

汽车零部件成形专栏

汽车立柱加强板成形分析

姚毅^{1,2}, 孟正华², 雷雨²

(1. 泛亚汽车技术中心有限公司, 上海 201206;

2. 武汉理工大学 现代汽车零部件技术湖北省重点实验室, 武汉 430070)

摘要: **目的** 轻量化是汽车零部件设计的发展方向,汽车立柱因需要在碰撞中承受外力而变形,并为其他零件提供足够强度和刚度的安装点,一般都使用高强钢材料制造,以达到轻量化的要求。**方法** 对采用 DP590 高强钢制造的典型结构汽车 B 柱加强板进行了工艺分析,以提出高强钢立柱加强板零件的设计及成形工艺优化方案。通过 AutoForm 软件的板料仿真技术,对采用 590DP 高强钢的典型汽车 B 柱加强板的冲压工艺进行了数值模拟分析。**结果** 成功预测了板料成形过程中可能存在的起皱、开裂等问题。**结论** 分析结果为汽车立柱加强板冲压工艺提出了改进方案,实现了模具的设计及优化。

关键词: 立柱加强板; 高强钢; 成形工艺分析

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2014.03.001

中图分类号: TG386.41

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2014)03-0001-05

Forming Analysis of a Automotive Pillar Stiffener

YAO Yi^{1,2}, MENG Zheng-hua², LEI Yu²

(1. Pan Asia Technical Automotive Center Co., Ltd., Shanghai 201206, China;

2. Key Laboratory of Advanced Technology for Automotive Parts, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

ABSTRACT: **Objective** Lightweight is the future orientation of automobile parts design. Automotive pillar is usually made of high-strength steel material to meet the lightweight requirement because it is subjected to external force and deformation during collision and meanwhile provides the mounting points with sufficient strength and stiffness for other parts. **Methods** The forming process of a typical automotive B-pillar stiffener made of DP590 was analyzed, in order to propose optimized scheme for designing and forming of high-strength steel pillar stiffener parts. Based on Autoform simulation software, numerical simulation analysis was conducted for the stamping process of a typical automotive B-pillar stiffener made of DP590. **Results** The possible problems of wrinkling and cracking occurring in the forming process were successfully predicted. **Conclusion** The analysis results suggested improved scheme for the stamping process of automotive pillar stiffener and realized the design and optimization of die.

KEY WORDS: pillar stiffer; strength steel; forming process analysis

收稿日期: 2013-10-14

基金项目: 国家自然科学基金(51205298); 中央高校基本科研业务费专项资金(WUT: 2013-VII-021)

作者简介: 姚毅(1979—),男,武汉人,硕士,工程师,主要研究方向为汽车车身设计与制造技术。

通讯作者: 孟正华(1980—),男,湖北人,博士,副教授,主要研究方向为汽车零部件先进制造技术。

有研究表明,汽车 75% 的能耗都直接与车重相关,车重每减轻 10%,油耗便可降低 6%~8%^[1],因此轻量化已逐渐成为汽车发展追求的重要目标。为了实现汽车轻量化并且保证其碰撞安全性,可以在车身设计中采用高强度钢^[2]。高强度钢不仅能达到轻量化的效果,而且它还拥有抗碰撞性能好,耐腐蚀能力强的特点,但是由于其力学性能与普通低碳钢有较大差异,因此零件在成形时,易产生起皱、破裂、回弹等相关缺陷^[3-4]。现代汽车零部件结构变得复杂多样化,质量要求也相应提高,机械冲压成形问题也随之更加复杂^[5]。传统生产方法中,试制模具然后对冲压条件进行反复修正,不仅模具制造周期长、成本高,而且产品质量亦无法完全保证^[6]。随着 CAE 技术的不断进步,更多企业在产品工艺设计方案的可行性验证中利用了 CAE 模拟软件^[7]。有限元模拟仿真不仅能分析成形缺陷、优化工艺参数,还能指导实际生产,因此在成形加工中发挥着十分重要的作用^[8-9]。在产品的设计时,毛坯计算、成形性分析和工艺方案优化都可以用 CAE 分析来完成,CAE 已成为了提高模具设计水平的关键技术^[10-11]。AutoForm 是专门针对汽车工业和金属成形领域的板料成形问题而开发的数值模拟软件,其重点是解决零件的可制造性、模具设计和可视化调试等问题^[12-13]。汽车立柱因需要在碰撞中承担外力而变形,并为其他零件提供足够强度和刚度的安装点,一般都使用前述的高强钢材料来进行制造,其在不增加材料厚度的前提下能提供足够的强度和刚度,以达到轻量化的需求。汽车立柱加强板在加工成形过程中,需经过落料、拉延、修边、冲孔等多道工序,其中拉延为小应变大变形,涉及材料非线性、几何非线性及边界接触非线性问题,是该零件成形的难点。本文分析了汽车立柱加强板冲压工艺,利用 AutoForm 软件进行数值模拟,预测模具设计和工艺方案的可行性,避免了在实际模具设计、加工及调试阶段的设计变更问题。

