

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.03.017

压型工艺方案的 B 柱回弹补偿策略研究

丁顺风, 张胜利, 刘庆

(一汽模具(天津)有限公司, 天津 301509)

摘要: 由于 B 柱采用的是厚板料高强度钢, 压型工艺方案比拉延工艺方案的回弹大, 在回弹补偿策略上有一定的难度。针对某车型压型工艺方案的 B 柱回弹特点以及生产线特点, 应用 CAE 分析软件 AutoForm 进行全工序回弹分析, 制定用压型后回弹补偿自身、最终序回弹再补偿压型工序, 用最终序回弹来补偿整形序, 并对工序进行符型的回弹补偿策略。各序符型量控制在 2 mm 以内, 最终零件的回弹控制在 ± 0.5 mm 以内。

关键词: B 柱; 高强度钢; 回弹补偿; 压型; AutoForm

中图分类号: TG386 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2025)03-0087-03

Study on Springback Compensation Strategy of B-pillar with Forming Press Plan

DING Shunfeng, ZHANG Shengli, LIU Qing

(FAW Tooling Die (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin 301509, China)

Abstract: The B-pillar of passenger vehicle, made of high strength steel with thick sheet material, and with springback of forming process larger than that of the drawing process, has the difficulty in developing springback compensation strategy. This paper, based on the characteristics of B-pillar springback and production line of forming process of a certain vehicle model, analyzes the springback of all process by the CAE software of AutoForm, develops the strategies for springback post-forming to compensate oneself, the final sequence springback to recompensate the forming process, the final sequence springback to recompensate the restrike process, and all die to be nested. All die nesting is constrained within 2 mm, and the final parts springback is controlled within ± 0.5 mm.

Keywords: B-pillar; high strength steel; springback compensation; forming; AutoForm

0 引言

在乘用车侧面碰撞试验中^[1-3], B 柱是最重要的安全结构件之一, 在碰撞中既要起到吸能的作用还要起到保护车内人员的作用^[4]。因此在设计 B 柱时, 一般采用的都是厚板料的高强度钢。但是随着新能源汽车的发展, 轻量化已成为汽车产业的核心竞争力^[5-6], 更高抗拉强度的钢材也应用到 B 柱产品中^[7-8]。一般的 B 柱冲压工艺方案主要采用的是整体一次拉延^[9], 但是材料利用率不高。在成型过程中所涉及的既有几何非线性又有接触非线性和材料非线性^[10], 可以应用 AutoForm 有效、快速地分析零件的起皱开裂和回弹等问题^[11]。

1 B 柱的产品特点

如图 1 所示, 以某车型为例, B 柱产品外形有明显的特点: 从俯视图看, 冲孔较多且大多为侧冲孔, 工艺方案较为复杂。从侧视图看, 其有明显的弧形形状, 这种弧形会引起其成型过程中的起皱

风险, 成型后存在自然的“伸腰”回弹^[12], 即弧形形状向平直状态的回弹。



图 1 某车型 B 柱产品形状

从材料上看, B 柱使用的都是厚板料的高强度钢^[13]。本例中 B 柱料厚为 1.3 mm, 材质为 SPC590DU, 屈服强度为 332.9 MPa, 抗拉强度为 629.4 MPa, 硬化指数 n 为 0.202, 各向异性指数 r 为 0.920。

2 B 柱的冲压工艺方案

如图 2 所示, 本例中 B 柱采用 6 工序冲压生产的工艺方案: OP10 压型工序, 除局部法兰未压型到位外, 其余均压型到产品型; OP20 修冲废料; OP30 带废料整形法兰区域; OP40 翻边整形; OP50-OP60 修冲剩余废料。

