

左前门防撞梁冲压成形数值模拟研究

徐珂, 李萍, 曹婷婷, 薛克敏

(合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009)

摘要: 采用数值模拟技术可以在模具设计初期预测产品的成形质量, 从而优化工艺参数以便获得高质量的成品。以 eta/ DYNIFORM 有限元分析软件为平台, 对某轿车左前门防撞梁不同工艺参数下的拉伸成形过程进行了数值模拟, 得出了相应的成形极限图。重点探讨了压边力和拉伸筋的设置对起皱和未充分拉深区域的影响, 得出了较好的解决方案。

关键词: 覆盖件; 数值模拟; 拉伸成形; 拉伸筋

中图分类号: TG386.3⁺2 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2010)04-0060-04

Numerical Simulating of the Stamping Forming Process of Auto Left-front Door's Anti-collision Beam

XU Ke, LI Ping, CAO Ting-ting, XUE Ke-min

(School of Materials Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: It's difficult to control the quality of stampings of automobile panels. Therefore, the prediction of quality is extremely important in sheet metal forming. Numerical simulation is applied to check part geometry at an early stage of design, as well as to optimize the process parameters for a safe production, especially in the automotive industry. In this study the numerical simulation is based on eta/DYNIFORM finite element analysis (FEA) software. The model is employed to predict the strain forming limit diagrams of anti-collision beam for a car's left-front door by setting different process parameters of the forming process. An effective scheme of changing blank holder force and the setting of drawbead to optimize stamping quality is put forward, by minimizing the risk of wrinkles and inadequate stretch areas.

Key words: automobile panel; numerical simulation; stamping forming; drawbead

在制造业特别是汽车行业中, 板料成形占据着非常重要的地位。其中, 汽车覆盖件是最复杂的冲压件, 属于薄板型冲压件, 质量要求比较高, 不能出现任何拉裂或者起皱现象^[1]。由于这类零件一般尺寸较大, 形状复杂以致成形工艺复杂, 往往需要多步工序成形, 因此给成形特别是拉深成形带来了很多的困难。以往的汽车覆盖件成形工艺设计, 一般需要参考现有的零件成形工艺资料, 通过分析零件的

工艺性和成形性得到初步的工艺方案, 然后通过试冲不断修改完善, 以形成最终工艺方案, 但是这种方法不仅生产周期长, 成本高, 而且对工人的技术水平和设计经验有很高的要求^[2-4]。

近年来, 随着有限元分析方法, 计算机技术及计算机软硬件水平的迅猛发展, 覆盖件冲压数值模拟技术逐渐成熟, 国内的各大汽车厂商纷纷将 CAE 模拟分析作为产品设计与制造中不可缺少的工艺规范加

收稿日期: 2010-04-24

作者简介: 徐珂(1987—), 男, 山东泰安人, 在读研究生, 主要研究方向为精密塑性成形新技术新工艺。

以实施^[2,5]。通过模拟,可以分析不同材料及工艺参数对拉伸成形的影响,预测可能发生的缺陷,并以此为依据,得到满足成形性要求的最佳工艺参数。

左前门防撞梁尺寸较大,其成形过程需要经过拉伸、修边、冲孔、整形等多道工序。拉伸成形是覆盖件成形的关键和难点,拉伸成形质量直接关系到整个零件的成形质量^[6]。该覆盖件在实际生产中局部起皱,变薄现象严重,经大量冲试和修模后仍有一定的废品率。文中针对左前门防撞梁的拉伸工序进行数值模拟,分析了不同工艺参数对成形结果的影响,并通过控制压边力,设置拉伸筋,改变润滑条件等工艺参数的方法,基本消除了零件拉伸工序中出现的缺陷。

1 数值模拟关键技术的处理

1.1 求解软件算法的选择

文中采用 DYNIFORM 软件进行数值模拟分析,该软件利用 LS-DYNA 求解器对建立的有限元模型进行动态显式积分求解。与静态隐式算法相比,动态显式算法无须构造刚度矩阵,不需迭代计算即可求解,对硬件的要求也低于静态隐式算法,但是对时间步长有严格的限制。在实际计算中一般认为的提高工具运动速度(远大于实际冲压速度),可使一个计算步中工具能有较大的位移。过大的虚拟速度会导致虚拟惯性力较大,有时会产生不符合实际的模拟结果^[7-8]。文中江淮左前门防撞梁零件基本上为对称件,且分模面为平面,因此不考虑系统的虚拟惯性作用。

