

汽车前围板冲压数值模拟及工艺参数优化

陈文琳, 李志杰, 王少阳

(合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009)

摘要: 针对汽车覆盖件冲压过程变形复杂的特点,对某型号汽车前围板零件拉深过程进行数值模拟,分析压边力及拉延筋的变化对该零件成形效果的影响。通过成形极限图优化压边力及拉延筋,最终获取该零件拉深工序合适的工艺参数,为汽车覆盖件冲压工艺提供快速、有效的设计方法。

关键词: 前围板; 冲压过程; 数值模拟; 参数优化

中图分类号: TG386 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2011)03-0015-05

Numerical Simulation and Parameter Optimizing of the Stamping Forming Process of Auto Front Panel

CHEN Wen-lin, LI Zhi-jie, WANG Shao-yang

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

Abstract: Aiming at the complicated deformation of auto body during stamping process, the deep drawing process of auto front panel was simulated, the influence of different technical parameters of the stamping process, such as binder force and equivalent draw heads, was discussed. The binder force and equivalent draw heads were optimized by FLD. Finally the suitable appropriate parameters were obtained, and a kind of rapid and effective design for automotive panel stamping process was provided.

Key words: auto front panel; stamping process; numerical simulation; parameter optimization

节约能源、减少环境污染已经成为当今世界汽车工业急待解决的两大问题,汽车轻量化是降低燃油消耗和减少污染排放的重要途径^[1]。为适应汽车轻量化、降低油耗和提高汽车安全性的要求,高强度钢板的使用比重越来越大^[2-3]。然而高强度钢板因其材料强度增加,成形性能下降,在成形时较普通钢板更加容易产生破裂、起皱、回弹等缺陷。

以有限元为核心的数值仿真技术可以在模具开发设计中提供强有力的技术支持。目前,众多的汽车制造企业都建有覆盖件冲压成形仿真系统,模具

行业采用数值模拟软件,开发周期缩短,成本下降^[4]。文中针对某型号汽车前围板的拉深工序进行有限元数值模拟,通过对压边力大小及拉延筋布置的模拟,探讨压边力、拉延筋的分布等工艺参数对该零件成形质量的影响,并根据有限元数值模拟结果制定合理的工艺参数。

1 零件工艺分析

某型号汽车前围板零件如图1所示,为汽车内

收稿日期: 2010-09-13

作者简介: 陈文琳(1963—),女,安徽安庆人,博士,教授,主要研究方向为塑性成形 CAD/CAE/CAM,参加或主持国家和省部级科研项目及横向项目 10 余项。

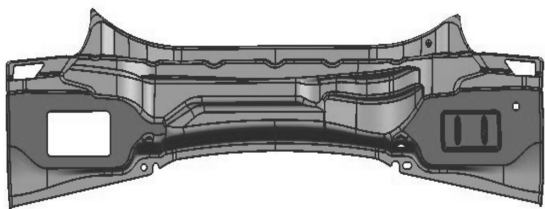


图1 汽车前围板零件

Fig. 1 Model of front panel of a car

覆盖件。材料为 H220BD, 是高强度钢。零件的长、宽、高的尺寸为 $1\,398\text{ mm} \times 302\text{ mm} \times 230\text{ mm}$, 材料厚度为 1.65 mm 。成形工序为: 落料—拉深—修边—冲孔—整形。零件型面复杂, 局部起伏大, 过渡圆角小, 存在较多尖角部分, 在成形时金属变形不均匀, 容易出现破裂, 难以达到强度要求。该零件在使用过程中, 对于强度要求较高, 因此在成形过程中, 拉深工序是关键, 需要优化拉深成形过程, 使其充分成形, 满足强度要求。

2 有限元模型建立

2.1 几何模型

通过三维造型建立零件的三维数模, 完成工艺

面的补充, 然后导入到有限元分析软件中, 以导入的型面作为有限元模型中的凹模, 通过偏置方式生成凸模及压边圈, 使用一步求解器模块确定初始坯料尺寸为 $1\,620\text{ mm} \times 585\text{ mm}$ 。

2.2 材料模型

板料是通过轧制而成, 具有各向异性, 因此, 在汽车覆盖件冲压数值模拟过程中, 选用有限元分析软件的 H220BD 材料模型。如式(1)所示^[5]。

$$\phi = a|K_1 + K_2|^m + a|K_1 - K_2|^m + c|2K_2|^m = 2\sigma_y^m \quad (1)$$

$$K_1 = \frac{\sigma_x - h\sigma_y}{2}, K_2 = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - h\sigma_y}{2}\right)^2 + p^2\tau_{xy}^2} \quad (2)$$

