by the method of figuring out the distance between the node with the largest offset and the original node. The method of increasing locally drawbead resistance and decreasing BHF is adopted to control springback and trimming springback after back-beam forming, and match reasonably equivalent drawbead and BHF to make springback amount decrease to a small range. The part has a smaller springback amount and a higher forming precision through comparing the simulation results with the experimental results, the springback control method can be used to guide the practical production.

Key words: sheet forming; numerical simulation; springback; drawbead

收稿日期: 2014-03-25

基金项目: 黑龙江省教育厅 2012 年度面上项目(12521076)。

作者简介: 刘晓晶(1966—), 女, 博士, 教授, E-mail: lxj812@126.com;

刘 博(1989—), 男, 硕士研究生;

陈晓晓(1989—), 女, 硕士研究生。

0 引言

高强度钢板具有较高的屈服强度和抗拉强度^[1],符合汽车轻量化^[2-3]的发展需求,目前已逐渐应用于汽车覆盖件的生产.但高强度钢较高的屈服强度引起的回弹是高强钢汽车覆盖件冲压成形中的主要成形缺陷^[4].对回弹大小控制的准确性与否将严重影响冲压件的成形质量和尺寸精度^[5-6].高强钢冲压成形中的回弹控制是学术研究和工业生产中共同关注的热点问题^[7-10].目前,国内外学者进行了许多基于数值模拟技术的板材回弹问题的研究,主要是针对简单形状零件的回弹规律及控制方法的研究^[11-14],对三维立体复杂零件的回弹研究相对较少.本文基于有限元法^[15-16],对复杂型面汽车覆盖件进行成形及回弹研究,通过对成形工艺的优化,对复杂型面零件进行回弹的控制,从而得到成形质量及精度较高的汽车后边梁零件^[17-20].

1 有限元模型的建立

材料为先进高强度钢板 DP590^[21],板坯几何尺寸为 $1\,500\times 430\text{ mm}$,厚度为 1.8 mm ,材料参数如表1所示.板坯采用 Belytschko—Tsay 薄壳单元.毛坯与工具之间的接触类型为单面接触,材料模型采用弹塑性材料模型,符合 Barlat 屈服准则^[22].将后边梁曲面模型导入 Dynaform 软件,对后边梁曲面进行网格划分,网格采用自适应划分技术,最大自适应网格等级为3.板坯采用16号全积分壳单元公式,厚向积分点个数取7.板料成形模拟时,摩擦系数为0.125、压边圈闭合的最大虚拟速度设置 $3\,000\text{ mm/s}$ 、最大虚拟冲压速度设置为 $2\,000\text{ mm/s}$ 、模具间隙为 $1.1t$ 即 1.98 mm .后边梁有限元模型如图1所示.

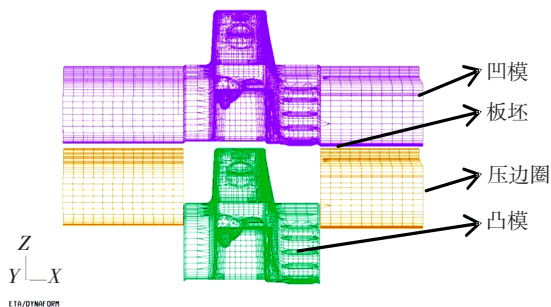


图1 后边梁的有限元模型

表1 DP590 性能参数

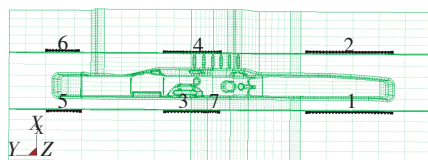
材料	密度	杨氏模量 E	泊松比 ν	硬化系数 k	应变硬化指数 n	塑性应变比 r
DP590	7.83	201200	0.3	995.47	0.154	1.02

