隔热板冲压成形工艺参数优化

杜勇,闻瑶,马俊林,薛克敏

(合肥工业大学 材料科学与工程学院,合肥 230009)

摘要:目的 确定隔热板合理可行的成形方案。方法 简要分析了零件的成形特点,并利用有限 元软件对零件的拉延成形进行了数值模拟。设计正交实验时,以压边力、1 号和3 号拉延筋的完全 锁模力、2 号和4 号拉延筋的完全锁模力及摩擦因数4 个参数为自变量,以最大厚度减薄率、破裂 情况以及未充分变形区大小为优化目标。结果 2 号和4 号拉延筋是该隔热板成形的主要影响因 素,锁模力都为60 N/mm 时,隔热板拉延成形效果较好。结论 通过分析各因素对优化目标的影 响,得出了优化的工艺参数值,为零件的实际生产提供指导。

关键词:隔热板;正交优化;数值模拟

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2014.05.019

中图分类号: TG386.3 文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2014)05-0108-05

Optimization of the Process Parameters for Thermal Baffle Stamping Forming

DU Yong, WEN Yao, MA Jun-lin, XUE Ke-min

(School of Materials Science & Engineering, Hefei Institute of Technology, Hefei 230009, China)

ABSTRACT: Objective To determine reasonable and feasible forming solutions. **Methods** The forming characteristics of the thermal baffle was analyzed, and finite element software was used to conduct numerical simulation for drawing forming of the part. When designing the orthogonal experiment, BHF, full clamping force of 1 and 3 drawbeads, full clamping force of 2 and 4 drawbeads and the friction coefficient were set as the independent variables, and the maximal thickness reduction rate, rupture as well as size of insufficient deformation zone were set as the optimization targets. **Results** The 2nd and the 4th drawbeads were the main influencing factors of the thermal baffle forming, when both clamping forces were 60 N/mm, the thermal baffle formed better. **Conclusion** Optimized process parameters were obtained through analysis of the impact of various factors on the optimization targets, which provides guidance for the actual production of the part.

KEY WORDS: thermal baffle; orthogonal experimental optimization; numerical simulation

汽车隔热板是金属冲压成形零件,较之一般的 冲压件,具有成形深度较深、高度起伏较大以及一定 的对称性等特点。由于隔热板的成形深度较大且高 度起伏明显,在成形之后,局部区域易产生拉裂和起 皱等缺陷^[1]。如果采用传统的模具设计方法,难以 预先估计板料的成形性和模具设计的正确性。为了 减少模具的设计周期及设计成本,利用板料冲压成形 有限元模拟软件进行拉延成形模拟。数值模拟分析 技术在冲压技术领域中的应用研究,改变了传统的经 验加实做试验为主的冲压加工模式。数值模拟分析

收稿日期: 2014-06-16

作者简介:杜勇(1990—),男,硕士,安徽六安人,主要研究方向为材料成形过程控制及组织模拟。

109

技术对冲压工艺及模具计的预测及指导作用,使冲压 工艺有了预见性和科学性,也提高了模具设计的准确 性和可靠性。技术手段的提高,也大幅度缩短了模具 设计及制造调试周期。有限元模拟软件 DYNAFORM 可以预测成形过程中板料出现的破裂、起皱、减薄、回 弹等问题,从而评测板料的成形性能^[2-3]。

文中采用有限元软件对隔热板的拉延成形过程 进行数值模拟,制定了合理的成形工艺方案,获得了 优化的工艺参数,为实际生产提供参考。

1 隔热板成形工艺分析

冲压工艺合理与否直接影响材料的利用率、冲模的结构、制件的质量和生产率,甚至决定模具开发的成败。在成形工艺制定前,需对隔热板进行工艺分析,找出成形的难点所在,以便在工艺安排上重点考虑^[4]。热板零件如图1所示,零件厚为0.5 mm,材料为AA1050,由于零件的形状不规则,在模拟时添加了内外工艺补充面和压料面^[5]。由于零件厚度较薄,在0.4~0.8 mm之间,属于薄板冲压,压料面易于破碎,且零件各处深度不一,在凸台成形时易出现局部破裂,影响整体成形效果。



图 1 隔热板零件 Fig. 1 Diagram of the thermal baffle part

为了得到较好的成形结果,采用一次拉延的冲 压工序即可,且可增加拉延筋的设置,在实际生产中 还需对零件进行修边、冲孔等处理,因此隔热板的成 形工艺为:拉延—切边—翻边—加装隔热垫—压 合—翻边铆接—冲孔—铆接支架。

