

轿车车门内板拉深成形过程的有限元分析

潘利波, 胡吟萍, 魏星, 段小平

(武汉钢铁(集团)公司研究院, 武汉 430080)

摘要: 利用板料成形有限元软件对某轿车车门内板的一次拉深过程进行了数值模拟, 分析了其成形过程中的危险区域, 并对拉深过程中的缺陷产生原因进行了分析, 通过调整工艺参数, 得到比较理想的结果, 可为该零件实际生产提供参考。

关键词: 车门内板; 深冲; 有限元; PAM-STAMP

中图分类号: TG386.1 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2012)04-0017-03

Finite Element Analysis on Deep Drawing Process of Door Inner Panel

PAN Li-bo, HU Yin-ping, WEI Xing, DUAN Xiao-ping

(R & D Center for Wuhan Iron and Steel (Group) Corporation, Wuhan 430080, China)

Abstract: The one-off deep drawing process for door inner panel of certain car type was numerically modeled and simulated by utilizing commercial code of sheet metal forming. With the appropriate material, the critical forming zones were indicated, and factors which cause defects in the course of drawing were analyzed. The reasonable result was obtained by modulating rational technology parameters, which provides significant reference for practical manufacturing of this part.

Key words: door inner panel; deep drawing; finite element; PAM-STAMP

汽车覆盖件生产的基本要求是板材在冲压成形过程中, 具有良好的抵抗出现颈缩、起皱、破裂、回弹等缺陷的能力, 其成形质量的好坏直接影响到整车的装配与外观效果。汽车覆盖件的冲压成形过程是一个涉及几何非线性、接触非线性和材料非线性的塑性变形过程^[1], 其影响因素较多, 较难控制。随着CAE技术的发展, 有限元分析被应用到汽车覆盖件的冲压成形研究中, 在分析成形缺陷、优化工艺参数、指导实际生产等方面发挥着重要作用^[2-3]。

轿车车门内板由于其形状复杂, 拉深深度大, 成形较困难, 对材料的要求也较高, 实际生产中, 往往采用二次拉深成形。日益加剧的市场竞争对汽车的生产成本控制提出了更高的要求, 如果采用一次拉

深直接成形, 可大大节省模具费用和生产成本, 提高生产效率。文中以某轿车车门内板零件为例, 利用商用板料成形有限元分析软件对其一次拉深成形过程进行数值模拟, 分析了一次拉深成形的可能性, 对成形过程中的缺陷进行探讨, 通过优化工艺参数, 得到了比较理想的成形结果。

1 轿车车门内板成形特点分析

车门内板位于轿车车身侧面, 虽然不属承力部件, 但要求具有一定的强度和刚度及较好的外观。某轿车车门内板零件如图1所示。

该门内板零件分左右两件, 且左右对称, 为易于

收稿日期: 2012-03-24

作者简介: 潘利波(1979—), 男, 湖北天门人, 博士, 工程师, 主要研究方向为汽车用钢板料成形技术与数值模拟分析。

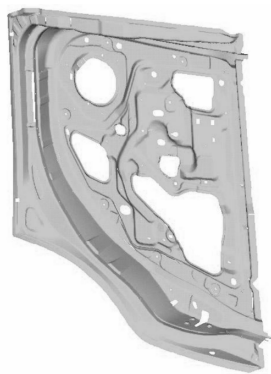


图1 车门内板零件

Fig. 1 Part drawing of door inner panel

拉深成形和提高生产效率,生产的时候采用“一模两件”的方式,其布局方式如图2所示。其成形工艺特点如下所述。

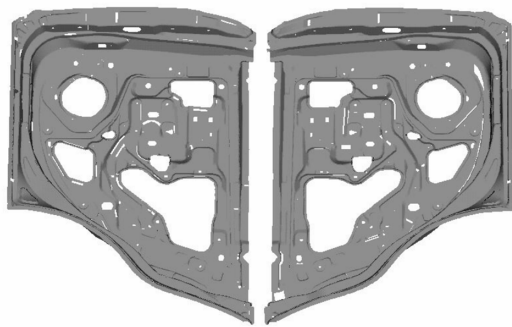


图2 零件“一模两件”布局

Fig. 2 Layout of two workpieces in one mould

1) 拉深成形深度大,零件截面变化非常复杂。零件深度接近 150 mm,整个零件的台阶有 3 层,侧面和底部还有一些不规则的局部凸台。

2) 零件厚度薄,厚度为 0.65 mm,圆角半径小,局部存在较复杂的起伏面。

基于以上成形特点,该车门内板的模具设计和工艺设计都存在较大困难,在实际生产过程中采用二次拉深成形。现在需要用一次拉深成形工艺来替代二次拉深工艺,这也使得零件在成形质量控制上更加困难。