式中: ϕ 为材料发生屈服的临界值; 各向异性常数 a, c, h, p 为材料常数, 由 r_0, r_{45}, r_{90} 来决定, 材料参数见表 1。

2.3 压边力的计算

压边力是拉深工序中重要的工艺参数之一, 合适的压边力可以控制起皱和破裂的程度及范围, 保证拉深过程的顺利进行。在给定的冲压条件下, 压边力存在一个最优值, 低于或者高于此值都会使得冲压件的开裂和起皱程度加剧及范围扩大。

表 1 材料参数

Table 1 Material parameters

材料牌号	厚度/mm	σ_s /MPa	σ_b /MPa	μ	E /GPa	K	n	r_0	r_{45}	r_{90}
H220BD+Z50/50	1.65	217	516	0.28	207	648	3	1.404	1.364	1.751

压边力的理论计算公式为^[6]:

$$F = Aq \quad (3)$$

式中: A ——压边面积, 它等于坯料面积减去凹模型腔开口面积;

q ——单位面积上的压边力, 根据文献[6]中的数据, 对于厚度大于 0.5 mm 的钢板来说, q 值一般在 $2 \sim 2.5\text{ MPa}$ 之间。

根据计算, 压边力的理论范围为 $330 \sim 410\text{ kN}$ 。

2.4 拉延筋的设置

在拉深过程中, 各部分金属流动不均匀, 成形后的覆盖件容易出现起皱和拉裂现象。设置拉延筋是拉深成形过程中调节金属流动的主要控制手段。通

过合理设置拉延筋, 可以增加进料阻力, 调节进料阻力分布, 增加零件的刚性等。

在数值模拟过程中, 拉延筋的设置存在 2 种方式, 即实际拉延筋及等效拉延筋。实际拉延筋能够较精确地模拟拉延筋各部分的变形阻力, 但其相对尺寸较小, 形状复杂。当需要精确考虑拉延筋与板料的接触时, 要求划分的单元格足够小, 这将使得计算效率极大降低, 同时增加了三维建模的复杂程度^[7]。使用等效拉延筋, 可以迅速便捷地修改拉延筋的分布及阻力大小, 极大提高数值模拟的计算效率。文中采用等效拉延筋的方式进行有限元数值模拟。根据凹模口的曲率变化及零件各部分的变形特点, 设置等效拉延筋分布如图 2 所示。

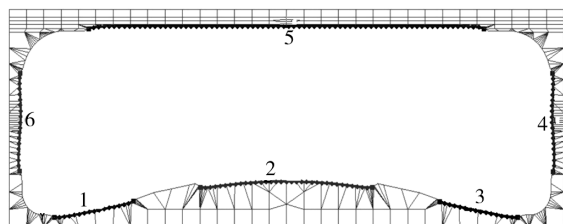


图2 等效拉延筋分布

Fig. 2 Schematic diagram of drawbead location

2.5 有限元模型

在几何模型中,根据上述设置,并加载表2所示的参数,最终建立的有限元模型如图3所示。

表2 有限元模型参数

Table 2 Parameters of simulation

模拟单位	mm, t, s, N
拉延类型	单动拉延
接触类型	面-面接触
冲压方向	z向
板坯单元类型	BT壳单元
虚拟冲压速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	2(闭合), 5(成形)
摩擦因数	0.125