2 隔热板冲压过程的有限元模拟

2.1 零件模型的导入和网格划分

隔热板冲压过程的有限元模型如图 2 所示,板

坯是由模拟软件中的 BSE 模块快速求解得到的,其 最小宽度为 273 mm,最大宽度为 596 mm,高为 473 mm,厚度为 0.5 mm。板坯定义为变形体,采用壳单 元进行自适应网格划分,模具定义为刚体,采用刚性 四节点进行网格划分^[7]。由于该隔热板的形状对 称,左右部位变形情况一致;且拉延深度较大,所以 本数值模拟采用的是单动拉延成形^[8-9]。



Fig. 2 Finite element model of the thermal baffle

2.2 压边力和拉延筋的确定

冲压成形过程中,压边力大小是影响冲压件起 皱和开裂出现与否的主要因素之一^[10]。拉延筋的 设置可以改变板坯在凹模部分的拉伸阻力分布形 式,而拉伸阻力的大小将平衡板坯在凹模口部的流 动速度^[11]。

利用 DYNAFORM 模拟软件计算得到压边面积 为 35000 mm² 左右,由公式: *F* = (2-2.5)×压边面 积^[12],得到压边力的估计值为 80 kN。其他参数不 变,在此压边力下,零件未出现拉裂,但未充分变形 且起皱区域较多,成形效果不理想。为了改善金属 流动效果,提高成冲压件质量,克服起皱和变形不充 分的现象,经分析成形极限图,本模拟中采用了更大 的压边力,并且设置了4 条等效拉延筋,拉延筋的布 置和形状如图 3 所示,拉延筋参数见表 1。



图 3 拉延筋的布置及编号 Fig. 3 Layout and numbering of drawbeads

2.3 有限元模拟结果及分析

有限元软件模拟得到的成形极限图分别如图 4 和图 5 所示。





图 5 布置拉延筋后的成形极限图 Fig. 5 Forming limit diagram with drawbeads

从对比结果中可以看出,不设拉延筋时,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。添加拉延筋后成形效果得 到很大程度上的改善,仅有少许拉裂,零件曲面上起 皱得到消除。可见合理布置拉延筋可以有效地缓解 零件各处变形的不均匀性,使起皱趋势明显减小。

表1	拉延筋参数设置
----	---------

Table 1 Parameter	settings	of	drawbeads
-------------------	----------	----	-----------

编号	锁死率/%	锁模力/(N·mm ⁻¹)
1	25	100
2	35	100
3	25	100
4	35	100

3 正交实验设计

正交试验法是利用标准的正交表来安排实验的 方案,并对实验结果进行计算分析。其是以减少试 验次数,缩短试验周期,迅速找到优化方案为目的的 科学计算方法。

基于正交实验的思想,将其应用于隔热板的冲 压模拟过程中。在冲压成形模拟中,设计正交试验 以板料最大厚度减薄率、破裂情况以及未充分变形 区大小为目标函数,以压边圈压边力、1 号和3 拉延 筋的完全锁模力、2 号和4 号拉延筋的完全锁模力、 摩擦因数^[13]4 个参数为自变量。安排四因素四水 平的正交表 L₁₆(4⁴),建立正交实验方案。进行 16 次有限元数值模拟,仿真模拟隔热板拉延成形。获 得的设计自变量和质量目标函数的结果如表 2 和表 3 所示^[14–15]。

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

	压边力 YBL/kN	1 号和3 号拉延 筋完全锁模力 F ₁ /(N⋅mm ⁻¹)	2 号和4 号拉延 筋完锁模力 <i>F</i> ₂ /(N⋅mm ⁻¹)	摩擦 因数 µ
1	150	25	30	0.16
2	200	50	60	0.18
3	250	75	90	0.20
4	300	100	120	0.22

表 3	正交试验数值模拟结果	
Table 3 Numerical	simulation results of orthogonal tes	st

						0	
$L_{16}(4^4)$	YBL	F_1	F_{2}	μ	破裂	减薄 率/%	未充分 变形区
1	150	25	30	0.16	无	25.0	很多
2	150	50	60	0.18	无	31.4	较多
3	150	75	90	0.20	无	30.5	很少
4	150	100	120	0.22	侧壁	53.3	很少
5	200	25	60	0.20	无	30.3	很多
6	200	50	30	0.22	无	30.6	较多
7	200	75	120	0.16	侧壁	55.8	较少
8	200	100	90	0.18	无	27.9	很少
9	250	25	90	0.22	无	27.8	较多
10	250	50	120	0.20	侧壁	63.3	较少
11	250	75	30	0.18	无	27.2	很多
12	250	100	60	0.16	无	32.6	很少
13	300	25	120	0.18	侧壁	70.4	较少
14	300	50	90	0.16	无	25.1	较少
15	300	75	60	0.22	无	31.5	较少
16	300	100	30	0.20	无	30.3	较少
K_1	35.05	38.38	28.28	34.63	K_{1}, K_{2}	<i>, K</i> , 为	各水平
K_2	36.15	37.60	31.45	39.23	对应自	内4个	隔热板
K_3	37.73	36. 25	27.83	38.60	零件员	き厚减	薄率的
K_4	39.33	36.03	60.70	35.80	平均值	Ĩ	
R	4.28	2.35	32.87	4.60	极差	$R = k_{\rm ma}$	$k_{\rm min} - k_{\rm min}$

