

汽车 U 形隔热板冲压回弹控制

闻瑶, 方笠纬, 王成国, 宋群超

(合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009)

摘要: **目的** 解决隔热板成形常见问题以及预测回弹量的大小。 **方法** 以有限元分析软件 Dynaform 为基础, 研究毛坯尺寸、压边力、拉延筋布置以及摩擦因数对隔热板成形性的影响。 **结果** 得出了隔热板的较佳成形工艺参数。 **结论** 通过修正模具和改善工艺来不断地改善回弹, 能准确地预测回弹量的大小。优化后的回弹量分别为 $\Delta d=0.918\text{ mm}$, $\Delta\alpha=0.340^\circ$, 回弹量得到了有效的控制。

关键词: U 形隔热板; 回弹; DYNAFORM; 数值模拟

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2014.05.022

中图分类号: TG386.3

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2014)05-0124-04

Springback Control in the Forming of U-shaped Thermal Baffle

WEN Yao, FANG Li-wei, WANG Cheng-guo, SONG Qun-chao

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

ABSTRACT: **Objective** To solve the forming flaws of thermal baffles and to predict the amount of springback. **Methods** The effects of blank size, blank holding force, draw bead layout and friction coefficient on the forming quality were studied through simulation based on the finite element analysis software Dynaform. **Results** The optimal processing parameters of thermal baffle were obtained. **Conclusion** The size of the springback could be precisely predicted and the effect of springback could be improved through constant mold compensation and process improvement. The springback after optimization was $\Delta d=0.918\text{ mm}$ and $\Delta\alpha=0.340^\circ$, respectively, and the springback could be effectively controlled.

KEY WORDS: U-shaped thermal baffle; springback; Dynaform; numerical simulation

汽车隔热板,也称热屏蔽板,一般布置在发动机两侧和车身底部排气管通道上方^[1-5]。冲压成形工艺是影响汽车隔热板成形性能的主要因素。隔热板在冲压成形过程中,会产生很多缺陷,如拉裂、起皱及回弹等,其中回弹问题最为复杂^[6-10]。控制覆盖件成形过程中的回弹主要有2种方法:一是修正模具型面;二是制定合理的冲压成形工艺^[11-14]。文中以隔热板为研究对象,利用 Dynaform 软件对隔热板成形性及回弹进行模拟研究,分析了隔热板的成形

工艺,对其进行优化,并进行回弹控制。

1 汽车 U 形隔热板有限元模型的建立

通过导入零件模型,并对其进行网格划分与修补检查,定义成形工具,创建毛坯以及定义拉延筋,并设置成形参数。零件如图1所示,零件厚度为0.7 mm。

材料采用 SPCE(36)——深冲用冷轧碳素钢薄



图1 零件模型

Fig. 1 Thermal baffle part diagram

板。为了更好地保证拉伸成形,模具之间的最终闭合间隙全部选取为 $1.1t$, 在文中取 0.77 mm 。利用 Dynaform 模拟软件计算出压边面积约为 $101\ 250\text{ mm}^2$, 压边力计算公式为:

$$F = Q \times A$$

由于隔热板材料为 SPCE(36), Q 值一般取在 $2 \sim 2.5$ 之间。计算得到压边力大概为 200 kN , 但零件出现大量的未充分变形区, 调整压边力至 400 kN 。有限元模型如图 2 所示。

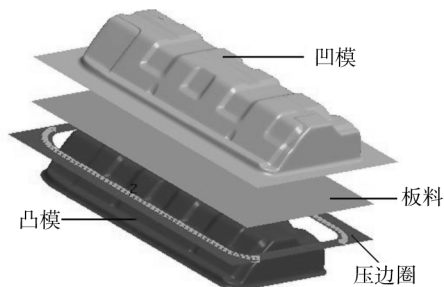


图2 有限元模型

Fig. 2 The stamping finite element model of thermal baffle

通过 Dynaform 对隔热板进行数值模拟, 得到零件的成形极限图。当压边力设置为 400 kN , 对起皱部位布置合理的拉伸筋(拉伸筋由压料面的内轮廓向外偏置 25 mm 后编辑得到), 并确定锁模力及锁模程度。拉伸筋设置如图 3 所示。