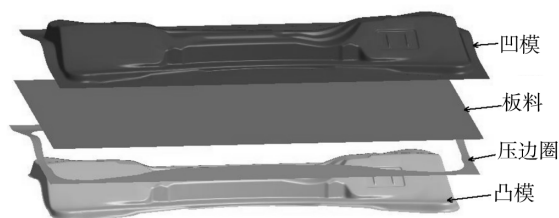


图3 有限元模型示意

Fig. 3 Schematic diagram of FE model

3 模拟结果分析

3.1 压边力的影响

根据理论计算所得的压边力数值范围,在该范围取值进行有限元数值模拟。具体设置压边力数值为340~390 kN,采用不同压边力所获得的成形极限如图4所示。

从成形极限图上看,在压边力大于等于370 kN时,前围板零件的尖角处存在破裂区域(如图5所

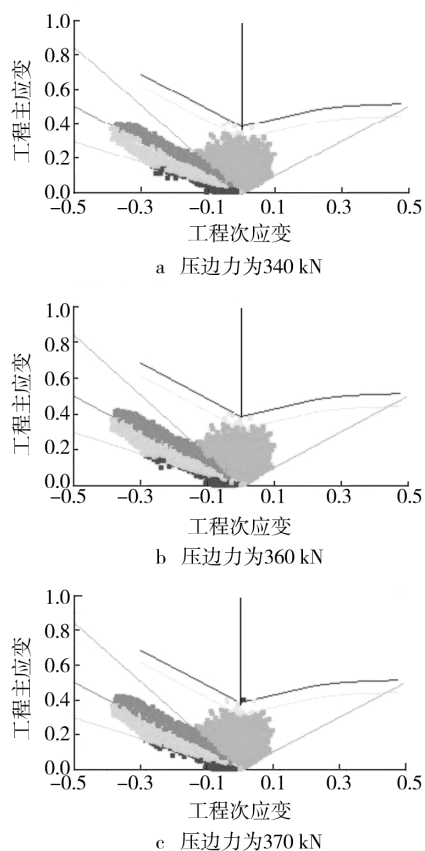


图4 不同压边力下成形极限

Fig. 4 FLD for FEM under different pressure-pad-forces

示),在压边力小于360 kN时,该破裂区域消失。整体而言,随着压边力的降低,破裂趋势降低,但起皱程度有所升高,因此在选择压边力大小时,需要考虑破裂和起皱的综合影响。在保证无破裂的情况下,使得起皱区域尽量小。由成形极限图可知,在压边力为350 kN时,没有出现破裂区域,同时零件内部起皱区域相对较少,主要起皱区域可以在后续的修边工序切除。此时的压边力取值相对比较合理,但零件内部大部分区域强度未曾满足设计要求,需要通过拉延筋对零件内部的局部金属流动进行调整。

3.2 拉延筋的影响

通过添加拉延筋,可以改善金属流动不均匀的现象,提高零件内部强度^[7]。过高的等效拉延筋阻力将会加剧零件的破裂程度,而过低的等效拉延筋阻力则对零件内部变形情况起到的作用相对较小,达不到设计强度要求,因此需要合理布置拉延筋。在压边力为

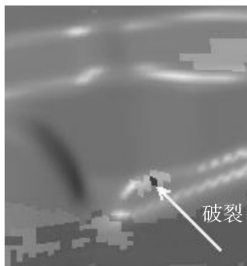


图5 破裂区域

Fig. 5 Fracture area

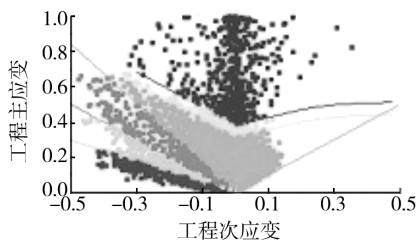
350 kN时,设置完全锁模力为1 000 N,拉延筋的不同等效摩擦阻力按照表3所示的百分比进行设置,分6组模拟,部分模拟结果如图6所示。

表3 等效拉延阻力设置

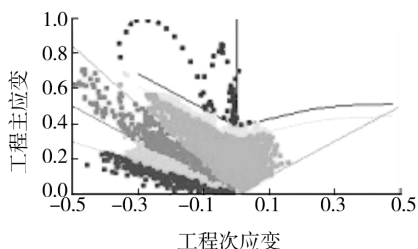
Table 3 Drawbead resistance equivalent set of drawing

模拟 序号	拉延筋序号					
	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	0.4	1
2	0.6	0.7	0.6	0.5	0.25	0.5
3	0.4	0.35	0.4	0.3	0.20	0.30
4	0.4	0.35	0.4	0.3	0.14	0.20
5	0.4	0.2	0.4	0.2	0.15	0.20
6	0.38	0.22	0.38	0.25	0.17	0.25

