

基于数值模拟的隔热板零件冲压工艺研究

闻瑶, 甘国强, 王成国

(合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009)

摘要: **目的** 研究隔热板零件冲压过程中的最优化成形工艺参数。**方法** 利用 Dynaform 软件先对零件模型的成形进行了初步数值分析, 根据成形后的成形极限图 (FLD) 与厚度分布图, 确定了合理的拉延筋分布位置与对应的锁死率; 再通过正交试验研究了冲压工艺参数。**结果** 得出了压边力、锁模力、板料厚度和摩擦因数对隔热板成形过程中拉裂和起皱趋势的影响规律。**结论** 得到了成形过程中合理的成形工艺参数, 最大减薄率控制在 22% 以下, 未变形区较少。

关键词: 隔热板; DYNAFORM; 数值模拟; 正交试验

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2014.04.008

中图分类号: TG386.3

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2014)04-0041-05

Analysis and Optimization of Thermal Baffle Stamping Process Based on Dynaform

WEN Yao, GAN Guo-qiang, WANG Cheng-guo

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

ABSTRACT: **Objective** To study the optimization of forming process parameters of insulation board parts. **Methods** Through the finite element analysis software Dynaform, according to the forming limit diagram (FLD) and the thickness distribution diagram, the proper draw bead distribution and the corresponding locked rate were determined. **Results** The influencing rule of stamping process parameters including blank holder force, draw bead locked force and friction coefficient on the cracking and wrinkling tendency were obtained through the orthogonal test. **Conclusion** The optimized stamping process parameters were summarized. The maximum reduction ratio was controlled to 22% or below, with fewer undeformed zones.

KEY WORDS: the thermal baffle; Dynaform; numerical simulation; orthogonal test

汽车隔热板一般布置在发动机两侧和车身底部排气管通道上方^[1-3], 它主要利用热屏蔽板的反射绝热原理, 来隔断热量的传递, 同时它还有一定的局部隔噪声的作用^[4-7]。车身隔热板要求与发动机和排气管等装配, 形状多由比较复杂的自由曲面组成, 同时, 由于隔热板工作环境比较恶劣, 对成形件的性能要求很高, 尤其是镀锌板铝层的保护, 因此一般采

用冲压工艺来成形^[8-13]。

1 隔热板零件的工艺分析

研究的隔热板零件由板厚为 0.5 ~ 0.8 mm 的热镀锌板材料冲压成形, 其零件图 (包括工艺补充面) 如图 1 所示。

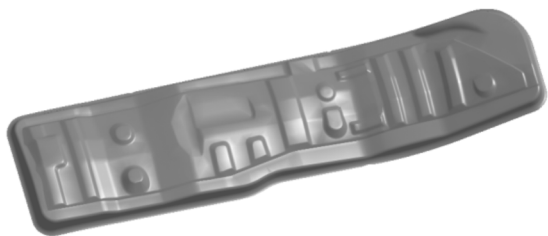


图 1 隔热板零件

Fig. 1 Insulation board parts

该隔热板冲压件的工艺特点如下所述。

零件由比较复杂的自由曲面组成,在主体曲面上不规则分布着不同形状、大小的小自由曲面,故成形时各部分变形差别很大。零件厚度较薄,在 0.4 ~ 0.8 mm 间,属于薄板冲压,压料面易于起皱。零件总体上属于浅拉深成形,但是由于各处深度不一,致使成形时侧壁出现局部拉裂,影响整体成形效果。主体曲面上存在具有胀形性质的局部自由曲面——圆形凸台等,不可避免使该处板料发生很大的变薄。该隔热板冲压件的长约为 1100 mm,宽为约 270 mm,零件的侧壁和与侧壁相连的底部外缘部分为工艺补充面。

根据以上的分析,为了保证主体零件具有较好的成形性能,对零件进行了工艺补充面的设计后,采用拉深为主要的成形工序。采用 DYNAFORM 数值模拟软件对成形过程进行模拟,以得到合理的冲压工艺。在实际生产中将拉延成形之后工艺补充面部分切边,还需经过翻边—加装隔热垫—压合—翻边铆接—冲孔—铆接支架^[14]。

2 隔热板冲压过程有限元模型的建立

利用 Dynaform 软件进行有限元分析,材料采用 SPCE(36)——深冲用冷轧碳素钢薄板。采用矩形化坯料,长为 1262 mm,宽为 405 mm,如图 2 所示。数值模拟采用单动拉深。