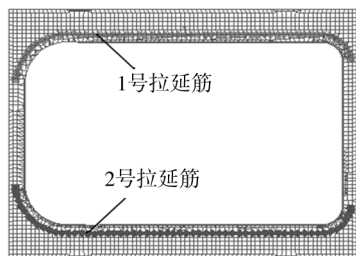


图3 拉伸筋的布置

Fig. 3 The arrangement of drawbeads

在工艺参数不变的情况下, 对不加拉伸筋的情况作了模拟对比分析。不设拉伸筋时, 零件中存在着较大面积的未充分变形区和起皱区, 而且起皱比较严重, 成形质量较差, 而添加拉伸筋后成形效果得到很大程度上的改善。由于零件的对称性, 由前期探索模拟得到一号和二号拉伸筋的较佳锁死率均为 45% , 得到的锁模力为 315 N/m 。其他工艺参数不变的情况下, 摩擦因数对隔热板成形的影响, 所选取的摩擦因数分别为 $0.10, 0.125, 0.15$ 。模拟结果显示, 零件最佳的摩擦因数值为 0.125 。

通过调整工艺参数得到优化后的成形参数, 成形极限图如图 4 所示。工艺参数为: 坯料尺寸 $760\text{ mm} \times 550\text{ mm}$, 压边力为 400 kN , 1 号和 2 号拉伸筋阻力系数为 45% , 摩擦因数为 0.125 。

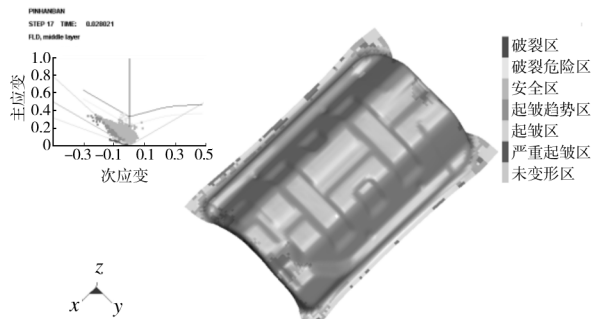


图4 优化后的成形极限图

Fig. 4 FLD after optimization

2 回弹的分析与控制

影响板料回弹的因素主要有: 材料力学性能、凹模圆角半径、凹凸模间隙、压边力以及摩擦因数等。文中根据零件特点, 主要从 3 个主要因素进行分析。即通过凹凸模间隙 Z 、凹模圆角半径 r 、摩擦因数 μ 来控制回弹量。截面线的选取位置如图 5 所示。

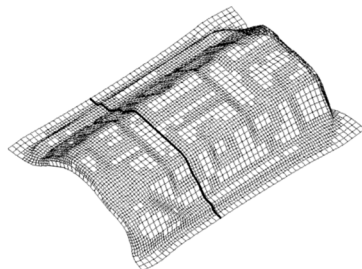


图5 选取截面线

Fig. 5 Selection of the section line

在截面线图中,选取零件开口处的两点,通过测量两点在回弹前后的距离来分析回弹。在截面线上标出 4 个点,左右 2 个点确定一条直线,分别测量出零件回弹前后这 2 条直线间的夹角,如图 6 所示。

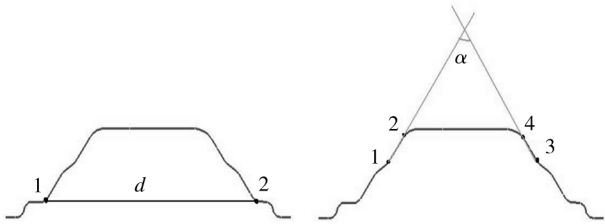


图 6 回弹测量图
Fig. 6 Measurement of springback

首先,对以上所得的成形最佳参数组合:凹凸模间隙 $Z = 110\% t = 0.77\text{ mm}$,凹模圆角半径 $r = 10\text{ mm}$,摩擦因数 $\mu = 0.125$ 这个条件下的回弹量进行了计算和分析。通过比较回弹前后开口距离和夹角的变化情况,从两帧图中,可以发现零件发生了较明显的变形,即产生了回弹,回弹前后数值变化见表 1。

表 1 最佳工艺参数情况下回弹前后的参数对比
Table 1 Comparison of the optimal technical parameters before and after springback

位置	两点间距离 d/mm	两线间夹角 $\alpha/(\text{^\circ})$
回弹前	356.511	76.758
回弹后	357.615	78.202
回弹量	1.104	1.444

由于回弹量较大,需要对凹凸模间隙、凹模圆角半径以及摩擦因数这几个参数进行调整,调整至最优化的组合,达到回弹前后开口距离差 Δd 在 1 mm 以内、夹角差 $\Delta\alpha$ 在 1° 以内的效果。

