

高精度高强不锈钢隔片零件拉深成形研究

付星星, 万敏, 周应科

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191)

摘要: 通过对 15-5PH 高强不锈钢高精度隔片零件结构及尺寸公差的工艺分析, 明确了零件成形难点。利用有限元拉深成形的结果, 确定了刚模拉深成型的方法。基于有限元回弹模拟的结果及试验, 对拉深成型模具的理论型面进行了修正, 解决了零件的高度及弧面轮廓尺寸精度问题, 确定了拉深成形的合理压边力大小。

关键词: 有限元模拟; 高强不锈钢; 拉深成形; 回弹

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2013.04.002

中图分类号: TG386.3⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2013)04-0007-04

Research on Deep Drawing Process for High-precision and High-strength Stainless Steel Spacer

FU Xing-xing, WAN Min, ZHOU Ying-ke

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: According to process analysis of structure and dimensional tolerances of spacer, the forming difficulties of the part were proposed. The rigid die drawing method was determined through analysis of finite element simulation of deep drawing. Based on the finite element springback simulation and experiment, the theory-based surface of the deep drawing forming mold was corrected reasonably. Therefore, the problems of the dimensional accuracy of the part's height and curved surface were solved. The reasonable blank holder force was proposed by analyzing the deep drawing forming effect in different blank holder force conditions.

Key words: the finite element simulation; high-strength stainless steel; deep drawing; springback

拉深是将一块平板在凸模压力作用下通过凹模形成一个开口空心零件的压制过程^[1]。拉深成形是板料冷冲压中最基本的成形工艺, 被广泛应用于航空航天及汽车等制造领域。随着国内外制造工艺的不断发展, 拉深件所需达到的精度也越来越高。对于一些精密薄壁零件的制造成形, 拉深成形工艺具有重要的意义。近年来, 数值模拟技术和方法在板料塑性成形工艺和模具设计方面得到了广泛的应用。通过有限元模拟技术, 能够对拉深成形过程中出现的开裂、变薄、起皱及回弹等现象进行预评估,

从而优化成形工艺参数, 提高拉深件质量^[2]。与以往经验性工艺设计相比, 大大减少了设计周期和制造成本。Karafillis^[3]和Wu^[4]在有限元仿真技术的基础上, 研究了回弹量的模具补偿方法, 利用迭代算法不断修模, 使零件回弹后满足精度要求。Ethiraj^[5]利用有限元模拟的方法研究了不同温度下圆杯件的热拉深成形。Padmanabhan^[6]在有限元模拟基础之上, 对不锈钢拉深成形工艺参数的影响进行了研究。朱宇^[7]等对高温合金复杂薄板零件的成形进行了模拟仿真与实验验证。

收稿日期: 2013-05-06

作者简介: 付星星(1988-), 男, 江西南昌人, 硕士, 主要研究方向为板料成形技术。

文中根据某型飞机高精度高强不锈钢隔片零件的结构,基于有限元模拟和实验研究,逐步优化了拉深成形工艺参数,并结合回弹模拟的结果对拉深模具不断修正,最终成形出满足尺寸和精度要求的隔片零件。

1 工艺分析设计

1.1 隔片零件工艺分析

某型飞机隔片零件为半球形结构,其尺寸如图1所示。添加工艺补充面后,其形状如图2所示。

零件成形所用材料为 15-5PH 超高强不锈钢,厚度为 1.0 mm,材料性能参数见表1。

根据图1,该零件含公差尺寸基本是外表面尺寸。成形后零件弧面段的厚度不低于 0.9 mm,即厚度变薄量需控制在 10% 以内,同时保证零件弧面轮廓的公差为 0.1 mm。在成形件的法兰部分,厚度不能超过 1.05 mm,即厚度增厚量需控制在 5% 以内。

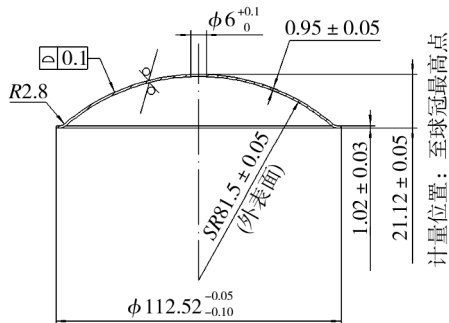


图1 隔片零件尺寸

Fig. 1 Dimensions of spacer

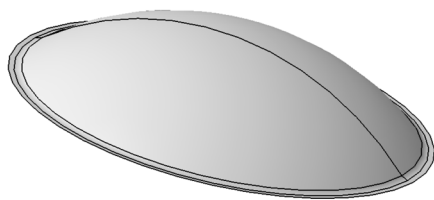


图2 添加工艺补充面后零件形状

Fig. 2 Shape of the part after adding addendum

表1 15-5PH 材料性能

Table 1 Material properties of 15-5PH

参数	密度 /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量 E / GPa	泊松比	屈服强度 σ_s / MPa	抗拉强度 σ_b / MPa	应变强化系数 K / MPa	应变强化 指数 n
数值	7.85×10^3	192.4	0.3	964.2	1045	1199.7	0.29