2 成形过程有限元模拟及工艺改进

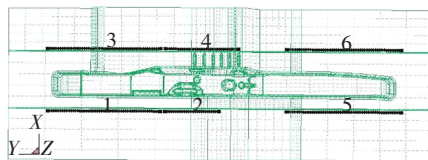
次将压边力设置为 $1\,800\text{ kN}$ 、 $1\,900\text{ kN}$ 、 $2\,000\text{ kN}$ 、 $2\,100\text{ kN}$ 进行运算,其他参数不变,后边梁模型在拉伸后都基本成形,没有发生拉裂,但是总体成形效果较差,由于材料失稳,所以导致出现了大片的起皱区域,同时存在许多没有得到充分拉深成形的区域.成形质量达不到工艺要求.后边梁成形模拟时,采用多组拉伸筋成形方案进行模拟得到的成形效果如表2所示.成形模拟应用的拉伸筋布置方案如图2所示.

表2 后边梁成形工艺

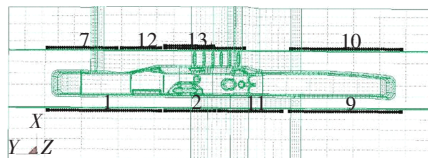
试验	压边力/(kN)	拉伸筋方案
1	1 200	A
2	1 900	B
3	1 900	C
4	1 900	D



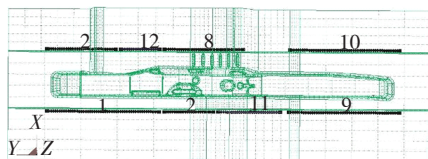
方案 A



方案 B



方案 C



方案 D

图2 拉伸筋位置分布

图 3 所示的成形极限对比图中直观的反映了每组工艺的成形效果和缺陷产生的位置. 由于在不采用拉延筋的情况下, 压边力增大至 2 100 kN 时 R_1 区的起皱现象仍然很严重, 第 1 组未充分拉延的两端按照方案 A 布置了拉延筋, 成形后虽然 R_1 区的起皱得到控制, 但是却出现了多处拉裂, 坯料整体的拉延程度也未得到改善; 第 2 组改变了拉延筋布置, 提高压边力降低拉延筋阻力进行模拟, 坯料得到了充分拉延, 并且消除了 R_1 区和 R_2 区的破裂; 第 3 组模拟调整拉延筋布置, 按照前几组成形效果重新分配拉延筋阻力, 坯料拉延非常充分, 只在 R_3 区仍然存在拉裂; 第 4 组对拉延筋布置进行微调, 拉裂和起皱得到完全消除.