1.2 有限元网格的建立

文中覆盖件的几何模型在 UG 中建立,然后以 IGES 格式导入 DYNIFORM 软件中进行前处理操作。采用 Belytschko-Tsay(BT)壳单元对几何模型进行离散化,首先建立初步的网格模型,然后运用软件自带的修补工具检查内角和翘曲角等网格参数,最终得到合理的网格模型。BT 壳单元有较高的计算精度和效率,适合于结合动力显示算法对覆盖件拉伸过程进行数值模拟。建立的覆盖件有限元网格模型如图 1 所示,偏置生成各个工具网格如图 2 所示。

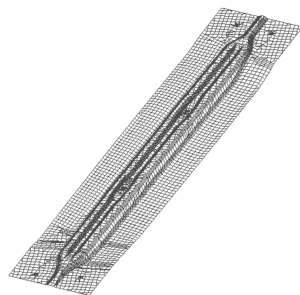


图 1 覆盖件有限元网格

Fig. 1 Finite element models of the anti-collision beam

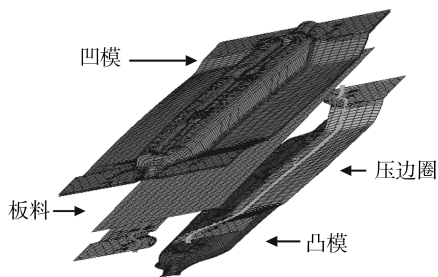


图 2 各工具网格

Fig. 2 Finite element models of tools

1.3 材料模型选用

有限元模拟的准确性受材料模型的影响。按照材料的本构关系,有限元模拟时材料模型可以选择刚塑性模型、弹塑性模型等。在板料成形的有限元模拟过程中,采用刚塑性材料模型模拟计算量远远小于采用弹塑性材料模型。由于刚塑性材料模型忽略了材料的弹性变形,不能用于回弹、残余应力的预测,因此采用弹塑性材料模型的有限元模拟较符合板料成形的真实情况。

由于板料的各项异性对拉伸成形中的起皱现象有严重作用,因此对于经轧制的板料,在拉伸成形有限元模拟时需考虑其各项异性。文中材料模型采用 HILL 厚向异性屈服准则^[9],数值模拟选用的材料为 JSC590R,板厚为 2 mm,材料的物理性能参数见表 1。

表 1 材料物理性能参数

Table 1 Mechanical properties of material

杨氏模量 /GPa	屈服强度 /MPa	极限强度 /MPa	厚向异 性系数	硬化 系数	应变硬化 指数
207	450	850	0.944	943.9	0.152

1.4 拉延筋的处理

覆盖件拉延成形中,往往通过设置拉延筋来改善材料流动状况,从而提高板料的成形性能。拉延筋可以使用真实拉延筋,也可以设置等效拉延筋。真实拉延筋能更好的反应实际生产中拉延筋部位的流动阻力状态,但真实拉延筋需要额外的建模以及网格处理,较等效拉延筋的处理复杂,影响计算效率且不容易对其修改。

文中采用等效拉延筋,这种方法不用对拉延筋进行模型的构造,只需要在相应的网格节点上设置代表拉延筋的线并施加单位长度上的流动阻力来模拟真实拉延筋^[10-11]。拉延筋设置如图3所示(设置2条拉延筋,参数一致)。