正交试验设计是研究多因素多水平的一种设计方法^[9]。基于这一点,选取三因素:凹凸模间隙 Z 、凹模圆角半径 r 、摩擦因数 μ ,每个因素选取 3 个水平,在不断调整模具间隙和凹模圆角半径、合理设定润滑条件之后进行回弹正交试验,各因素的水平值如下。

- A 因素(凹凸模间隙 Z) $A_1 = 110\% t = 0.77\text{ mm}$, $A_2 = 115\% t = 0.805\text{ mm}$, $A_3 = 120\% t = 0.84\text{ mm}$ 。
- B 因素(凹模圆角半径 r) $B_1 = 12\text{ mm}$, $B_2 = 10\text{ mm}$, $B_3 = 14\text{ mm}$ 。
- C 因素(摩擦因数 μ) $C_1 = 0.1$, $C_2 = 0.125$, $C_3 =$

0.135。

其中: t 为板料的厚度。

试验设计及回弹结果如表 2 及表 3 所示。

表 2 三因素对回弹距离 Δd 的影响
Table 2 Impact of three factors on the springback distance Δd

试验号	A (Z)	B (r)	C (μ)	回弹前后距 离差 $\Delta d/\text{mm}$
1	0.77	12	0.1	1.267
2	0.77	10	0.125	1.104
3	0.77	14	0.135	1.050
4	0.805	12	0.125	0.918
5	0.805	10	0.135	1.090
6	0.805	14	0.1	1.493
7	0.84	12	0.135	1.620
8	0.84	10	0.1	1.472
9	0.84	14	0.125	1.056
均值 k_1	1.107	1.268	1.411	
均值 k_2	1.167	1.222	1.026	
均值 k_3	1.383	1.200	1.253	
极差 R	0.276	0.068	0.385	

表 3 三因素对回弹夹角 $\Delta\alpha$ 的影响
Table 3 Impact of three factors on the springback angle $\Delta\alpha$

试验号	A (Z)	B (r)	C (μ)	回弹前后 夹角差 $\Delta\alpha/(\text{^\circ})$
1	0.77	12	0.1	1.309
2	0.77	10	0.125	1.444
3	0.77	14	0.135	1.052
4	0.805	12	0.125	0.340
5	0.805	10	0.135	1.066
6	0.805	14	0.1	0.754
7	0.84	12	0.135	0.913
8	0.84	10	0.1	0.882
9	0.84	14	0.125	1.707
均值 k_1	1.268	0.854	0.982	
均值 k_2	0.720	1.131	1.164	
均值 k_3	1.167	1.171	1.010	
极差 R	0.548	0.317	0.182	

对正交试验结果进行分析,计算出均值和极差,可以得到各个因素对该零件回弹量 Δd 的影响作用顺序: $C > A > B$ 。即模具间的摩擦因数 μ 对回弹距离 Δd 的影响最大,凹凸模之间的间隙 Z 的影响作用次之,凹模圆角半径 r 的影响作用最小。

根据各个因素对回弹量 Δd 的影响作用大小顺序,可以有针对性地调整各个工艺参数,以有效

控制回弹量 Δd 。由于该零件回弹的衡量不仅仅有回弹距离 Δd , 同时还需考虑回弹量 $\Delta\alpha$ 的影响因素。对正交试验结果进行分析, 计算出均值和极差, 可以得到各个因素对该零件回弹量 $\Delta\alpha$ 的影响作用顺序: $A > B > C$ 。即凹凸模之间的间隙 Z 对回弹夹角 $\Delta\alpha$ 的影响最大, 凹模圆角半径 r 的影响作用次之, 模具间的摩擦因数 μ 的影响作用最小。

综合考虑关于 Δd 和 $\Delta\alpha$ 正交试验结果, 可以得出一组较好的参数组合, 当凹凸模间隙取 0.805 (1.15 t)、凹模圆角半径取 12 mm、摩擦因数取 0.125 时, 成形过后零件的回弹量是在合理范围内的, 此时优化后的回弹量分别为 $\Delta d = 0.918$ mm, $\Delta\alpha = 0.340^\circ$, 回弹得到非常有效的控制。综上所述, 最终得到最佳的一组参数组合: 凹凸模间隙 $Z = 0.805$ mm、凹模圆角半径 $r = 12$ mm、摩擦因数 $\mu = 0.125$ 。

3 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, 材料为深冲用冷轧碳素钢, 厚度为 0.7 mm, 在 315 t 液压机上进行拉伸试验, 完成的工作件见图 7。生产实验结果与模拟分析相吻合, 证明优化设计的工艺方案满足生产实际。