法兰与弧面段之间的过渡圆角半径需达到 2.8 mm。零件成形后的高度为 21.07 ~ 21.17 mm。

通过对隔片零件尺寸公差的分析,该零件的成形难点主要有以下几方面。

1) 如要保证零件型面精度,需采用胀形成分多的拉深成形,那么在零件圆弧顶端区域内的变薄量最大,厚度变薄量容易超差;

2) 拉深成形后产生的回弹会严重影响零件弧面轮廓以及零件的高度;

3) 零件需满足的公差要求较多,且尺寸精度要求较高,大大增加了成形的难度。

1.2 成形方案设计

根据隔片零件整体结构及外形特征,采用一次拉深成形带法兰的半球形部位,再进行切边及钻孔。由于在拉深过程中,弧面段的尺寸及公差要求最严

格,因此合理的成形工艺参数及对模面的修正将成为零件成形的关键。

2 拉深成形有限元模拟分析

2.1 有限元仿真模型

采用板料冲压有限元软件 Dynaform 进行数值模拟。在有限元模型中,采用全模型,选择三参数 Barlat 屈服准则。应变强化系数 K 为 1199.7 MPa,应变强化指数 n 为 0.29。板料采用 Belytschko-Tsay 壳单元,自适应网格划分,凸凹模及压边圈看做刚体,选择刚性四节点单元进行离散网格划分。接触方式采用罚函数,接触类型为单向面-面接触。摩擦因子设 $\mu = 0.125$ 。得到拉深成形有限元模型及板料模型如图3所示。

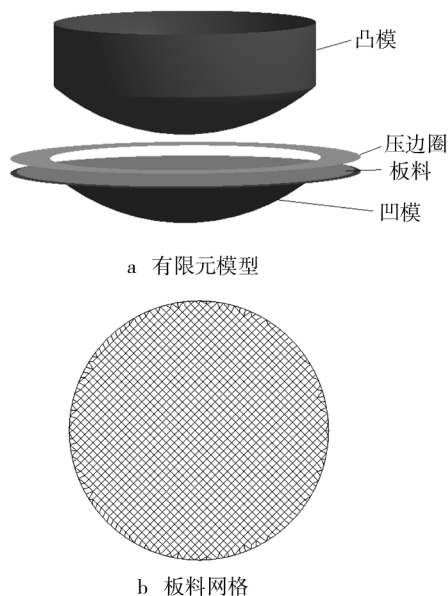


图3 拉深成形有限元模型

Fig.3 Finite element model of deep drawing

2.2 成形性分析

将建立好的有限元拉深模型在 Dynaform 中进行计算,得到成形后的零件厚度分布如图4所示。

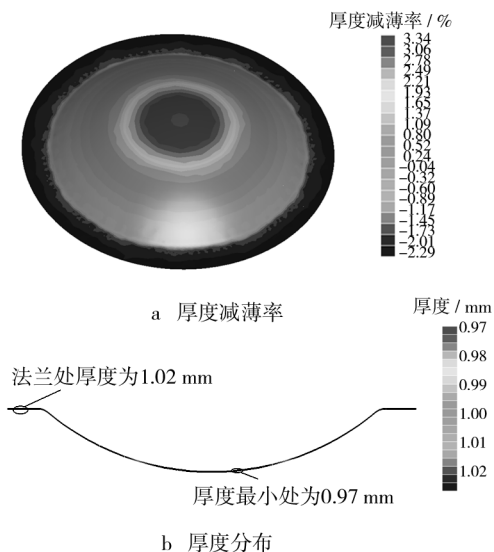


图4 拉深成形零件厚度分布

Fig.4 Thickness distribution of deformed part

由有限元拉深模拟的结果可以得出,零件未出现起皱、破裂等现象,证明利用一次拉深成形工艺可行。根据图4中拉深件的减薄率与厚度分布情况,拉深件的厚度最小处即厚度减薄率最大处位于靠近