2 有限元模型建立

由于 PAM-STAMP 软件在有限元模型的建立上要求的精度高,对模拟结果采用 PAM-STAMP

软件的 DIEMAKER 功能,进行冲压方向的优化与设定,并设计工艺补充面与压边面,最终建立了车门内板的拉深成形三维有限元模型如图3所示。

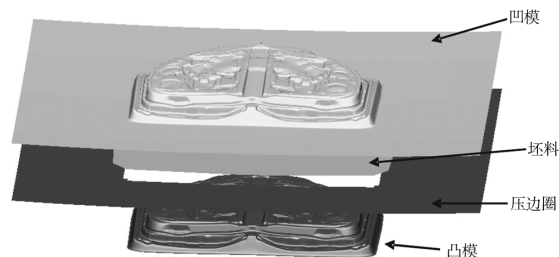


图3 冲压成形有限元模型

Fig. 3 FE model of stamping

根据一模两件方案的零件布局,已经结合所设计的工艺补充面,反算后得到初始板料形状如图4所示。



图4 初始坯料形状

Fig. 4 Initial shape of blank

模拟材料选用厚度为 0.65 mm 的 DC05,该材料为特深冲级无间隙原子钢,具有优异的深冲性能,主要用于生产汽车覆盖件。其试验测得的材料参数见表1。其中 K 为应变强化系数; E 为弹性模量; $R_{p0.2}/R_{eL}$ 为屈服强度; R_m 为抗拉强度; A 为延伸率; n 与 r 值分别为应变强化指数与塑性应变比。编号 DC05-90°,DC05-0° 和 DC05-45° 分别代表材料横向、纵向及 45°方向的试样。

表1 DC05 的试验数据

Table 1 Experimental data of DC05

编号	K /MPa	E /GPa	$R_{p0.2}/R_{eL}$ /MPa	R_m /MPa	A /%	n	r_{15}
DC05-90°	530	187	146	296	46.7	0.236	3.106
DC05-0°	545	180	136	298	48.6	0.25	2.402
DC05-45°	543	191	144	301	45.2	0.24	2.367

该分析过程中,将该试验材料测得的真实应变

与应力对应表输入材料定义中,以获取材料的拉伸曲线。

3 模拟结果分析

该分析方案中初步采用的冲压工艺参数:摩擦因子为 0.12,压边力为 700 kN。利用 PAM-STAMP 软件进行计算,所得结果如图 5 所示。

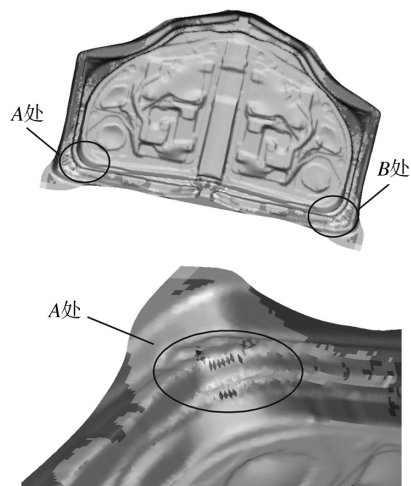


图 5 模拟结果

Fig. 5 Result of simulation

从模拟结果来看,零件有 A,B 2 处存在拉裂的危险,而在一模两件的生产工艺中,A 和 B 2 处是对称的。该处存在拉裂危险的主要原因是零件形状在此处型面起伏较大,容易发生起皱。实际生产中,模具在此处应考虑合理布置拉延筋。成形极限图 FLD(如图 6 所示)也反应了这些单元的拉裂危险,

