

# 基于正交试验的板料冲压回弹多工艺参数优化

王志明,周璇

(金华职业技术学院 机电工程学院,浙江 金华 321017)

**摘 要:**以 U 形板料为研究对象,综合考察评价了多个工艺参数对 U 形板料冲压回弹量的影响。通过正交表安排试验,对板料的冲压进行数值模拟获得冲压回弹量,取得试验数据。研究了不同工艺参数对板料回弹影响的程度,得到了使板料回弹量最小的参数组合。将正交试验法用于冲压工艺参数的优化,在保证一定的分析精度前提下,显著节省了工艺制订的时间,提高了工艺参数设计的效率。

**关键词:** U 形板料;冲压回弹性;工艺参数;参数优化

**中图分类号:** TG386

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-8798(2009)03-0305-04

## Process parameter optimization on sheet stamping based on orthogonal experiment

WANG Zhi-ming, ZHOU Xuan

(School of Mechanical and Electronic Engineering, Jinhua College of Profession and Technology, Jinhua 321017, China)

**Abstract:** The influence of process parameters on springback of sheet metal is studied comprehensively by using U-shape sheet metal as the test object. To plan the total experiment according to the orthogonal test table, CAE software is used to simulate the punching process. The springback quantity and parameter combination to minimize springback are obtained. Orthogonal test method is used to optimize the process parameters. On the premise of precision satisfaction, it cuts down the process time evidently and improves the efficiency of process design.

**Key words:** U-shape sheet; stamping springback; process parameter; parameter optimization

U 形板料冲压过程普遍存在典型的回弹问题。板料最终成形形状与模具几何形状、材料特征与摩擦特性等有关。在材料和冲压件几何形状一定的情况下,板料的回弹与其工艺参数密切相关。在传统的冲压工艺制订过程中,通常采用反复修正模具的方法,造成人力、物力和财力浪费。然而,利用正交

试验安排实验方案,通过计算机的数值模拟分析,可以对冲压过程进行仿真分析,定量地考察多个工艺参数对板料成形性能的影响,更准确地了解影响的大小。这样可以大大降低生产成本,缩短生产周期,提高企业的市场竞争力<sup>[1]</sup>。本研究利用有限元仿真软件 eta/Dynaform 作为冲压仿真工具代替具体试验。

收稿日期: 2009-06-11

基金项目: 金华市科技计划项目(2007-4-038)

作者简介: 王志明(1981—),男,浙江义乌人,讲师,硕士,主要从事模具 CAD/CAM/CAE 方面的教学与研究。

1 板料冲压及回弹的有限元数值仿真过程

以 U 形冲压件( NUMISHEET' 93 标准考题) 为实例, 利用 Dynaform 软件, 采用显式算法进行薄板冲压成形的成形模拟, 采用隐式算法计算回弹, 说明有限元对板料冲压数值模拟的过程。

1.1 板料冲压 CAD 建模

板料几何形状见图 1, 结构由凸模( Punch)、凹模( Die)、压边圈( Holder)、板料( Blank) 4 部分组成。板料、压边圈、凹模、凸模在 Pro/Engineer 中利用曲面特征生成, 把以上 4 个零件装配好, 然后导出为 iges 文件, 作为与 CAE 软件 Dynaform 交互的中间文件。