弧面顶部的位置,厚度值为 0.97 mm,在允许的尺寸误差范围内;法兰处的最大厚度为 1.02 mm,也满足误差的许可要求。

为了预测板料在拉深成形后拉深件的弧面轮廓、零件高度等尺寸情况,需对拉深件进行回弹模拟。将上一步拉深模拟计算得到的 dynain 文件输入 Dynaform 软件中进行回弹模拟设置并进行计算,得到拉深件的回弹情况如图5所示。

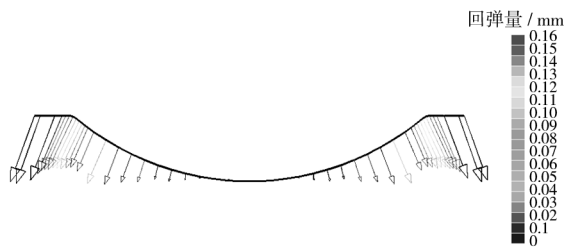


图5 回弹模拟结果

Fig.5 Springback simulation results

根据图5所示的回弹模拟结果,最大回弹处达到 0.16 mm,而零件弧面轮廓度公差为 0.1 mm,零件的高度公差为 ± 0.05 mm,因此在实际的生产试验中可能会产生超差。通过对拉深件的回弹模拟,很好地预测了拉深件的回弹趋势以及大小,对于模具的设计具有重要的指导意义。

3 拉深模具设计与试验研究

3.1 模具设计与修模

对于隔片零件,在 300 kN 板材成形试验机上进行试验,验证零件拉深成形工艺的可行性,并结合试验与有限元回弹模拟的结果对凸凹模的型面进行修模。

根据分析,最终设计出的模具整体安装结构以及凸模回弹补偿型面如图6所示。

图6b中,结合试验与回弹模拟结果,最终确定将凸模理论型面的最高点位置提高 0.62 mm,得到修正后的圆弧形模具型面。

3.2 试验研究

拉深试验所用设备为 BCS-30D 通用板材成形性能试验机,如图7所示。该成形机主缸公称压力为 300 kN,压边缸公称压力为 200 kN。

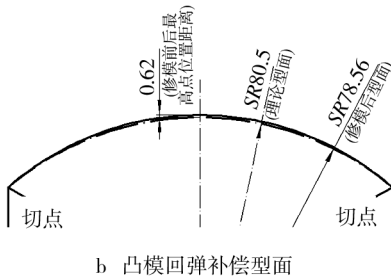
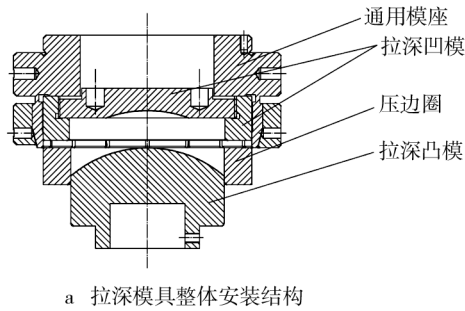


图6 拉深成形模具

Fig.6 Deep drawing dies



图7 试验设备

Fig.7 Experimental equipment

在拉深成形过程中,压边力是影响成形的主要因素。当压边圈所给压力过小时,拉深件的法兰边容易起皱;当压边圈所给压力过大时,拉深件壁厚较小甚至发生破裂。经过实际的拉深试验,得到压边力影响成形情况见表2。

表2 压边力对拉深成形的影响

Table 2 Effects of blank hold force on deep drawing

压边力/kN	起皱情况	弧面最小厚度/mm
5	起皱	/
15	起皱	/
25	未起皱	0.95
40	未起皱	0.96
50	未起皱	0.95
60	未起皱	0.91

根据表2对压边力影响的研究,最终选定试验所用压边力范围为25~50 kN,试验最终选取压边力为40 kN进行拉深试验。

利用修模后的拉深模具,进行10组拉深试验,所得结果见表3。其中,毛料直径 $D=135$ mm,所用压边力为40 kN,凸模加载速度为20 mm/min,毛料双面均采用漆片润滑。

表3 拉深试验的结果

Table 3 Deep drawing test results

试验	零件高度 H/mm	弧面顶部厚度 t_1/mm	弧面中部厚度 t_2/mm	法兰边厚度 t_3/mm	贴模度误差 /mm
1	21.08	0.95	0.97	1.02	0.09
2	21.11	0.96	0.97	1.02	0.06
3	21.10	0.96	0.98	1.02	0.05
4	21.13	0.95	0.97	1.01	0.08
5	21.11	0.94	0.96	1.01	0.08
6	21.12	0.95	0.97	1.01	0.07
7	21.14	0.96	0.98	1.02	0.06
8	21.12	0.94	0.96	1.02	0.06
9	21.11	0.95	0.96	1.03	0.07
10	21.15	0.96	0.98	1.01	0.05