根据计算出的各个因素极差值的大小,可以看 出各个因素影响的主次顺序为2号和4号拉延筋的 完全锁模力>摩擦系数μ>压边力 YBL>1号和3号 拉延筋的完全锁模力,即2号和4号拉延筋的完全 锁模力为主要因素,影响最大。

通过极差分析,得出的最佳工艺参数组合如表 4 所示。优化前后的成形极限图对比见图 6,可见工 艺优化后,成形效果得到了明显的改善。

表 4 3 组优选组合工艺参数和成形效果的对比 Table 4 Comparison of the three groups of preferred combination of process parameters and the effect of forming

组合	压边力	1号和3号拉延筋锁	2 号和4 号拉延筋锁	摩擦	动动地之	ば速速/01	未充分
	YBL/kN	模力 F ₁ /(N·mm ⁻¹)	模力 F ₂ /(N·mm ⁻¹)	因数μ	伮衮旧优	侧傳平/%	变形区
A	150	75	90	0.20	无	30.5	很少
В	200	100	90	0.18	无	27.9	很少
С	250	100	60	0.16	无	32.6	很少



Fig. 6 Comparison of Forming Limit Diagram

4 结论

 建立隔热板成形的有限元模型,通过模拟, 可以得到压边圈和拉延筋的设置可以明显减少未充 分变形区和起皱区的出现,明显提高隔热板的成形 性。

2)经正交实验优化,得到2号和4号拉延筋锁 模力是该隔热板成形的主要影响因素,为生产过程 中锁模力的确定提供参考价值。

3)利用正交实验,得到压边力为 200 kN,1 号和3 号拉延筋的锁模力为 100 N/mm,2 号和4 号拉 延筋的锁模力为 60 N/mm,摩擦因数为 0.16 时,隔 热板拉延成形较好。

参考文献:

 [1] 韩玉强,李飞舟. 基于 Dynaform 的轿车引擎盖板冲压 成形仿真的研究[J]. 热加工工艺,2012(8):95—98.
 HAN Yu-qiang, LI Fei-zhou. Research of Stamping Form Simulation for Hood Outer Panel Based on Dynaform[J]. Hot Working Technology, 2012(8):95-98.

 [2] 封彦锋,党新安.板料成形 CAE 技术研究[J].电加工 与模具,2008:53—56.
 FENG Yan-feng, DANG Xin-an. The Research into Sheet

Metal Forming of CAE [J]. Electromachining & Mould, 2008;53—56.

- [3] NACEUR H, GUO Y Q, BATOZ J L, et al. Optimization of Draw Bead Restraining Forces and Draw Bead Design in Sheet Metal Forming Process [J]. 2001 (43): 2407— 2434.
- [4] 段向敏,代荣. 汽车覆盖件拉延成形过程分析[J]. 机 械设计与制造,2013(10):239—241.
 DUAN Xiang-min,DAI Rong. The Analysis of Sheet Metal Forming Process for Automotive Cover[J]. Machinery Design & Manufacture,2013(10):239—241.
- [5] 郑金桥,黄勇,王义林,等.汽车覆盖件冲压工艺设计 现状及发展趋势[J].塑性工程学报,2003(10):9—
 13.

ZHENG Jing-qiao, HUANG Yong, WANG Yi-lin, et al. Present Situation and Prospects of Stamping Process Planning for Automobile Panels[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2003(10):9—13. [6] 王义林,李志刚,习朝阳,等. 汽车覆盖件冲压方向的 优化[J]. 塑性工程学报,1994(1):25—30.
WANG Yi-lin,LI Zhi-gang,XI Zhao-yang, et al. Optimization of Stamping Direction for Autobody Panel [J].

Journal of Plasticity Engineering, 1994(1):25-30.