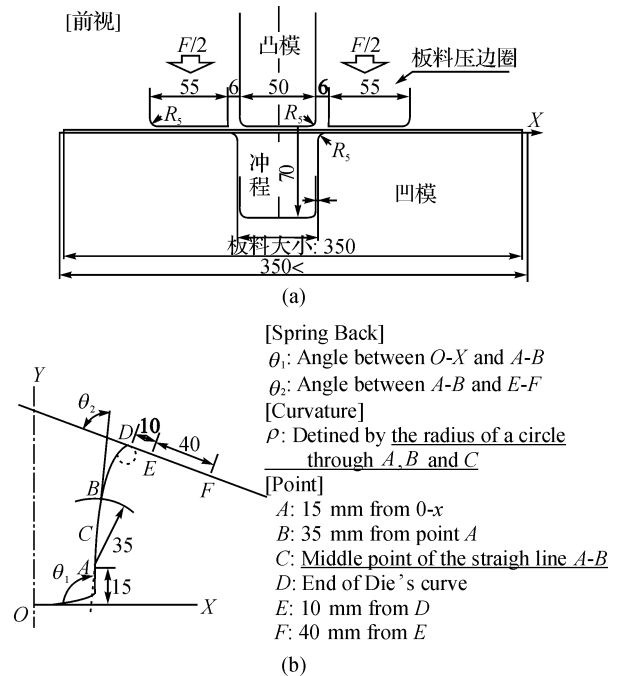


图 1 U 形冲压件

Fig. 1 U-shape sheet metal

1.2 板料冲压 CAE 仿真试验

采用 3 参数 Barlat-Lian 平面应力状态各向异性弹塑性模型, 有效应力-塑性应变关系为:

$$\sigma = 579.79(0.016\ 58 + \varepsilon^p)^{0.359\ 3}\text{ MPa}$$

模具和压边圈在 Dynaform 软件中为刚体, 板料选材铝合金材料, 材料参数: 密度  $\rho$  为 2 700 kg/m<sup>2</sup>, 厚度  $t$  为 0.81 mm, 摩擦系数  $f$  可变, 弹性模量  $E$  为 71 000 MPa, 泊松比  $\nu$  为 0.33, 宽厚应变比  $R00 = 0.71$ ,  $R45 = 0.58$ ,  $R90 = 0.70$ , Barlat 指数  $m$  为 8。

由于几何造型和载荷条件的对称性, 建立有限元模型时取 1/4<sup>[3]</sup>。板料为变形体, 模具和压边圈

为刚体, 采用四节点四边形的非线性 Belytschko-Tsay 薄板单元划分网格, 在薄板对称边界施加对称约束, 见图 2; 板料与刚体模具和压边圈的接触定义为面面接触。考虑界面摩擦, 动摩擦系数和静摩擦系数相等取为 0.162, 对压边圈施加恒定压边力 15 kN, 冲头的速度取虚拟速度为 10 000 mm/s。板料冲压成 U 形件的数值模拟结果如图 3 所示。

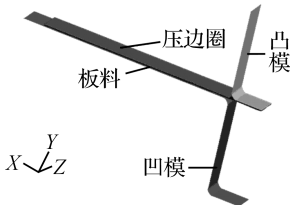


图 2 U 形板料有限元模型

Fig. 2 Finite element model

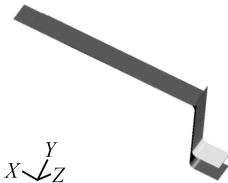


图 3 U 形板料成形结果

Fig. 3 Forming results

成形计算结束后, 采用静态隐式算法进行非线性分析计算回弹值。计算结果得到板料回弹模拟后的变形图, 如图 4 所示。

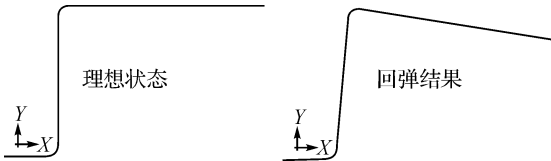


图 4 板料成形后理想形状和回弹结果比较

Fig. 4 Comparison between perfect shape with springback

显式算法和隐式算法相结合, 可以对板料冲压成形的回弹过程进行有效的数值模拟, 但是数值模拟的结果也会因为模拟过程中的工艺参数的设置而有差异<sup>[2]</sup>, 本研究着重探讨多因素工艺参数对板料冲压回弹量的影响。

2 基于正交试验的冲压仿真试验方案

正交表的因素: 变压边力(包括大压边力 BHF<sub>H</sub>, 小压边力 BHF<sub>L</sub>, 大小压变力的转变时间  $t/T$ ); 考核指标: 为了便于测量, 定义 U 形件法兰外缘处的沿冲压方向回弹位移为考核指标<sup>[4]</sup>。本研究