利用 Dynaform 模拟软件计算出压边面积为 220 000 mm² 左右,压边力计算公式为:

$$F = (2 - 2.5) \times \text{压边面积}$$

可以得到压边力的大概值为 500 kN。其他工艺参数不变,在 500 kN 压边力下零件在侧壁出现了拉裂和严重的起皱现象,未充分变形区较多,成形效

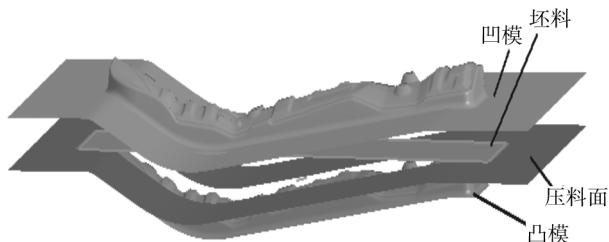


图 2 隔热板冲压有限元模型

Fig. 2 The stamping finite element model of insulation board

果不理想。这是由于压边力较大导致在凸模圆角处局部拉裂,且各处板料金属流动不均匀,导致侧壁附近出现严重的起皱现象。

其他工艺参数不变,调整压边力至 400 kN,对起皱部位合理布置等效拉延筋(拉延筋由压料面的内轮廓线向外偏置 25 mm 后编辑得到)并确定锁模力。拉延筋布置与编号如图 3 所示。

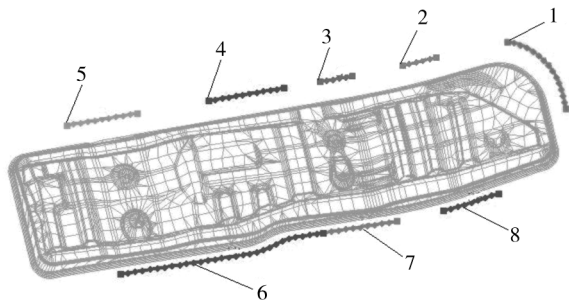


图 3 拉延筋布置与编号

Fig. 3 The arrangement and number of drawbead

在 DYNAFORM 模拟软件中得到的成形极限图如图 4 所示。



图 4 成形极限

Fig. 4 FLD

拉延筋与对应的锁死率和锁模力见表 1。

表 1 拉延筋编号与对应的锁模力
Table 1 The clamping force and the corresponding number of drawbeads

编号	锁死率/%	锁模力/(N·mm ⁻¹)
1 (6)	15	105
2 (8)	60	420
3 (31)	60	420
4 (1)	30	210
5 (5)	100	700
6 (13)	20	140
7 (34)	40	280
8 (36)	15	105

可见布置拉延筋后成形效果明显好很多,仅有少许拉裂,零件曲面上起皱得到消除。这是由于压边力调小后凸模圆角处的拉裂趋势减小,合理布置拉延筋有效缓解了零件各处变形的不均匀,使起皱趋势明显减小。零件在拉裂或有拉裂趋向处壁厚减薄较多。此外,在零件空间曲面具有胀形性质圆形凸台处,壁厚减薄也较多。

表 3 正交试验数值模拟结果
Table 3 Orthogonal test results of numerical simulation

$L_{16}(4^4)$	F_{YBL}	F	H	u	破裂情况	减薄率%	未充分变区
1	340	600	0.5	0.09	无	24.5	较少
2	340	650	0.6	0.10	压料面内侧	38.2	稍多
3	340	700	0.7	0.11	无	23.7	稍多
4	340	750	0.8	0.12	无	22.8	稍多
5	370	600	0.6	0.11	无	23.1	稍多
6	370	650	0.5	0.12	侧壁	54.7	较少
7	370	700	0.8	0.09	侧壁	72.9	很多
8	370	750	0.7	0.10	压料面内侧	32.5	稍多
9	400	600	0.7	0.12	无	22.9	较多
10	400	650	0.8	0.11	无	23.1	很多
11	400	700	0.5	0.10	侧壁	58.6	较少
12	400	750	0.6	0.09	侧壁	47.7	较少
13	430	600	0.8	0.10	无	22.5	较多
14	430	650	0.7	0.09	无	23.5	较多
15	430	700	0.6	0.12	侧壁	37.7	较少
16	430	750	0.5	0.11	侧壁	59.7	较少
k_1	27.3	23.3	49.4	42.2	k_1, k_2, k_3, k_4 为各水平对应的 4 个隔热板零件壁厚减薄率的平均值		
k_2	45.8	34.9	36.7	38.0			
k_3	38.1	48.2	25.7	32.7			
k_4	35.9	40.7	35.3	34.5			
R	18.5	24.9	23.7	9.5	极差 $R=k_{\max}-k_{\min}$		

3 正交实验设计

正交试验能够以较少的试验次数、较短的试验时间和较低的试验费用得到满意的结果。鉴于这个特点,将其应用到隔热板的冲压成形过程中。在冲压成形模拟中,设计正交试验以板料最大厚度减薄率为定量指标,破裂位置和未充分变形区大小为定性指标。选取压边力、完全锁模力、板坯厚度和摩擦因数为因素,得到 4 因素 4 水平的 16 组正交试验^[5-10]。正交试验的因素和水平见表 2。正交试验数值模拟结果见表 3。