第一作者简介: 丁顺风(1987—), 男, 工程师, 硕士, 研究方向为汽车覆盖件冲压成型工艺, shunfeng330@163.com。

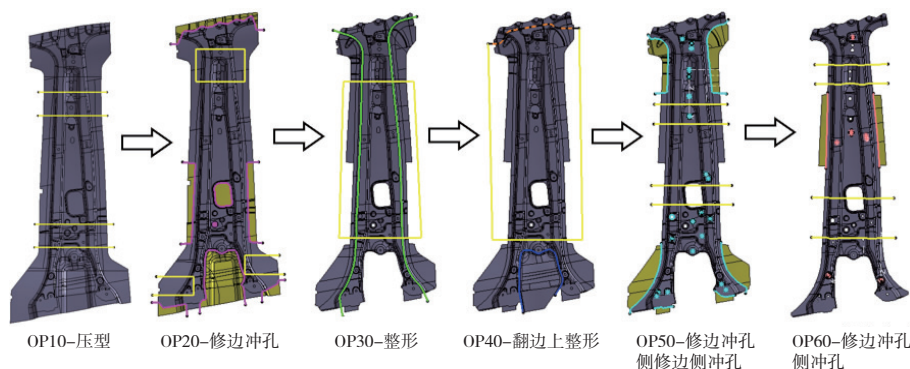


图2 B柱冲压工艺方案流程图

3 B柱的回弹补偿方案

3.1 全工序回弹分析

在分析回弹结果前,需要对模拟结果的可信度进行评估^[14]。本文以 AutoForm 为分析软件,

全工序分析结果 FLD 未有^[15]开裂风险,增量步均在 40 步以内,回弹结果可信,可以作为补偿依据。由于零件为厚板料高强钢,重力对零件的回弹影响较小^[16],因此可以将自由回弹作为补偿依据^[17]。其中各序自由回弹结果如图 3 所示。