1 工艺分析及模拟

1.1 零件工艺分析

汽车 B 柱在车身中不仅要保证在承受一定撞

击时,不能过多地侵入乘员舱空间,并保证前车门在碰撞后仍能正常开启,同时也需要有足够的刚度和强度,以满足作为前车门锁扣、后车门铰链和前排安全带卷收器的安装部位的使用要求。典型的汽车 B 柱一般由 B 柱外板、B 柱加强板(也称 B 柱内板)焊接组合而成。其中,B 柱加强板承担着更多的抗撞击变形和安装点耐久要求,在材料设计上通常使用高强钢,并在结构设计上要和 B 柱外板组成一定截面的空腔体,才能满足日益苛刻的碰撞和耐久要求。文中所建模型是目前各主机厂主流设计的汽车 B 柱内板结构形式,有很强的典型性,但又不局限于某个具体车型,其研究具备一定的代表性和较强的参考价值。如图 1 所示,在 Pro/E 中建立了典型结构的汽车 B 柱加强板的三维模型,其所用钢板材料厚度为 1.8 mm,材质为上海宝钢生产的高强度钢 DP 590。

由图 1 可知,B 柱形状较为复杂,主要采用拉延工艺。在拉延成形中,金属坯料上的成形情况由于复杂的曲面结构而变得难以预测,容易导致起皱或者产生破裂,所以在成形过程中,如何使材料流动均匀以提高工件质量是难点。由工件形状可知,两端头的台阶深度较深,中间凸台较高,形状变化剧烈,成形时容易开裂,并且其一端有大平面存在,成形时容易起皱。在工艺设计中,最为关键的是压料面的位置及形状,压料面的位置决定了各部位拉延深度,而压料面的倾角、曲面构成及平滑度决定了材料的塑性流动情况。根据该 B 柱两侧切边位置在法兰上的工艺要求,选择压料面位置和法兰一致。由于零件台阶处拉延深度较深,台阶分布在产品内侧,造成了进料困难,所以需添加工艺补充面。另外为了避免拉深开裂,需采用大圆弧过渡。坯料如图 2 所示。冲压方向绕 X 轴转 10°,直接以法兰边作压料面,分模线如图 3 所示。

1.2 有限元建模

该 B 柱材料采用上海宝钢生产的 HC340/590DP 高强度钢,坯料厚度为 1.8 mm。HC340/590DP 钢的化学成分(熔炼分析)中: $C \leq 0.15\%$, $Mn \leq 2.50\%$, $P \leq 0.040\%$, $Si \leq 0.60\%$, $S \leq 0.015\%$, $Al \geq 0.010\%$ (质量分数)。其材料性能参数为:屈服强度为 410 MPa,抗拉强度为 590 MPa,屈强比为 0.695,伸长率 $\delta = 22.4\%$,塑性应变比 $r = 1.02$,应变