采用4个水平6个因素的正交表  $L_{32}(4^9 \times 2^4)$ , 水平及因素见表1。

表1 工艺参数因素及水平

Table 1 Factor and level of process parameters						
水平	$A(BHF_1)$	$B(t/T)$	$C(BHF_1)$	$D(Z\text{-凹凸})$	$E(r\text{-凹})$	$F(f)$
	$BHF_{\min} = 2\text{ kN}$		$BHF_{\max} = 15\text{ kN}$	模间隙)	模圆角)	
1	1.0 $BHF_{\min}$	0.7	1.1 $BHF_{\max}$	0.81	3	0.08
2	1.33 $BHF_{\min}$	0.743	1.2 $BHF_{\max}$	1.0	5	0.10
3	1.67 $BHF_{\min}$	0.786	1.4 $BHF_{\max}$	1.25	7	0.162
4	2.0 $BHF_{\min}$	0.93	1.5 $BHF_{\max}$	1.62	9	0.20

注: $BHF_{\min}$ 为不使板料起皱的最小压边力; $BHF_{\max}$ 为不使板料撕裂的最大压边力。

表2 模拟试验方案与结果

Table 2 Scheme and results of simulation							
条件号	$A(BHF_1/\text{kN})$	$B(t_1/T)$	$C(BHF_H/\text{kN})$	$D(Z/\text{mm})$	$E(R/\text{mm})$	$F(f)$	$\Delta Z/\text{mm}$
1	2	0.743	20.25	1.0	7	0.16	4.847
2	3.34	0.93	16.5	1.0	5	0.1	7.555
3	2.66	0.93	20.25	1.25	9	0.1	4.447
4	4	0.743	16.5	1.25	3	0.16	9.589
5	2	0.786	16.5	1.62	9	0.20	7.954
6	3.34	0.7	20.25	1.62	3	0.13	5.664
7	2.66	0.7	16.5	0.81	7	0.13	13.011
8	4	0.786	20.25	0.81	5	0.20	3.221
9	2	0.7	22.5	1.25	5	0.1	5.793
10	3.34	0.786	18	1.25	7	0.16	5.881
11	2.66	0.786	22.5	1.0	3	0.16	3.119
12	4	0.7	18	1.0	9	0.1	12.914
13	2	0.93	18	0.81	3	0.13	3.211
14	3.34	0.743	22.5	0.81	9	0.20	5.166
15	2.66	0.743	18	1.62	5	0.20	5.663
16	4	0.93	22.5	1.62	7	0.13	3.705
17	2	0.743	16.5	1.62	7	0.1	14.213
18	3.34	0.93	20.25	1.62	5	0.16	3.127
19	2.66	0.93	16.5	0.81	9	0.16	6.445
20	4	0.743	20.25	0.81	3	0.1	5.217
21	2	0.786	20.25	1.0	9	0.13	4.107
22	3.34	0.7	16.5	1.0	3	0.20	8.024
23	2.66	0.7	20.25	1.25	7	0.20	4.521
24	4	0.786	16.5	1.25	5	0.13	10.954
25	2	0.7	18	0.81	5	0.16	5.871
26	3.34	0.786	22.5	0.81	7	0.1	4.512
27	2.66	0.786	18	1.62	3	0.1	5.312
28	4	0.7	22.5	1.62	9	0.16	7.501
29	2	0.93	22.5	1.25	3	0.20	2.147
30	3.34	0.743	18	1.25	9	0.13	10.954
31	2.66	0.743	22.5	1.0	5	0.13	5.321
32	4	0.93	18	1.0	7	0.20	3.517