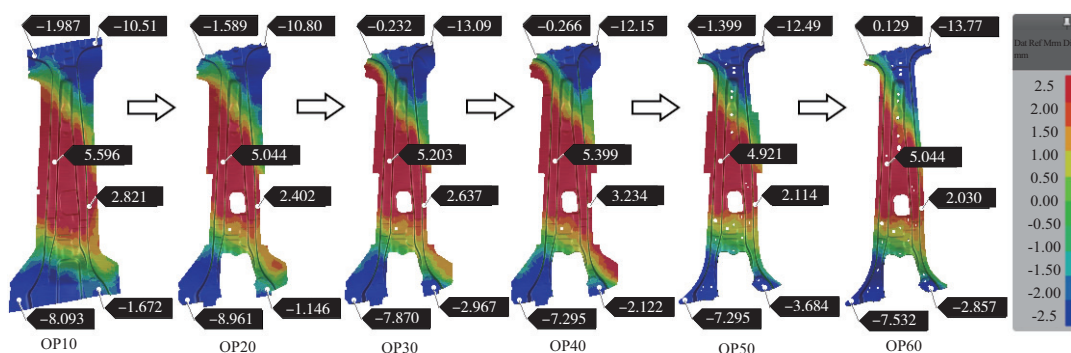


图3 各序自由回弹结果

3.2 回弹补偿策略

通过分析全工序的自由回弹,OP10 压型后的回弹对整体回弹起到决定性的影响,因此回弹补偿重点在 OP10 压型上进行。图 4 所示为本例的

回弹补偿策略:将压型后的回弹量补偿在 OP10,再将最终回弹量二次补偿在 OP10;最终序回弹量补偿 OP30,其余各序进行符型处理。

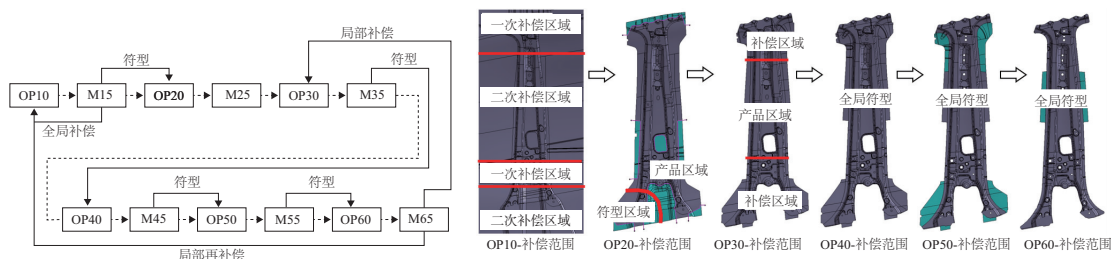


图4 回弹补偿策略流程图

3.3 回弹补偿有限元分析验证

根据 3.2 节的分析,对全序型面进行回弹补偿,并用 AutoForm 进行全工序计算^[18-20],补偿后

各序符型量控制在 2 mm 以内。补偿后各序自由回弹状态如图 5 所示。OP10 压型后的回弹已经接近产品尺寸,OP20 修冲后回弹值更小,经过

OP30、OP40 整形,整体自由回弹有变大趋势,但是经过 OP50、OP60 的修冲,回弹值又有所降低。最终零件在检具上的回弹状态如图 6 所示,关键

尺寸均在 ± 0.5 mm 以内,且大部分尺寸在 ± 0.3 mm 以内,满足了客户的质量要求;局部非搭接的尺寸在 1.0 mm 以内,满足装车需求。

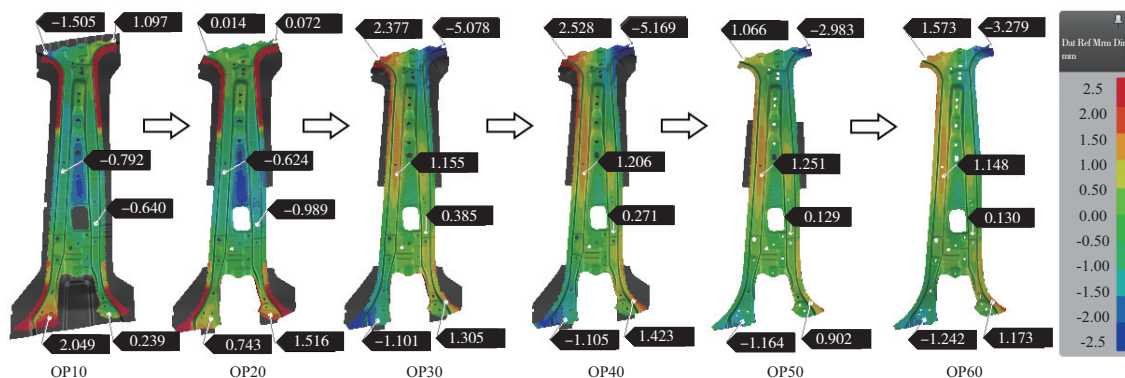


图 5 补偿后的全序自由回弹

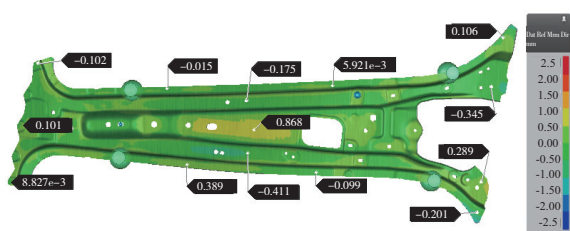


图 6 检具检测状态的回弹

4 现场出件验证

模具首次出件后零件在检具上的测量结果如图 7 所示,由于模具研合尚未结束,零件的着色状态较差,零件的两个端头还有 1~3 mm 的回弹量,其余部位回弹状态良好。模具经过精研后,零件回弹量已经控制在了 1.0 mm 以内,局部精度可达到 0.1 mm。模具经过一轮整改后,零件关键尺寸量均控制在 ± 0.5 mm 以内,非关键部位控制在 1.0 mm 以内,合格率达到 96%,满足了客户的发模要求,项目最终顺利交付,且在客户现场运行稳定。