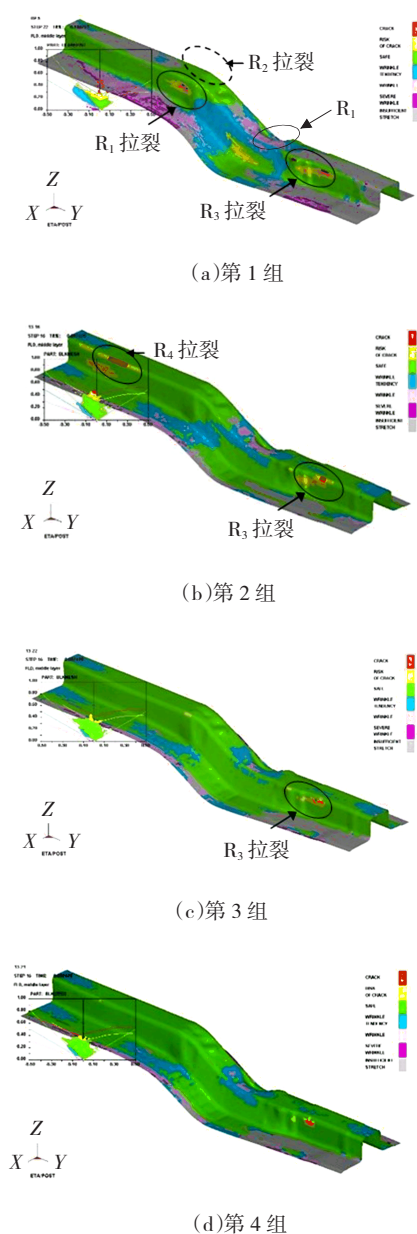


图 3 多组成形极限图对比

3 后边梁回弹过程有限元模拟及工艺优化

后边梁的最终回弹量为卸载回弹和修边回弹的综合结果, 将两次回弹最大偏移区域的节点坐标和回弹前的节点坐标进行对应, 计算区域内每一节点在修边回弹后的位移取其最大值, 即得到精确的后边梁最大回弹位移. 如图 4(a) 所示为卸载回弹、测得节点最大位移发生在后边梁下端的侧壁入料口处, 此处回弹造成的距离偏差达到了 4.1 mm. 图 4(b) 所示为修边回弹、测得节点位移最大偏移量仍然发生在下端部侧壁入料口处, 回弹量为 1.10 mm. 按照第 4 组的成形工艺, 后边梁的最大回弹位移约为 5.2 mm.

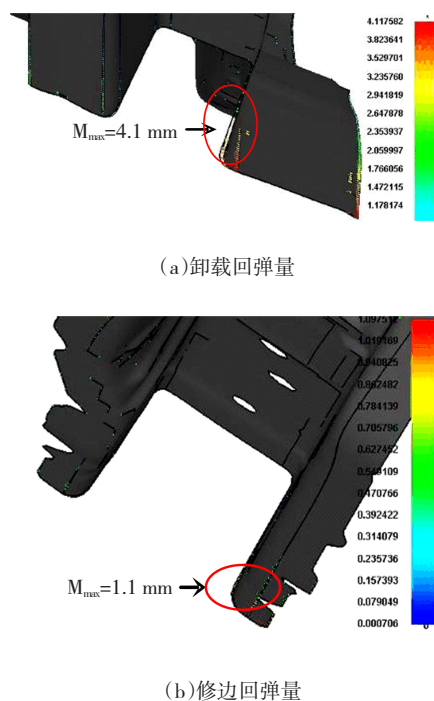


图 4 第 4 组成形回弹位最大位移

对于第 4 组的成形工艺, 由于拉延筋阻力和自身型面复杂对回弹的抑制作用, 后边梁中部的回弹并不突出, 但是在下端部的回弹量较大. 后边梁的下端接近 U 形梁的形状, 是与前纵梁等零件装配的接合处, 这一部位的回弹将引起严重的装配问题. 前面的成形结果表明, 增大后边梁下端部的拉延筋阻力, 将会导致 R_3 区的破裂. 为减小后边梁回弹, 采用降低压边力并细化拉延筋布置的措施对成形工艺进行优化. 拉延筋布置方案如图 5 所示. 第 2 次优化采用拉延阻力数据如表 4 所示.

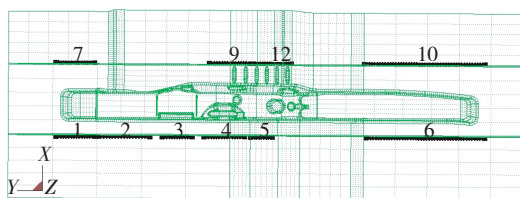


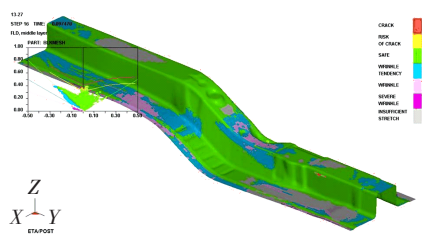
图5 工艺优化后拉延筋位置

表4 工艺优化的拉延阻力

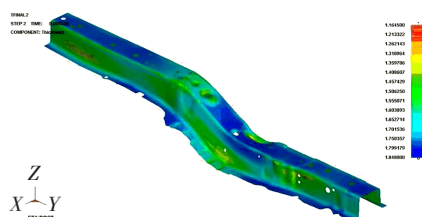
编号	1	2	3	4	5	6	7	9	10	12
阻力/N	400	325	325	325	250	400	450	750	450	450