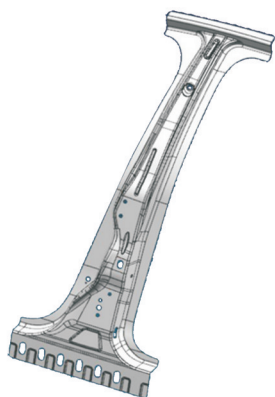


图1 汽车B柱三维模型

Fig. 1 3D model of B-pillar stiffener



图2 坯料模型

Fig. 2 Blank model

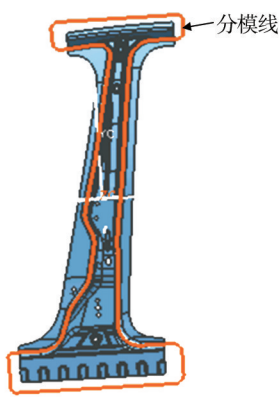


图3 分模线

Fig. 3 Parting line

硬化指数 $n=0.154$ 。材料的塑性变形为平面内各向同性,厚度方向上各向异性。

在选择好材料模型后,设置设备类型为单动冲压方式。零件网格划分好之后,对网格进行检查修补。相关模拟参数设置为:

Blank Holding Force : 100 (Ton),

Blank Holding Stroke : 80 (mm),

Friction Coefficient : 0.15。

1.3 有限元模拟

根据有限元分析,合理的模面设计可以保证产品设计的合理性,另外通过优化坯料尺寸及拉延筋数量和位置布置,可以保证零件的成形性。模拟过程如图4所示。

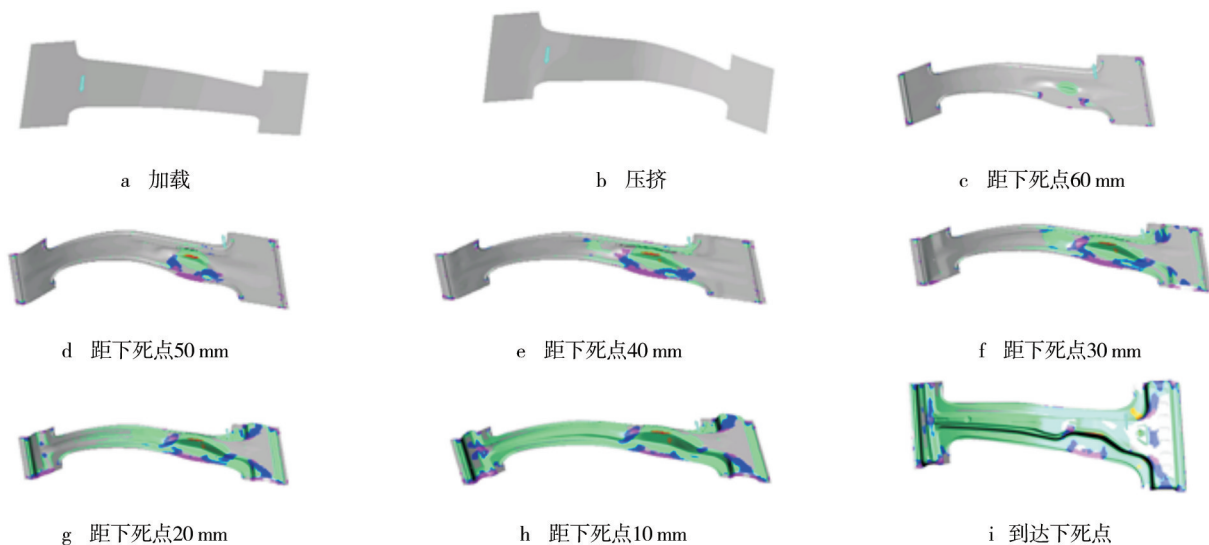


图4 B柱加强板 AutoForm 模拟过程示意

Fig. 4 AutoForm simulation diagrams of B-pillar stiffener

2 结果分析

总体模拟结果如图5所示。成形效果与主要预测的成形问题如图6所示。该模拟存在局部变薄,

存在严重开裂危险的问题,见图7,其中图7a,c为局部结构示意图,图7b,d为对应的危险区域放大云图。

由成形性分析结果来看,存在局部开裂和起皱的问题,局部开裂区域为凹模的凸缘部分和直壁处,

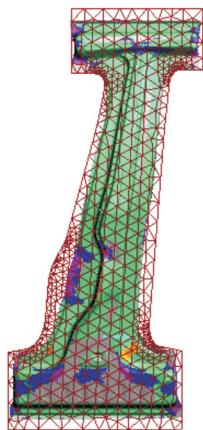


图 5 总体模拟结果

Fig.5 Overall simulation results