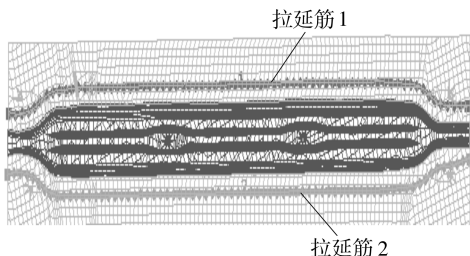


图3 拉延筋位置

Fig. 3 Arrangement of drawbead

2 防撞梁拉延成形数值模拟

文中模拟左前门防撞梁的第1道工序(拉延成

形)。用LS-DYNA对有限元模型求解得到零件拉延后的变形情况、厚度变化、成形极限图等。通过改变压边力、拉延筋设置、板坯尺寸形状等工艺参数,可以获得不同工艺参数下防撞梁零件的成形状况,从而研究不同工艺参数对零件成形结果的影响。为了明确不同工艺参数对零件成形过程及结果的影响,保持初始模拟参数以及材料性能不变,采用倒装单动反拉延。考虑实际摩擦条件后,各工具与板坯间摩擦参数取0.125,通过分析成形极限图和厚度分布图研究单独改变压边力,拉延筋阻流状态,板坯尺寸对拉延结果的影响。

2.1 拉延筋设置对成形的影响

模拟的初始参数保持不变,拉延时压边采用固定间隙控制,凹模与压边圈间隙取1.1倍的板厚即2.2 mm。拉延筋采用等效拉延筋,由于压边后压边圈与凹模间隙保持不变,因此采用设置完全拉延筋阻力来模拟,通过改变拉延筋的阻力系数来改变拉延筋的对板坯的阻流状态。完全锁定拉延筋阻力根据以下经验公式计算

$$F = K * n^n * t$$

式中: K 为材料硬化系数; n 为应变硬化指数; t 为板坯的厚度。

采用不同的拉延筋阻力系数进行模拟(按比例改变单位长度拉延筋的阻力),获得的模拟结果及成形极限如图4所示。

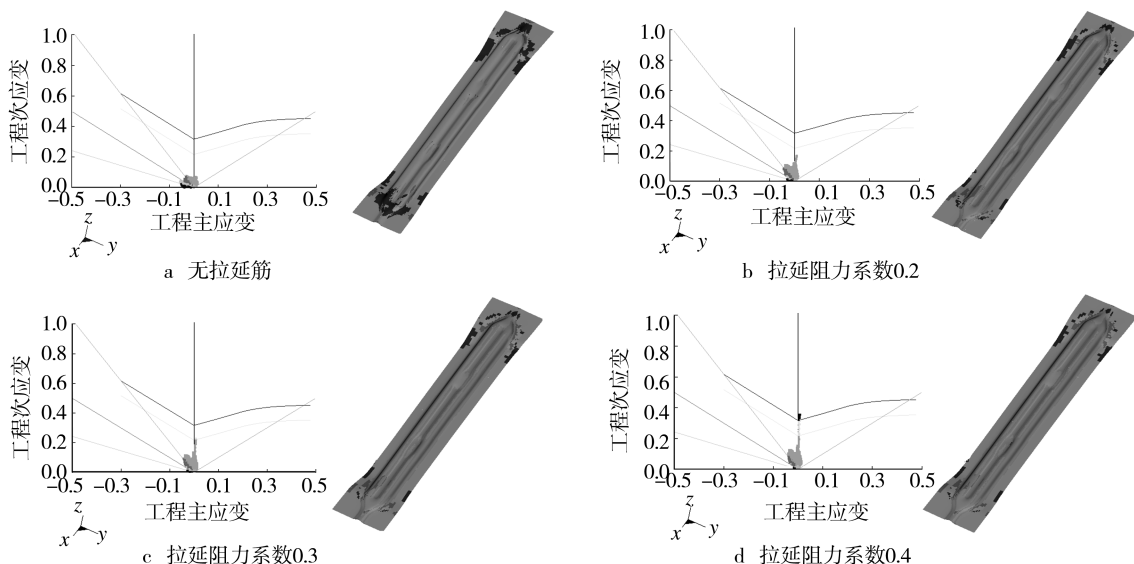


图4 不同拉延筋设置的数值模拟结果

Fig. 4 Simulation results with different settings of drawbead

结果显示设置拉延筋后,起皱现象明显改善并有助于板料的充分拉延。随着拉延筋阻力的增大,拉延不足的区域和起皱明显减少,但是也增大了拉裂的倾向,在拉延筋阻力系数增大到 0.4 时,出现了局部的拉裂,因此合理的拉延筋设置至关重要。该实验中,防撞梁零件在拉延筋阻力系数取 0.3 时成形性最好,拉延充分且只在法兰部位有起皱发生,压边力峰值在 100 kN 左右,不超过压力设备的要求。