本次工艺优化后,成形极限图如图6(a)所示,未出现起皱和拉裂缺陷,侧壁拉延充分,底边虽然存在未拉开区域,但并不影响后边梁的使用性能,符合成形要求.回弹计算得到的卸载回弹和修边回弹节点位移最大偏移量如图7所示.图6(b)为最终零件的厚度变化图,零件最薄厚度出现在R1区附近的胀形区,该区因胀形产生的厚度减薄属正常范畴.侧壁处的最小厚度大于1.31 mm,符合变薄率低于30%的要求.

经过优化后,后边梁两次回弹的最大节点位移都小于1 mm,且卸载回弹的最大位移偏移出现在了型面中间位置的边缘,该处属于余料部分,修边后剩余边缘的二次回弹量非常微小.修边回弹的最大位移偏移仍然出现在下端部侧壁入料口处,但此处的卸载回弹的局部节点最大位移不到0.4 mm,总回弹量得到有效控制,符合了2 mm 工程的装配要求.

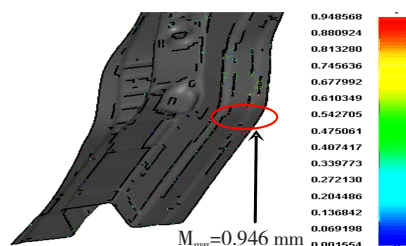


(a)成形极限图

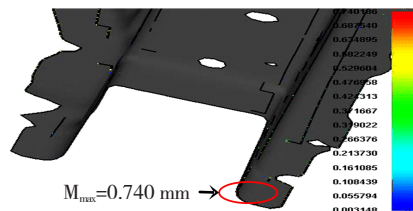


(b)厚度变化图

图6 工艺优化后的成形结果



(a)卸载回弹量



(b)修边加弹量

图7 工艺优化后的回弹最大位移

4 实验验证

采取工艺优化方案指导实际生产进行试模,经过切边和冲孔程序之后的模拟结果图与试模件的对比如图8所示,零件未有起皱和破裂缺陷,减薄率、未充分拉延区和起皱倾向区与模拟结果吻合,回弹量较小,实现了回弹的有效控制,验证了模拟结果的准确性.

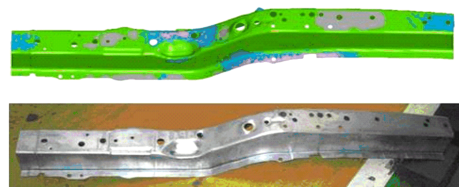


图8 试模件与模拟结果对比

5 结论

- 1) 针对复杂型面汽车后边梁零件,建立了有限元分析模型,进行了补充面及压边面的型面优化.
- 2) 在汽车后边梁模拟成形分析中,采用设置等效拉延筋及优化压边力的方法优化零件的成形结果,确定了后边梁的等效拉延筋位置分布及拉延筋阻力大小,得到了成形质量较好的后边梁零件.
- 3) 在回弹模拟分析中,确定了回弹模拟参数及回弹测量方法,通过采用局部增大拉延筋阻力以及减小压边力的方法,对回弹进行控制,等效拉延筋阻力与压边力进行合理配比使回弹减小到较小的

范围.

4) 将模拟卸载回弹及修边回弹的最大总回弹量由优化前的约 5.1 mm 优化至约 1.7 mm.

5) 采用优化工艺进行实验,得到了成形质量较高的汽车后边梁零件. 将模拟结果与实验结果对比,零件回弹较小,成形精度较高. 该回弹控制方法可用于指导实际生产.