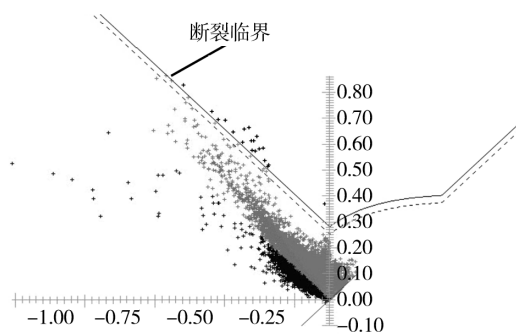


图 6 模拟过程 FLD 图

Fig. 6 Forming limit diagram in simulation

FLD 的横坐标代表单元的次应变,纵坐标代表单元的主应变,而在断裂临界线以上的点表示这些单元

存在拉裂危险,而下方的点对应的单元可以认为安全^[4-5]。

从模拟分析的结果来看,毛坯的形状可以稍微作些调整,使边部余料尽量均匀。由于很多部位有严重的起皱趋势,因此应该考虑设置拉延筋,同时提高压边力,但是,在压边力变大以后,零件的中部会有明显拉裂的趋势。

由于该零件是一模两件,中间部位不影响产品质量,因此,考虑在中间部位通过刺破刀的方式,使该处在成形的过程中释放应力,保证左右两件产品的冲压质量。一般而言,在拉延成形过程中总有内部拉深破裂的情况,一种方式是改变内部的形状如圆角半径等,减少成形量,后序增加整形工序;或者在内部废料处应用刺破刀,即在材料开始颈缩前将材料刺破,减少材料流动阻力。刺破时机把握有要求,因为过早刺破会导致起皱,或导致变形不充分影响成形效果,过晚刺破则无意义。该零件拉深成形过程中开裂最早发生在模具闭合前 3~4 mm,结合成形过程中的厚度减薄量,确定在模具闭合前 7 mm 时对零件进行刺破。

考虑到摩擦因子的设定与现场生产摩擦条件相符,因此,这里对摩擦因子没有进行调整。

最终,经过调整坯料大小、工艺参数,设置拉延筋、刺破刀等方式,利用 DC05 材料模拟出质量比较好的产品,如图 7 所示。该模拟过程在 AutoForm

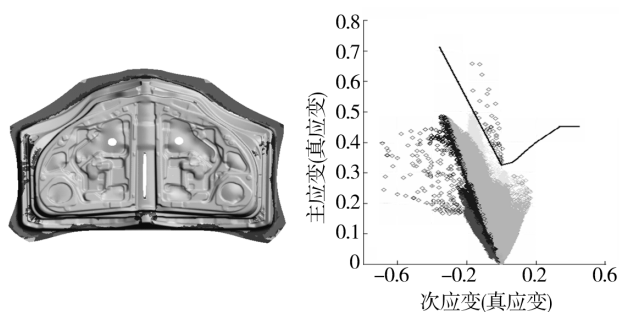


图 7 最终模拟分析结果

Fig. 7 Final analysis result in simulation

软件中实现,工艺参数:摩擦因子为 0.12,压边力为 1 200 kN。AutoForm 中提供刺破功能非常简便,无需进行特殊的建模,只要画出刺破刃口线即可。从整个产品成形质量来看,起皱的地方均在工艺补充面上,产品起皱缺陷比较少,而且也没有拉裂缺陷,

(下转第 68 页)

Messages	
最小点距:最薄件厚度:0.5结构钢:10	不锈钢:8轻合金:15
最小点距:最薄件厚度:0.8结构钢:12	不锈钢:10轻合金:15
最小点距:最薄件厚度:1.0结构钢:12	不锈钢:10轻合金:15
最小点距:最薄件厚度:1.2结构钢:14	不锈钢:12轻合金:15
最小点距:最薄件厚度:1.5结构钢:14	不锈钢:12轻合金:20
最小点距:最薄件厚度:2.0结构钢:16	不锈钢:14轻合金:25
最小点距:最薄件厚度:2.5结构钢:18	不锈钢:16轻合金:25
最小点距:最薄件厚度:3.0结构钢:20	不锈钢:18轻合金:30
最小点距:最薄件厚度:3.5结构钢:22	不锈钢:20轻合金:35
最小点距:最薄件厚度:4.0结构钢:24	不锈钢:22轻合金:35