2.2 压边力对板料成形结果的影响

压边力参数是拉延成形中的重要参数,在拉延过程中通常需要设置压边装置来提供足够的摩擦抗力,增大对板料的拉应力,控制板料流动防止起皱。压边力太小,工件就会起皱,压边力太大,工件就有拉裂的危险。压边力的确定与起皱和拉裂的预测紧密相关,通过分析无拉延筋固定间隙模拟(如图 4a 所示)所得压边力曲线,在不设置拉延筋的情况下采用不同的压边力进行数值模拟,模拟结果及成形极限如图 5 所示。从图 5 中可以看出增大压边力使得

这种情况可以通过修改此防撞梁零件模具压料面形状或者加设拉延筋来改善。

综上所述,不同工艺参数对成形的影响很大,而且也是多方面的。要得到成形质量好的拉延件,需要考虑多方面的因素,找出最优的工艺参数组合。

左前门防撞梁零件较大,在实际拉延过程中容易产生较多的拉延不足的区域,并在长度方向两端处出现起皱缺陷。针对此零件的缺陷,可以通过设置合理的拉延筋,适当的压边力和改善润滑条件等措施解决。根据模拟结果分析,适宜采用 1 040 mm × 160 mm 的坯料,压边力取 100 kN,在长度方向设置 2 条拉延筋来获得质量合格的零件。

3 结语

文中在研究板料拉延过程数值模拟关键技术处理的基础上,对左前门防撞梁进行的数值模拟。通过选用不同的工艺参数对零件进行模拟,分析了不同参数对其成形过程及结果的影响,并找出了最佳的工艺参数组合,解决了拉延不充分与局部起皱等问题。为板材成形工艺设计和生产实践提供有效的理论指导。

文中所用零件为对称零件,成形相对容易。模拟实验中采用等效拉延筋代替真实拉延筋并通过修改完全拉延筋阻力比例来模拟拉延筋阻力变化,具体拉延筋参数,如筋高,进入圆角半径,凹槽半径对拉延筋阻力以及板料拉延成形的影响有待进一步地研究。

鉴于应用数值模拟技术对工艺设计的经济性、有效性、可行性,以及对模具设计、制造阶段的指导作用,继续深入研究板料数值模拟技术在覆盖件成形中的应用将会有广阔的前景。

参考文献:

- [1] 陈丹丹. 复杂覆盖件拉延变形过程研究[J]. 塑性工程学报, 2008, 15(3): 13—17.
- [2] 周林, 李萍, 薛克敏. 瑞风商务车托架零件冲压成形过程的数值模拟[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2007, 30(2): 168—171.
- [3] KUMAR D R. Formability Analysis of Extra Deep Drawing Steel[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 130—131: 31—41.

(下转第 71 页)

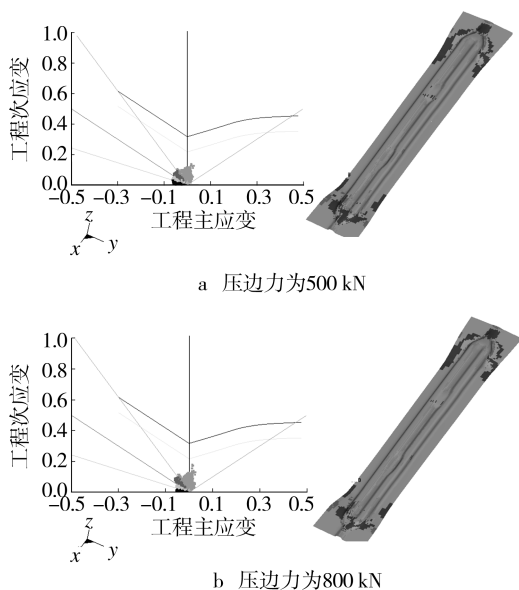


图5 不同压边力下数值模拟结果

Fig. 5 Simulation results with different blank holder forces

安全区域增多,起皱现象得到改善,但是收效甚微。分析其原因是由于压料面为平面且面积较小,摩擦系数取 0.125 的情况下增大压边力对增大板料的流动阻力效果不明显,导致在不设置拉延筋的情况下需要很大的压边力才有可能得到较好的成形结果。