图 6 成形效果与主要预测的成形问题

Fig.6 Forming effect and the main prediction problems in forming

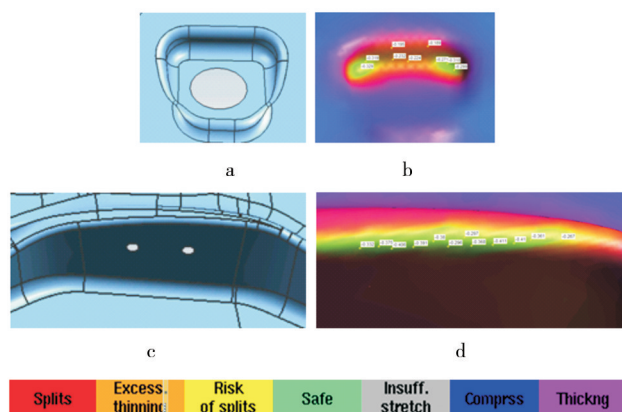


图 7 局部变薄示意图

Fig.7 Local thinning

凸缘圆角区域的材料流动困难,而直壁部分由于有较大的拉应力,所以容易在该区域导致拉裂。起皱

区域处于凹模顶部与平面部分的连接处,板料变形过程中,径向拉伸,切向压缩,而且切向变形大于径向变形,故产生起皱。对危险区域的壁厚分布进行测量,发现最大减薄量的点的减薄率均超过了30%。根据实际经验,当壁厚减薄量小于30%,壁厚增厚小于5%,都是安全可行的,所以要通过局部的工艺改进来消除和调整。主要失稳区域如图8所示。

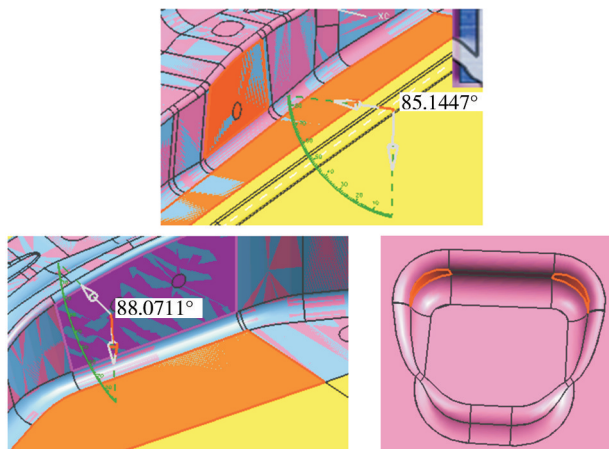


图 8 工件失稳区域

Fig.8 Artifacts instability area

图8所示的两侧壁拔模角度太小,成形时容易开裂且很难做回弹。

为了解决此问题,将拔模角度修改至 7° 以上,同时加大凹模口圆角,经重新模拟分析后满足成形要求。这说明凸凹模间隙对加强板局部最小厚度有较大的影响,凸凹模间隙越小,则拉深后的加强板局部厚度越小,并且越容易引起工件破裂。按产品修改方案经重新修模及试制,产品可成功制出,表明修改方案合理,目前已成功进行生产。

3 结论

通过 AutoForm 软件的板料仿真技术,对采用 590DP 高强钢的典型汽车 B 柱加强板的冲压工艺进行了数值模拟分析,预测了板料成形过程中可能存在的起皱、开裂等问题。分析得出,为了保证拉延深度及材料充分变形,需根据零件特点来确定合适的压料面,对于容易出现起皱和破裂的区域,要加大拔模角度。另外凸凹模间隙对加强板局部最小厚度有较大的影响,凸凹模间隙越小,则拉深后的加强板