3 试验结果分析与参数优化

3.1 板料冲压仿真结果

正交表见表2,同时通过 Dynaform 软件得到模拟回弹结果。

3.2 工艺参数对回弹量的影响

为了直观起见,把各影响参数在不同水平下模拟试验的回弹量均值(即表3中的  $k_1, k_2, k_3, k_4$ )画成一张图,如图5所示。

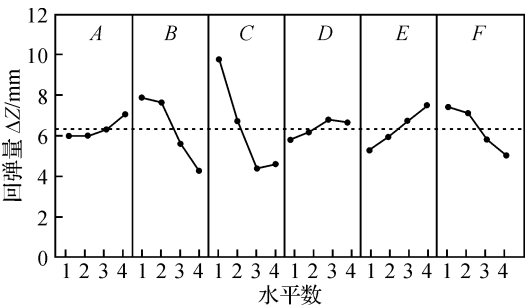


图 5 各因子和水平对回弹量的影响

Fig.5 Effects of each factor and level to springback quantity

图 5 中  $A B C D E F$  分别代表  $BHF_L$ 、 $t_1/T$ 、 $BHF_H$ 、 $Z$ 、 $R$ 、 $f$  对板料回弹量的影响。

各参数不同水平下试验结果均值的最大值和最小值之差即为“级差”，见表 3 中的  $R$  值。若该值大，则改变因子的水平会引起指标发生较大的变化，即该因子对指标的影响大；反之，影响就小<sup>[5]</sup>。从图 5 中可以明显地看出各因子（参数）对指标（回弹量）的影响大小，即  $RC > RB > RF > RE > RA > RD$ 。

同样，参照表 2，根据成形要求，板料成形后回弹量越小越好，可以得到各因子的优化组合为：第 29 组数据的参数组合  $A_1B_4C_4D_3E_1F_4$ 。

表 3 工艺参数对回弹量的影响数据分析

Table 3 Effect data analysis of process parameter to springback quantity						
	A	B	C	D	E	F
$K_1$	48.144	63.296	77.744	46.656	42.28	59.96
$K_2$	47.84	60.968	53.32	49.408	47.504	56.928
$K_3$	50.88	45.064	35.152	54.288	54.208	46.384
$K_4$	56.616	34.152	37.264	53.136	59.488	40.216
$k_1$	6.018	7.912	9.718	5.832	5.285	7.495
$k_2$	5.980	7.621	6.665	6.176	5.938	7.116
$k_3$	6.360	5.633	4.394	6.786	6.776	5.798
$k_4$	7.077	4.269	4.658	6.642	7.436	5.027
$R$	1.106	3.643	5.324	0.954	2.151	2.468
排序	5	2	1	6	4	3

$K_i = Y_{i1} + Y_{i2} + Y_{i3} + Y_{i4}$   
 $Y_{ij}$ 是指第  $i$  个因子第  $j$  水平的  
目标函数值，即板料回弹量  
 $\Delta Z, R$  是指级差。  
 $k_i = K_i/8$

4 结 语

利用正交试验与数值模拟软件相结合考察影响板料冲压回弹的工艺参数对回弹的影响,得出了工艺参数对冲压回弹量影响的折线图及工艺参数影响回弹量程度的顺序。通过正交试验也可以得出最佳的工艺参数组合,为制订冲压工艺提供可靠的依据。

参考文献:

[1] 赖欣武,胡树根. 基于正交试验的冲压件回弹预测研

究[J]. 轻工机械,2007,35(2):63-66.

[2] 龙仕彰,胡树根. 基于人工智能的冲压件回弹控制系统[J]. 轻工机械. 2007,35(3):81-84.

[3] 柴海啸. 基于几何和工艺补偿的冲压回弹控制方法研究[D]. 杭州:浙江大学机械与能源工程学院,2006.

[4] 张高贤. U 形件成形工艺参数优化研究[D]. 杭州:浙江大学机械与能源工程学院,2004.

[5] 林忠钦,刘罡,李淑慧,等. 应用正交试验设计提高 U 形件的成形精度[J]. 机械工程学报,2002,38(3):83-89.