表 2 正交试验的因素及水平
Table 2 Factors and levels of orthogonal test

水平	压边力 F_{YBL}/kN	完全锁模力 $F/(\text{N}\cdot\text{mm}^{-1})$	板坯厚度 H/mm	摩擦 因数 μ
1	340	600	0.5	0.09
2	370	650	0.6	0.10
3	400	700	0.7	0.11
4	430	750	0.8	0.12

由以上分析可见, R 值从大到小的顺序为: 完全锁模力 $F >$ 板坯厚度 $H >$ 压边力 $F_{YBL} >$ 摩擦因数 μ , 完全锁模力 F 影响最大, 为主要因素, 摩擦因数 μ 为不重要因素。

优选组合, 依据实验指标的好坏, 即成形效果好坏, 选出 3 组优选组合。

A 组: 完全锁模力 $F = 600$ N/mm、板坯厚度 $H = 0.5$ mm、压边力 $F_{YBL} = 340$ kN、摩擦因数 $\mu = 0.09$, 其壁厚最大减薄率为 24.5%。

B 组: 完全锁模力 $F = 700$ N/mm、板坯厚度 $H = 0.7$ mm、压边力 $F_{YBL} = 340$ kN、摩擦因数 $\mu = 0.11$, 其壁厚最大减薄率为 23.7%。

C 组: 完全锁模力 $F = 750$ N/mm、板坯厚度 $H = 0.8$ mm、压边力 $F_{YBL} = 340$ kN、摩擦因数 $\mu = 0.12$, 其壁厚最大减薄率为 22.8%。

4 优选组合的成形效果比较

相同点: 3 组优选组合选择了相同的压边力 (340 kN), 在隔热板的空间曲面上均没有出现拉裂和起皱现象, 起皱位置均在压料面边缘, 成形效果比较理想, 如图 5 所示。

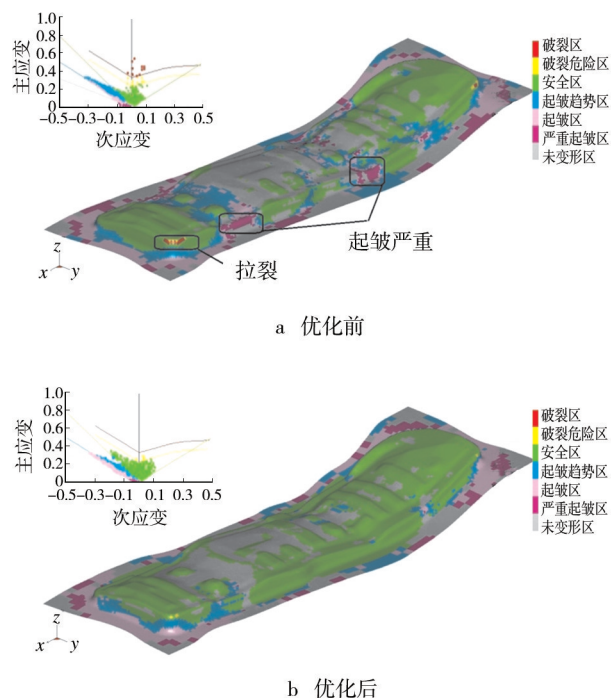


图 5 成形极限图对比

Fig. 5 Comparison of forming limit diagrams

不同点: 3 组优选组合工艺参数和成形效果的不同点见表 4。

表 4 3 组优选组合工艺参数和成形效果的对比

Table 4 The difference among the three preferred combinations of process parameters and the forming effects

组合	完全锁模力 /(N·mm ⁻¹)	板坯厚度 /mm	摩擦 因数	最大减薄 率/%	未充分 变形区
A	600	0.5	0.09	24.5	较少
B	700	0.7	0.11	23.7	稍多
C	750	0.8	0.12	22.8	稍多

5 工艺试验研究

以模拟分析结果为指导, 结合生产实际条件, 制作了相应模具, 材料选用镀锌板, 厚度为 0.5 mm, 在 315 t 液压机上进行拉延试验。完成的工件图如图 6 所示。生产实验结果与模拟分析相吻合, 证明工艺参数优化设计满足生产实际的工艺方案。



图 6 冲压完成后的工件

Fig. 6 Workpiece after completion of stamping

6 结论

针对当前隔热板的研究状况, 利用有限元模拟技术对隔热板冲压成形工艺进行分析研究, 获得了合格的产品。

1) 通过对隔热板零件的工艺性进行分析, 得到了可能的成形方案, 并对这些方案进行对比, 确定了合理的成形方案。

2) 建立隔热板成形的有限元模型, 采用显/隐式联合求解的方法, 对隔热板进行了成形分析和优化设计, 得到了压边力、完全锁模力、板坯厚度和摩擦因数等工艺参数对成形性的影响。