图 7 冲压完成后的零件

Fig. 7 Workpiece after completion of stamping

4 结论

文中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) 针对凹凸模间隙、凹模圆角半径和摩擦因数 3 个主要影响回弹的因素进行了正交试验, 通过试验结果的对比, 得到优化后的回弹量分别为 $\Delta d = 0.918$ mm, $\Delta\alpha = 0.340^\circ$, 有效控制了回弹。

参考文献:

- [1] BAKHSHI-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.
- [2] 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.
- [3] CENTENO G, MARTINEZ-DONAIRE A J, Valvellano C, et al. Experimental Study on the Evaluation of Necking and Fracture Strains in Sheet Metal Forming Process[J]. Procedia Engineering, 2013(63): 650—658.
- [4] 郭敏杰, 曾珊琪. 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.

- 1(3):54.
- [4] 程然,胡建华,黄尚宇,等.基于有限元分析的精冲凸模寿命估算[J].塑性工程学报,2010,17(3):119.
CHENG Ran, HU Jian-hua, HUANG Shang-yu, et al. The Estimation of Fine-blanking Punch Life Based on FEM Analysis [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2010, 17(3): 119.
- [5] 林方.典型精冲凸模的失效分析及结构优化[D].武汉:华中科技大学,2011.
LIN Fang. Failure Analysis and Structural Optimization of the Typical Fine Blanking Punch [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2011.
- [6] 涂光祺.精冲技术[M].北京:机械工业出版社,2005.
TU Guang-qi. Fine Blanking Technology [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2005.
- [7] 张永固.板状直齿轮齿廓的闭挤式精冲成形研究[D].重庆:重庆理工大学,2011.
ZHANG Yong-gu. Research on the Forming of Clintheriform Straight Gear's Tooth-profile by Closed Extruding Fine-blanking [D]. Chongqing: Chongqing University of Technology, 2011.
- [8] 吕小莲,费勤凯,张孝琼,等.小孔冲裁模具失效性研究[J].机床与液压,2012,40(8):12.
LYU Xiao-lian, FEI Qing-kai, ZHANG Xiao-qiong, et al. Study on the Invalidation of the Little Hole Punching Die [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2012, 40(8): 12.
- [9] 丁海,刘涛,翟德梅.冷冲模具失效研究[J].热加工工艺,2013,42(21):208.
DING Hai, LIU Tao, ZHAI De-mei. Research on Failure of Cold Stamping Dies [J]. Hot Working Technology, 2013, 42(21): 208.
- [10] 洪慎章.影响冷挤压模寿命的因素分析[J].模具制造,2004(6):53.
HONG Shen-zhang. The Factorial Analysis of Influence on Cold Extruding Dies [J]. Die & Mould Manufacture, 2004(6): 53.
- [11] 林方,张祥林,吴凡,等.精冲凸模根部断裂的失效分析[J].模具工业,2011,37(4):29.
LIN Fang, ZHANG Xiang-lin, WU Fan, et al. Failure Analysis on the Fracture of Fine Blanking Punch Root [J]. Die & Mould Industry, 2011, 37(4): 29.
- [12] 徐胜利,苗高蕾.冷挤压模具失效分析与提高模具寿命途径[J].锻压装备与制造技术,2011(3):73.
XU Sheng-li, MIAO Gao-lei. Failure Analysis of Cold Extrusion Die Life and Improvement Solution [J]. China Metal Forming Equipment & Manufacturing Technology, 2011(3): 73.
- [13] 林朝平.改善冲压模具热处理变形与开裂的对策[J].热加工工艺,2007,36(18):85—86.
LIN Chao-pin. Measurement of Improving Deformation and Split of Die & Mould in Heat Treatment [J]. Hot Working Technology, 2007, 36(18): 85—86.

(上接第127页)

- 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 杨安民.压边力对板料U形弯曲回弹的影响[J].模具工业,2007,33(8):44—48.
YANG An-min. Effect of Blankholder Pressure on the Springback in U-shaped Bending of Sheet Material [J]. Die & Mould Industry, 2007, 33(8): 44—48.
- [13] 袁美玲,薛克敏,曹爱民.基于数值模拟的异形波导件中厚板成形工艺与模具设计研究[J].金属铸锻焊技术,2009,38(3):138—141.
YUAN Mei-ling, XUE Ke-min, CAO Ai-min. Investigation of Medium Plate Forming Process and Die Design of Special-shaped Wave-guide Based on Numerical Simulation [J]. Casting Forging Welding, 2009, 38(3): 138—141.
- [14] 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.