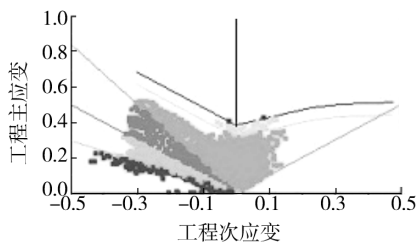
在拉深过程中,金属的流动受到多种因素的共同作用。如图6所示,随着等效阻力的减小,金属内



a 第1组模拟结果



b 第3组模拟结果



c 第5组模拟结果

破裂
破裂危险
安全
起皱趋势
起皱
严重起皱
成形不足

破裂
破裂危险
安全
起皱趋势
起皱
严重起皱
成形不足

破裂
破裂危险
安全
起皱趋势
起皱
严重起皱
成形不足

图6 不同等效拉延阻力下的成形结果

Fig. 6 Forming effect of different equivalent drawing resistances

部的破裂情况有所降低,在成形极限图中可以观察到破裂点的减少,相对而言起皱区域有所增加,因此需要合理控制拉延筋的等效阻力大小。同一部位的金属流动同时受到多段拉延筋的共同作用。在图2

的拉延筋分布中可以看到第1,3段拉延筋相对对称,第2段拉延筋分布于第1,3段拉延筋之间。为了满足图5所示尖角部分的成形效果,将第1,3段等效阻力设置为完全锁模力的40%时将会使得尖

角部位不发生破裂,而第2段拉延筋的等效阻力设置为完全锁模力的22%时刚好可以满足直边部分的变形(如图6所示)。当第1,2,3段拉延筋阻力分别取锁模力的40%,22%,40%时,3段拉延筋的共同作用将会使得尖角部分出现破裂。通过模拟实验在第1,2,3段拉延筋阻力分别取值为锁模力的38%,20%,38%时,可以使得该处破裂消失。由此可见,在设置拉延筋阻力时需要根据金属的流动综合考虑各段拉延筋的等效阻力。

3.3 工艺参数优化后结果

根据上述方式,分析压边力及等效拉延筋阻力的综合效果,在压边力为350 kN,各段拉延筋阻力为完全锁模力的38%,20%,38%,25%,15%,25%时,该零件的成形效果最好。按照分析结果,重新进行有限元数值模拟,模拟结果如图7所示。

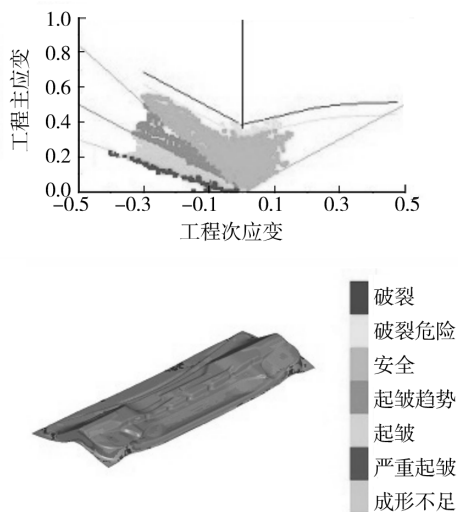


图7 优化后模拟结果

Fig. 7 Simulation results of the optimized plan

由图7可见,经过综合分析后通过数值模拟,优化后的汽车前围板零件拉深工序无破裂区域,少量起皱区域可以通过修边工序切除,整体零件强度达到设计要求。该工艺参数比较合理,可以指导生产。

4 结语

通过使用数值模拟软件对汽车前围板零件的数值模拟,研究了不同压边力及拉延筋阻力对汽车前围板零件成形效果的影响。

通过对各段拉延筋对金属流动影响的综合考虑,较为快速的找出合适的工艺参数组合,成形效果符合设计要求。

通过有限元数值模拟技术,可以改变以往仅凭工程师经验的试模方式,极大降低生产成本,提高工作效率,加快工艺设计,在汽车覆盖件生产中可以有效地指导生产。

参考文献:

- [1] MILLER W S, ZHUANG L, BOT Tema J, et al. Recent Development in Aluminum Alloys for the Automotive industry[J]. Materials Science and Engineering A, 2000, 280(1): 37-49.
- [2] BENEDYK J C. Light Metals in Automotive Applications[J]. Light Metal Age, 2000, 10(1): 34-35.
- [3] KISHIDA K. High Strength Steel Sheet S for Light Weight Vehicle [J]. Nippon Steel Technical Report, 2000, 81: 12-16.
- [4] 林忠钦. 车身覆盖件冲压成形仿真[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 20-21.
- [5] BARLAT F, LIAN K. Plasticity behavior and Stretchability of Sheet metals[J]. INT J Plasticity, 1989, 5(1): 51-66.
- [6] 高锦张. 塑性成形工艺与模具设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 134-135.
- [7] XU Wei-li. A New Contact Judgement Method for Sheet Metal Forming Simulation [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 100(1/3): 219-233.