- [7] 付星星,万敏,周应科. 高精度高强不锈钢隔片零件拉 深成形研究[J]. 精密成形工程,2013,5(5):7—10.
 FU Xing-xing, WAN Min, ZHOU Ying-ke. Research on Deep Drawing Process for High - precision and High strength Stainless Steel Spacer[J]. Journal of Netshape Forming Engineering,2013,5(5):7—10.
- [8] 陈龙,张超,曹婷婷,等.高强钢复杂曲面件冲液拉深
 工艺模拟研究[J].精密成形工程,2012,4(4):39—42.

CHEN Long, ZHANG Chao, CAO Ting-ting, et al. Simulation Research of Sheet Hydroforming Process for High strength Steel Complex Surface Part [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2012, 4(4):39-42.

[9] 谢晖,杨旭静,成艾国,等.计算机仿真中板料冲压成 形压边力的优化[J].中国机械工程,2002(13): 1909—1915.

> XIE Hui, YANG Xu-jing, CHENG Ai-guo, et al. Optimization of Binder Force during Computer Simulation of Sheet Metal Forming[J]. China Mechanical Engineering, 2002(13):1909—1915.

 [10] 赵茂俞,薛克敏,李萍. 多目标质量的覆盖件成形工艺 参数优化[J]. 机械工程学报,2009,45(8):276—282.
 ZHAO Mao-yu,XUE Ke-min,LI Ping. Auto Panel Forming Process Parameters Optimization of Multi-objective Quality[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45 (8):276-282.

- [11] 冯天飞,施法中. 板料冲压成形有限元分析软件的智能化[J]. 塑性工程学报,2003(10):44—46.
 FENG Tian-fei, SHI Fa-Zhong. Realization of Intelligent for the Software of the Finite Elements Analysis about Sheet Metal Stamping Process [J]. Journal of Plasticity Engineering,2003(10):44—46.
- [12] 郭正华,李志刚,黄重九,等. 润滑条件下铝合金板成 形模拟中摩擦模型的研究[J]. 中国机械工程,2004.
 (15):1388—1391.
 GUO Zheng-hua, LI Zhi-gang, HUANG Chong-jiu, et al. Research on the Friction Model for Lubricated Aluminum Alloy Sheet Forming Simulation [J]. China Mechanical Engineering,2004(15):1388—1391.
- [13] 陈龙,黄璞,王炯,等. 基于正交实验和灰色系统理论的拼焊板前纵梁成形优化[J]. 塑性工程学报,2012.
 (4):1—5.
 CHEN Long, HUANG Pu, WANG Jiong, et al. Optimization of Tailor-welded front Longitudinal Forming Based on Orthogonal Experiment and Grey System Theory[J]. Jour-
- nal of Plasticity Engineering,2012(4):1—5. [14] 王志明,周璇. 基于正交试验的板料冲压回弹多工艺
- 参数优化[J]. 浙江科技学院学报, 2009(3): 305—308.

WANG Zhi-ming, ZHOU Xuan. Process Parameter Optimization on Sheet Stamping Based on Orthogonal Experiment[J]. Journal of Zhejiang University of Science and Technology, 2009(3):305-308.

(上接第75页)

- [11] 刘倩,黄放,吴玉忠.大型锻件心部空洞型缺陷控制的数值模拟研究[J]. 锻压技术,2014,39(2):132—136.
 LIU Qian,HUANG Fang,WU Yu-zhong. Numerical Simulation Study on Central Void Defects Control for Heavy Forgings[J]. Forging & Stamping Technology, 2014, 39 (2):132—136.
- [12] 魏科,王高潮,王志录,等.基于数值模拟的前轴辊锻件精确成形的研究与应用[J].锻压技术,2012,37
 (4):63—69.

WEI Ke, WANG Gao-chao, WANG Zhi-lu, et al. Research and Application of Front Axle Precision Forming Based on Numerical Simulation [J]. Forging & Stamping Technology, 2012, 37(4):63—69.

- [13] 张效迅. 大锻件锻造成形过程中内部空洞型缺陷演化 规律的研究[D]. 上海:上海交通大学,2009.
 ZHANG Xiao-xun. Research on Void Evolution in Large Ingot during Hot Forging[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University,2009.
- [14] 陈文,崔振山. 拔长过程有限元模拟的新方法[J]. 机 械工程学报,2010,46(10):40—46.
 CHEN Wen,CUI Zhen-shan. New Method for Finite Element Simulation of Stretch Forming[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering,2010,46(10):40—46.
- [15] CHENG Xiu-quan, HUO Yu-lin, XIA Qin-xiang, et al. Closing of Central Cavity in Shaft Heavy Forging[J]. Steel Research International, 2010, 81(9):330-333.

112