参考文献:

- [1] 林建平,王立影,田浩彬,等. 超高强度钢板热冲压成形研究与进展 [J]. 热加工工艺,2008,37(21):140.
- [2] 汪文奇,陈菊霞. 车身材料及制造轻量化技术的应用及挑战 [J]. 汽车工艺与材料,2010,04:4-5.
- [3] 亚楠,温龙飞. 浅谈汽车材料的轻量化发展态势 [J]. 汽车工业研究,2007,3:33-35.
- [4] PAPELEUX L, GOHY S, COLLARD X etc. Springback Simulation in Sheet Metal Forming Using Implicit Algorithms [C]. NUMISHEET, France, 1999:13-17.
- [5] 蒋浩民,陈新平,石磊,等. 先进高强度钢板的冲压成形特性及其应用 [J]. 塑性工程学报,2009,16(4):183-184.
- [6] 刁可山,蒋浩民,曹猛,等. 基于 CAE 的 DP600 高强度零件回弹特征分析及控制 [J]. 锻压技术,2010,5(5):47-50.
- [7] 罗云华,王磊. 高强度钢板冲压回弹影响因素研究 [J]. 锻压技术,2009,34(1):23-26.
- [8] 石磊,肖华,陈军,等. 先进高强度钢板弯曲类回弹特性的试验研究 [J]. 材料科学与工艺,2009,17(5):672-679.
- [9] 刁可山,蒋浩民,曹猛,等. 基于 CAE 的 DP600 高强度零件回弹特征分析及控制 [J]. 2010,35(5):47-51.
- [10] 郭玉琴,姜虹,王小椿. 覆盖件冲压加工中回弹预测的研究 [J]. 机床与液压,2005,3:54-55.
- [11] 周杰,霍春梅,杨明. 差厚拼焊板 U 形件的回弹规律及控制的研究 [J]. 热加工工艺,2009,38(7):17-19.
- [12] LIU W, YANG Y Y. Multi-objective Optimization of an Auto Panel Drawing die Face Design by Mesh Morphing [J]. Computer-Aided Design,2007,39:863-869.
- [13] 林策,彭艳,孙建亮,等. 丁板形缺陷板料冲压变形及回弹仿真分析 [J]. 锻压技术,2012,37(6):175-179.
- [14] NINSHU MA, YASUYOSHI UMEZU, YUKO WATANABE, etc. Springback Prediction by Yoshida-umeori Model and Compensation of Tool Surface Using Jstamp [C] // Interlaken: NUMISHEET, 2008:473-478.
- [15] LUC PAPERLEUX, JEAN-PHILIPPE, PONTHOT. Finite Element Simulation of Springback in Sheet Metal Forming [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002,125-126:785-791.
- [16] GHAEI A, TAHERIZADEH A, GREEN D E. The Effect of Hardening Model on Springback Prediction for a Channel Draw Process [C]. Interlaken: NUMISHEET, 2008:485-489.
- [17] GAN WEI, WAGONER R H. Die Design Method for Sheet Springback [J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2004,(46):1097-1113.
- [18] 陈炜,陈红辉,谢俊,等. 基于回弹补偿的模具型面设计方法研究 [J]. 锻压技术,2008,33(6):86-90.
- [19] KUBLI WALDEMAR, KRASOVSKYY ANDRIY, SESTER MATTHIAS. Advanced Modeling of Reverse Loading Effects for Sheet Metal Forming Processes [C] // Interlaken: NUMISHEET, 2008:479-484.
- [20] BARTHEL C, SVENDSEN B. Parameter Identification for the Steel Ith800 and its Application to the Simulation of Draw-bending and Deep-drawing [C] // Interlaken: NUMISHEET, 2008:545-548.
- [21] 王金学. 高强度和高性能钢在国外的应用 [J]. 交通标准化,2008(9):121-123.
- [22] 俞汉清,陈金德. 金属塑性成形原理 [M]. 北京:机械工业出版社,1999:50-65.

(编辑:王 萍)