局部厚度越小,并且越容易引起工件破裂。从而可以在模具制造前及时地修改冲压工艺方案,实现了模具的设计及优化,能有效地解决模拟后模具的形状参数化调整的问题。

参考文献:

- [1] 朱平,张宇,葛龙. 基于正面碰撞性仿真的轿车车身材料轻量化研究[J]. 机械工程学报,2005,41(9):207—211.
ZHU Ping, ZHANG Yu, GE Long. Research on Light-weight of Auto-body Material Based on Crashworthiness Simulation[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2005, 41(9): 207—211.
- [2] 张燕瑰,邓劲松,魏宪波,等. 高强度钢性能及其在车身中的应用[J]. 精密成形工程,2013,5(4):64—68.
ZHANG Yan-gui, DENG Jin-song, WEI Xian-bo. A Study on Performance of High Strength Steel and Application in Bodywork[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2013, 5(4): 64—68.
- [3] 徐珂,李萍,张超,等. 双相钢冲压成形应变变路径影响规律研究[J]. 精密成形工程,2012,4(3):60—63.
XU Ke, LI Ping, ZHANG Chao, et al. Study on Parameters' Effect on Strain Paths of Stamping Forming Process of Dual-phase Sheet Steel[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2012, 4(3): 60—63.
- [4] 张超,李萍,曹婷婷,等. 汽车后座椅横梁冲压成形过程的数值模拟[J]. 精密成形工程,2010,2(3):27—31.
ZHANG Chao, LI Ping, CAO Ting-ting. Numerical Simulation of the Stamping Forming Process of Automotive Rear Seat Beam[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2010, 2(3): 27—31.
- [5] 胡庆夕,朱永明,杨晶,等. 汽车覆盖件冲压成形仿真的研究及其工程应用[J]. 机械设计与制造,2009,37(2):88—90.
HU Qing-xi, ZHU Yong-ming, YANG Jing. Research and Application of Sheet Metal Forming Simulation for Auto-body panel[J]. Machinery Design & Manufacture, 2009, 37(2): 88—90.
- [6] 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. Numerical Simulating and Parameter Optimizing of the Stamping Forming Process of Auto Doorsill's Inner Panels[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2010, 2(3): 36—40.
- [7] 苏睿,柳玉起,杜亭,等. 汽车覆盖件成形工艺参数多方案管理系统[J]. 精密成形工程,2011,3(6):75—79.
SU Rui, LIU Yu-qi, DU Ting. The Multi-solutions of Process Parameters Manage System for Automobile Panel Forming Process[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2011, 3(6): 75—79.
- [8] WANG Chuan-Tao, KINZELB Gary, ALTANB Taylan. Failure and Wrinkling Criteria and Mathematical Modeling of Shrink and Stretch Flanging Operations in Sheet-metal Forming[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1995, 53: 759—780.
- [9] GUO Y Q, BATOZ J L, DETRAUX J M. Finite Element Procedures for Strain Estimations of Sheet Metal Forming Parts[J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 1990, 30: 1385—1401.
- [10] XU Feng, LI Zhong-qin, LI Shu-hui, et al. Study on the Influences of Geometrical Parameters on the Formability of Stretch Curved Flanging by Numerical Simulation[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 145: 93—98.
- [11] 谢家乐,钟文,柳玉起,等. 基于 Pro/E 平台的参数化板料冲压成形模拟系统的研究[J]. 精密成形工程,2011,3(6):52—56.
XIE Jia-le, ZHONG Wen, LIU Yu-qi. Research on Parametric Simulation Based on Pro/E for Sheet Metal Stamping[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2011, 3(6): 52—56.
- [12] 陈文亮. 板料成形 CAE 分析教程[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
CHEN Wen-liang. Metal Forming CAE Analysis Tutorial [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2005.
- [13] 徐金波,董湘怀. 基于有限元分析的汽车覆盖件模具设计及优化[J]. 锻压技术,2004(1):63—67.
XU Jin-bo, DONG Xiang-huai. Design and Optimization of the Process and Dies for the Automobile Body Panel Based on Finite Element Analysis[J]. Forging & Stamping Technology, 2004(1): 63—67.