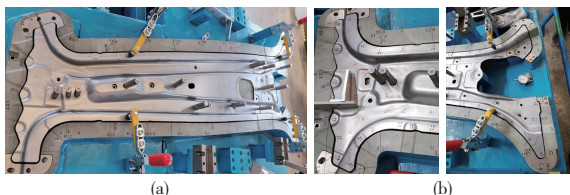


图 7 现场出件检具上测量

5 结语

本文详细介绍了 B 柱零件的产品特点和回弹特点,根据压型工艺方案的全工序回弹状态制定

了较为特殊的回弹补偿策略,即依据压型后的回弹进行第一次补偿,然后根据最终序的回弹结果对压型序的局部再次进行补偿;整形工序依据最终序回弹状态进行补偿;对所有修边序进行修型。

经过回弹补偿,零件关键尺寸均控制在 ± 0.5 mm 以内,非关键尺寸控制在 1.0 mm 以内;全序修型量控制在 2.0 mm 以内,从而满足生产的稳定性需求。经过一轮整改,零件合格率达到 96%,达到模具发运要求。

参考文献:

- [1] 刘兰兰,邱磊. 基于侧面碰撞安全性汽车 B 柱轻量化设计分析[J]. 机械设计与制造, 2025(4): 283-286, 293.
- [2] 梁在建. 汽车 B 柱内板冲压成型工艺分析及模具设计[J]. 汽车知识, 2024(12): 99-101.
- [3] 李银花,周林. 汽车 B 柱总成断裂失效分析[J]. 汽车知识, 2024, 24(06): 107-111.
- [4] 彭宇玲,郭献洲. 基于汽车侧面碰撞安全性 B 柱结构优化设计[J]. 机械设计与制造, 2020(4): 150-155.
- [5] 温蓉蓉. 新能源汽车轻量化技术及应用分析[J]. 内燃机与配件, 2025(7): 107-109.
- [6] 李先洲. 新能源汽车轻量化技术发展现状与展望[J]. 汽车文摘, 2025(3): 17-23.
- [7] 杜帅帅. 变厚板力学性能和组织分析及 B 柱热冲压工艺优化[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2024.
- [8] 孟庆刚,海超,郭晓静. 6 种高强钢材质的汽车 B 柱耐碰撞性能对比研究[J]. 汽车工艺与材料, 2021(8): 18-22.
- [9] 朱红萍. 汽车 B 柱内板冲压成型工艺分析及模具设计[J]. 模具技术, 2023(2): 26-33.
- [10] 吕少文,石光林,程金海,等. 高强度 B 柱的拉延回弹分析与补偿研究[J]. 装备制造技术, 2018(8): 130-132.

(下转第 95 页)

结构与工作原理,通过分析与仿真发现传统的控制方式造成了一定的动臂油缸的位置偏差。其次,针对位置偏差造成的不同步问题,本文基于PID原理设计了一种具有反馈环节的控制系統,通过PID控制向工作系統成比例进行压力输入,进而达到补偿作用。最后,以AMESim为手段搭建了一般控制与PID控制系統的仿真模型并进行了仿真分析。通过对仿真结果的数据对比分析,表明PID控制系統保持了轮式装载机举升机构各动臂油缸所需压力,提高了轮式装载机举升机构执行单元运行的同步性,具有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] 谢金晶,黄明辉,陆新江,等. 大型模锻压机驱动系統的分层控制策略[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014,45(5):1463-1468.
- [2] 田英,余阳,王兴波. 四柱式液压机双缸“串并联”同步控制结构研究[J]. 液压与气动,2021,45(1):20-26.
- [3] 周强,张东民,王磊,等. 含双重补偿的液压缸位置同步控制[J]. 液压与气动,2021,45(11):158-164.
- [4] 付莹,尚进新,韩立星,等. 铰接轮式装载机倾翻载荷的计算方法研究[J]. 建设机械技术与管理,2023,36(3):41-42,47.
- [5] 曹源文,宋梓豪,陈作. 多路况下轮式装载机行驶动力学研究[J]. 中国工程机械学报,2023,21(2):106-111.
- [6] 张荣辉,黄敏. 装载机铲装物料动态称重数据处理方法研究[J]. 机电工程,2021,38(11):1486-1493.
- [7] 吴娇,张玉平. FluidSIM 虚拟仿真在液压传动实验中的应用[J]. 内燃机与配件,2023(9):94-96.
- [8] 王志伟. 利用 FluidSIM 仿真功能诊断液压设备故障[J]. 设备管理与维修,2022(21):148-150.