图6 解释窗口数据显示

Fig. 6 Data display in interpretation window

欢迎 点焊参数推理界面

请选择厚度: 0.5

请选择材料: 低碳钢

备注: 低碳钢板点焊的推荐焊接参数是在单项工频交流电情况下最佳条件, 不锈钢点焊推荐参数为双脉冲

推理

推荐焊接参数

焊接时间 秒	焊接电流 kA	电极力 kN	电极端部直径 mm	熔核直径 mm
0.10	6.0	1.35		4.3
回火电流 kA	回火时间 秒	冷却时间 秒	最小点距 mm	最小搭边量 mm
			9	11

图7 点焊参数推理

Fig. 7 Spot welding parameter reasoning

Messages

你好, 你选择的厚度是0.5mm, 你选择的材料是低碳钢推荐焊接电流是,6.0kA
 你好, 你选择的厚度是0.5mm, 你选择的材料是低碳钢推荐焊接电压是,1.35kN
 你好, 你选择的厚度是0.5mm, 你选择的材料是低碳钢推荐焊接时间是,0.10秒
 你好, 你选择的厚度是0.5mm, 你选择的材料是低碳钢推荐熔核直径是,4.3mm
 你好, 你选择的厚度是0.5mm, 你选择的材料是低碳钢推荐最小点距是,9mm
 你好, 你选择的厚度是0.5mm, 你选择的材料是低碳钢推荐最小搭边量是,11mm

图8 解释窗口显示

Fig. 8 Interpretation window display

(上接第19页)

FLD图中显示的断裂单元为中间刺破刀部位的单元,总体来看,结果比较理想。

4 结语

车门内板由于曲面形状复杂,拉深深度大,在实际生产中成形有一定的难度。通过有限元模拟的方法对其生产工艺进行分析,包括毛坯大小确定与冲压工艺参数的选择,能够节省冲压试验成本,为实际生产起到良好的指导作用。模拟结果表明,对于用户指定的材料,经过一次拉深,采用合适的模具与工艺参数,能够生产出质量合格的车门内板零件。

4 结语

基于 Visual Prolog 软件开发的专家系统,推理机完全与事实库分离,增加功能时只需在事实库中添加相应的知识,为开发大型的具有通用性的焊接专家系统打下了基础。自行设计的可视化系统界面,具有弹出式下拉菜单和快捷键,界面美观明了,友好且易于操作。专家系统事实库中数据都是从合肥某大型汽车企业调研获得,并且在该企业试用取得了较好的效果。

参考文献:

- [1] 陈丙森. 计算机辅助焊接技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999: 32—33.
- [2] 钱作勤, 李舒燕. 用 PDC Prolog 语言建立小型专家系统[J]. 武汉船舶职业技术学院学报, 2004(4): 12—16.
- [3] 姚河清, 陆亚珍, 王运东. 弧焊机器人焊接专家系统的开发[J]. 河海大学学报, 2003, 31(5): 578—580.
- [4] 雷英杰, 邢清华, 王涛. 人工智能程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 116—117.

参考文献:

- [1] 邢忠文, 方华松, 徐伟力. 汽车 B 柱成形仿真与分析[J]. 锻压技术, 2008, 33(2): 27—30.
- [2] WANG C T, KINZEK G, ALTAN T. Failure and Wrinkle Criteria and m Athem Atical Modeling of Shrink and Stretch Flanging Operations in Sheet-metal Forming[J]. J Mater Proc Tech, 1995, 53: 759—780.
- [3] GUO Y Q, BATOZ J L, DETRAUX J M. Finite Procedures for Strain Estimations of Sheet Metal Forming Parts[J]. Int J Num Mech in Eng, 1990, 30: 1385—1401.
- [4] 谢英, 万敏, 韩非. 板料成形极限应变与极限应力的转换关系[J]. 塑性工程学报, 2004, 11(3): 55—58.
- [5] 陈劭实, 周贤宾. 板料成形极限预测新判据[J]. 机械工程学报, 2009, 45(4): 64—69.