3) 两侧斜楔同时接触滑块,滑块移动距离相等,保证两侧同时冲孔。

4) 为保证模具正常工作,必须保证滑块与下模座的配合间隙应小于模具冲裁间隙,否则,模具将无法正常工作。

3.2 模具结构工作过程

工作时,将去过毛刺的方管套在凹模座上,靠紧定位面,当压力机滑块下行时,压料板在弹簧的作用下,将方管压紧,同时两侧斜楔也一同下行,并与滑块接触;斜楔继续下行,斜楔推动滑块向凹模座移动,当移动到一定位置,固定在滑块上的凸模与固定在凹模座上的凹模共同作用,实现对方管的冲裁加工。当冲裁加工完成后,斜楔上行,固定在滑块上的凸模在卸料橡胶的作用下,完成卸料,这时,滑块依靠弹簧拉力,使滑块回复原位,同时,压料板也解除

了对方管的压紧,完成了整个冲裁过程。

4 结语

该模具试模一次成功,不但保证了2组孔的同轴度,减少了冲裁时间,降低了生产成本,提高了生产效率,而且产品质量稳定,效果较好。

参考文献:

- [1] 崔令江. 汽车覆盖件冲压成形技术[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [2] 湖南省机械工程学会锻压分会. 冲压工艺[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1984.
- [3] 陈华丽. 方管两侧同时冲孔模设计[J]. 模具制造,2006,7(11):20-22.
- [4] HAWKYARD J B, MOUSSA G. Studies of Profile Development and Roll Force in Profile Ring Rolling [C]. In: proc 3rd Int Conf On ROMP, Kyoto, Japan, 1984:267-278.
- [5] 华林,刘志平,杜平,等. 环件轧制力能计算[J]. 锻压机械,1994(5):26-27.
- [6] 杨勇,张华,魏志坚,等. CARWIN 软件在 3 m 环轧机上的应用[J]. 现代机械,2008(增刊):101-103.
- [7] LUGORA C F, BRAMLEY A N. Analysis of Spread in Ring Rolling[J]. Int J Mech Sci,1987,29:149-59.
- [8] 张吉光. 数控辗环机最佳辗轧工艺路线的确定[J]. 锻压机械,1995(5):20-21.
- [9] 阮维. 环件轧制进给控制模型与仿真研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2008:4-11.
- [10] FOROUZAN M R, SALIMI M, GADALA M S, et al. Guide Roll Simulation in FE Analysis of Ring Rolling [J]. Journal of Materials processing Technology, 2003,142(1):213-223.
- [11] 解春雷,李尚健,黄树槐. 辗环过程动力有限元分析中的抱辊约束[J]. 锻压机械,1997(3):13-14.
- [12] GUO L G, YANG H, ZHAN M. Simulation for Guide Roll in 3D-FE Analysis of Cold Ring Rolling[J]. Materials Science Forum, 2004,471-472:760-764.

(上接第 47 页)

(上接第 63 页)

- [4] 陈文亮. 板料成型 CAE 分析教程[M]. 北京:机械工业出版社,2005:1-7.
- [5] 韦东来. 轿车覆盖件拉伸动态仿真及成形性分析[J]. 汽车工程,2004,26(4):500-503.
- [6] 杨玉英. 大型薄板成形技术[M]. 北京:国防工业出版社,1996:23-80.
- [7] 叶又,彭颖红. 板料成形数值模拟的关键技术及难点[J]. 塑性工程学报,1997,4(2):19-22.
- [8] 印雄飞,叶又. 板料成形数值模拟中计算时间的控制[J]. 模具工业,1999(7):11-13.
- [9] 林忠钦. 车身覆盖件冲压成形仿真[M]. 北京:机械工业出版社,2005:8-16.
- [10] LUDOVIC C, MARION M, GÉRARD F. Analytical Modeling of Drawbeads in Sheet Metal Forming[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003,133(3):359-370.
- [11] 彭必友. 板料形状压料筋的设置对汽车覆盖件成形中起皱和未充分拉深的影响[J]. 塑性工程学报,2006,13(6):39-43.