参考文献:

- [1] 李玉兰,刘宏. 隔热板成形工艺分析与拉深模设计[J]. 模具工业,2010,36(5):38—41.
LI Yu-lan, LIU Hong. Process Analysis and Design of Drawing Die for Thermal Insulating Board[J]. Die & Mould Industry,2010,36(5):38—41.
- [2] BAKSHI-JOOYBARI M, RAHMANI B, DAHMANI V, et al. The Study of Spring-Back of CK67 Steel Sheet in V-die and U-die Bending Processes[J]. Materials and Design,2009(30):2410—2419.
- [3] 余天明,马文星,朱丙东,等. 超薄镀铝钢板冲压成形的数值模拟[J]. 锻压技术,2009,34(6):65—69.
YU Tian-ming, MA Wen-xing, ZHU Bing-dong, et al. Numerical Simulation of Ultra-Thin Aluminum-Coated Steel Stamping[J]. Forging & Stamping Technology,2009,34(6):65—69.
- [4] 胡泽豪,刘娟,王楠. 基于 Dynaform 的圆筒拉深件数值模拟[J]. 机械研究与应用,2011(6):29—33.
HU Ze-hao, LIU Juan, WANG Nan. Numerical Simulation of Cylinder Part Based on Dynaform[J]. Mechanical Research & Application,2011(6):65—69.
- [5] CENTENO G, MARTINEZ-DONAIRE A J, et al. Experimental Study on the Evaluation of Necking and Fracture Strains in Sheet Metal Forming Process[J]. Procedia Engineering,2013(63):650—658.
- [6] 郭敏杰,曾珊珊. 基于 DYNAFORM 的汽车纵梁工艺分析及冲压数值模拟[J]. 热加工工艺,2011,40(5):112—114.
GUO Min-jie, ZENG Shan-qi. Process Analysis and Stamping Numerical Simulation of Auto Carling Based on Dynaform[J]. Hot Working Technology,2011,40(5):112—114.
- [7] 周新弘,杨昆飞. 正交试验法对冲压件多工艺参数优化的仿真及实验验证[J]. 科技创新导报,2011,30:126—127.
- [8] LIU Wei, YANG Yu-ying. Multi-objective Optimization of Sheet Metal Forming Process Using Pareto-based Genetic Algorithm[J]. Journal of Material Processing Technology,2008(208):499—506.
- [9] 邓明,吕琳,王正立. 基于正交方案的闭挤式精冲工艺参数优化[J]. 锻压技术,2011,36(6):107—113.
DENG Ming, LYU Lin, WANG Zheng-li. Parameter Optimization of Closed Extrusion Fine Stamping Process Based on Orthogonal Scheme[J]. Forging & Stamping Technology,2011,36(6):107—113.
- [10] 胡文化,雒亚涛. 薄壁内、外半管冲压成形工艺参数模拟优化设计[J]. 火箭推进,2011,37(5):52—54.
HU Wen-hua, LUO Ya-tao. Optimization Design Based on Parameter Simulation of Thin-Walled Internal and External Semi-pipes Stamping Process[J]. Journal of Rocket Propulsion,2011,37(5):52—54.
- [11] 张笑笑,王雷刚,黄瑶. 镀锌板冲压成形性的模拟与实验研究[J]. 锻压技术,2011,36(6):19—23.
ZHANG Xiao-xiao, WANG Lei-gang, HUANG Yao. Simulation and Experimental Research of Galvanized Sheet Stamping Formability[J]. Forging & Stamping Technology,2011,36(6):19—23.
- [12] SUN Guang-yong, LI Guang-yao, LI Qing. Variable Fidelity Design Based Surrogate and Artificial Bee Colony Algorithm for Sheet Metal Forming Process[J]. Finite Element in Analysis and Design,2012(59):76—90.
- [13] 徐雅冬,郭津津. 板料成形数值模拟的过程研究[J]. 天津理工大学学报,2008,24(1):32—34.
XU Ya-dong, GUO Jin-jin. The Research of Sheet Metal Forming Numerical Simulation Process[J]. Journal of Tianjin University of Technology,2008,24(1):32—34.
- [14] 朱国明,康永林,吕超. 冲压、回弹及应变速率对双相钢成形件碰撞性能影响的模拟[J]. 机械工程材料,2011,35(7):100—104.
ZHU Guo-ming, KANG Yong-lin, LYU Chao. Simulation About The Influence of Stamping, Springback and Strain Rate on Collision Performance of Dual-Phase Steel Parts[J]. Materials for Mechanical Engineering,2011,35(7):100—104.