- [9] 杨通培,陈溪奉. 采用 MATLAB 中的 SISO 工具设计 PID 控制系统[J]. 机械工程与自动化,2023(6):75-77.
- [10] 张惠强. 基于 MATLAB 的双馈风力发电机组动态特性分析[J]. 中国设备工程,2023(20):109-112.
- [11] 杨博宁. 基于模糊 PID 的电网高压电器柜自动控制研究[J]. 自动化应用,2025(7):52-54,57.
- [12] 朱硕. 基于 PID 控制的船舶航向控制系统研究[J]. 中国科技信息,2025(8):66-69.
- [13] 王智伟,张振萌,贾艳昊,等. 基于 Matlab/Simulink 仿真的轮式挂线机器人能耗分析及优化[J]. 山东科技大学学报(自然科学版),2023,42(5):97-107.
- [14] 徐兆山,何嘉乐,杨勇,等. 基于 Matlab 的细纱机中罗拉齿轮箱优化设计[J]. 纺织器材,2025,52(2):10-16.
- [15] 肖然,彭安黎,郑建锋,等. 基于 MATLAB 的薄板烘丝机料头控制改善方法[J]. 科技创新与应用,2025,15(9):151-155.
- [16] 董壮壮,王兆强,孙令涛,等. 基于 AMESim、MATLAB 与 LabVIEW 的联合仿真虚拟平台技术[J]. 软件导刊,2023,22(10):42-48.
- [17] 陈超,王刚,王力,等. 基于 AMESim 的新型成孔机动臂动态性能研究[J]. 机械制造与自动化,2022,51(6):147-150.
- [18] 吴昕键,魏永合,杨星,等. 基于 AMESim 的压力加油控制阀的性能研究[J]. 机械工程与自动化,2023(4):24-26.
- [19] 冯利军,赵静,葛晓峰. 基于 AMESim 双变量电静液作动系統仿真研究[J]. 机械工程与自动化,2025(2):63-64.

收稿日期:2023-12-12

(上接第 89 页)

- [11] 邵世超,谢峰. 基于 AutoForm 软件的汽车 B 柱加强板成形性及回弹分析[J]. 机械,2012,39(10):50-53,61.
- [12] 姚所宝. 汽车高强度钢板侧围件冲压回弹补偿方法探析[J]. 汽车测试报告,2025(1):70-72.
- [13] 李玉强,吴会平. 高强度钢扭曲回弹采用不同屈服准则的分析[J]. 锻造与冲压,2024(16):50-52.
- [14] 曹建华. 基于 AUTOFORM 的板料高强度钢零件回弹补偿研究及应用[J]. 内燃机与配件,2021(6):10-11.
- [15] 张恒,江庆顺,张玉成. 某车型高强度板纵梁回弹问题及整改措施[J]. 模具工业,2020,46(3):29-33.
- [16] 翟洪健,毕云军,刘俊杰,等. 基于 AutoForm 回弹补

偿研究[J]. 模具制造,2020,20(3):16-18.

- [17] 孔敏,胡伟,莫健华,等. 基于 AutoForm 的高强钢板成形件回弹分析与补偿收敛性研究[J]. 锻压技术,2019,44(9):172-179.
- [18] 邓勇宾,翟海峰,张利猛,等. 基于 AutoForm 的回弹补偿[J]. 模具技术,2017(2):50-53.
- [19] 辛国升,张永波. 基于 AutoForm R7 对顶盖后部外板成形性进行分析及回弹补偿研究[J]. 模具工业,2020,46(7):34-39.
- [20] 张胜利,丁顺风,刘庆,等. 基于 AutoForm 的汽车前地板回弹补偿分析[J]. 模具工业,2025,51(2):38-45.

收稿日期:2023-08-17