为了更好地描述成形件弧面的厚度情况,选取了弧面顶部、弧面中部以及法兰边等3个位置处的厚度进行测量。同时,为了验证成形件的贴模情况,专门设计了测量用的检验模,并利用塞规进行成形件贴模度误差测量。贴模度测量如图8所示。



图8 检验模测量贴模度

Fig.8 Shape measurement by testing die

完成零件的拉深成形之后,为了得到隔片零件成品,还需进行切边和钻孔,最终得到的隔片零件如图9所示。

(下转第56页)

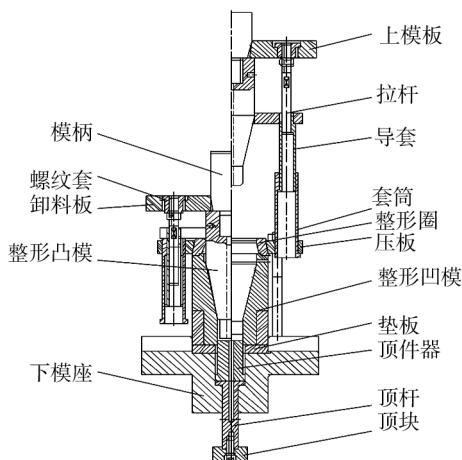


图5 整形模
Fig. 5 Reshaping die

2) 上模板与模柄、卸料器和压板采用 15° 斜面配合。这样,不仅加工方便,而且装卸方便,减少了换模时间。

3) 采用柔性卸料机构。结构比较简单,可较为方便地将零件从凸模上卸下。

4) 采用预应力组合凹模,提高了凹模的使用寿命。

(上接第10页)



图9 成品隔片零件
Fig. 9 Spacer

4 结语

1) 结合有限元数值模拟的结果与实际试验,刚模拉深成形工艺方法可以实现隔片零件的整体精确成形。

2) 通过在不同压边力作用下的拉深试验,最终得到了满足试验要求的压边力。

3) 结合数值模拟回弹的方法以及试验,对模具的理论型面进行了修正,使最终得到的成形件在整体高度及弧面轮廓度方面均满足精度要求。

5) 整形凹模和下模座之间的配合精度采用 $\frac{H10}{d9}$ 的间隙配合。

6) 为防止由于螺纹损坏而导致上模板报废,上模板采用组合结构,但螺纹套必须防转。上模板和螺纹套之间的配合精度采用 $\frac{H10}{d9}$ 的间隙配合。

7) 通过整形凸模将上模板和模柄固定在一起。

5 结语

设计出的整形过渡毛坯,经整形后,零件尺寸完全符合产品图要求。同时也为同类型零件整形提供了借鉴。

参考文献:

- [1] 湖南机械工程学会锻压分会. 冲压工艺[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1984.
- [2] 王国林,聂兰启. 不等壁厚带台阶深锥铝合金零件的整形[J]. 精密成形工程,2010,3(6):84-85.
- [3] 聂兰启,于文生. 不等壁厚带台阶深锥件冲压工艺及模具设计[J]. 模具工业,2009,34(2):27-30.

参考文献:

- [1] 胡世光,陈鹤峥. 板料冷压成形的工程解析[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004:109-110.
- [2] 宋波,于忠奇,桑阳,等. 客机镜面翼尖零件拉深成形工艺[J]. 塑性工程学报,2012,19(6):50-53.
- [3] KARAFILLIS A P, BOYCE M C. Tooling Design in Sheet Metal Forming Using Springback Calculations[J]. International Journal of Mechanics Science,1992,34(2):113-115.
- [4] WU L W, DU C Q. Iterative FEM Die Surface Design to Compensate for Springback in Sheet Metal Stamping[J]. In NUMISHEET'95,1995:161-165.
- [5] ETHIRAJ N, SENTHIL KUMAR V S. Finite Element Method Based Simulation on Warm Deep Drawing of AISI304 Steel Circular Cups[J]. Procedia Engineering,2012,38:1836-1851.
- [6] PADMANABHAN R, OLIVEIRA M C, ALVES J L, et al. Influence of Process Parameters on the Deep Drawing of Stainless Steel[J]. Finite Elements in Analysis and Design,2007,43:1062-1067.
- [7] 朱宇,万敏,周应科. 高温合金复杂薄壁零件多道次充液拉深技术[J]. 航空学报,2011,32(3):552-560.