

文章编号: 1004-4353(2020)01-0074-05

# 多弯曲多形孔复杂边界钣金件级进模的开发

王利<sup>1,2</sup>, 黄昭明<sup>2\*</sup>, 赵恒文<sup>2</sup>, 沈晨<sup>3</sup>

(1. 宣城职业技术学院 机电与汽车学院, 安徽 宣城 242000;

2. 马鞍山市汽车冲压模具先进设计工程技术研究中心, 安徽 马鞍山 243031;

3. 无锡九和模具有限公司 技术部, 江苏 无锡 214142)

**摘要:** 为避免冲压过程中由多弯曲多形孔结构引起的零件外部边界与内部形孔误差而导致的级进模开发失败, 应用全工序方法开发出一套特征件级进模. 首先设计了一个带有多弯曲多形孔特征的复杂边界钣金件的12工序毛坯排样方案, 并对坯料的全工序冲压成形进行了有限元仿真分析. 其次以全工序有限元仿真为基础, 结合毛坯排样方案设计了一套12工位级进模. 最后对试制的模具进行实冲试验, 结果显示: 产品表面光滑, 无起皱与破裂等其他成形性问题, 且产品的孔位精度和弯曲后的制件边界误差均满足设计要求; 因此, 本文设计的毛坯排样方案及其级进模能够很好地解决多弯曲多形孔复杂边界钣金件的冲压成形问题.

**关键词:** 级进模; 复杂边界钣金件; 毛坯排样; 实冲试验; 有限元模型

**中图分类号:** TG385.2

**文献标志码:** A

## Development of progressive die for complex boundary sheet metal parts with multi bend and multi hole features

WANG Li<sup>1,2</sup>, HUANG Zhaoming<sup>2\*</sup>, ZHAO Hengwen<sup>2</sup>, SHEN Chen<sup>3</sup>

(1. Xuancheng Vocational & Technical College, Xuancheng 242000, China; 2. Maanshan Engineering Technology Research Center of Advanced Design for Automotive Stamping Dies, Maanshan 243031, China; 3. Wuxi Jiuhe Mould Co., Ltd., Wuxi 214142, China)

**Abstract:** In order to avoid the failure of progressive die development due to the errors of the outer boundary and inner hole caused by the multi bend and multi hole structure in the stamping process, a set of feature progressive die was developed by using the whole process method. Firstly, a 12 process blank layout scheme of complex boundary sheet metal parts with multi bend and multi hole was designed, and the finite element simulation analysis of the whole process of blank stamping was carried out. Secondly, a set of 12 position progressive die was designed based on the finite element simulation of the whole process combined with the blank layout scheme. At last, through the trial production and real punching test of the die, it is concluded that the surface of the stamping product is smooth and without wrinkle, crack and other formability problem, the hole position accuracy of the product and the boundary error of the bent part can meet the design requirements. The blank layout scheme and progressive die designed in this paper can well solve the stamping problem of the sheet metal parts with complex boundary of multi bend and multi hole.

**Keywords:** progressive die; complex boundary sheet metal parts; blank layout; real stamping test; finite element model

收稿日期: 2020-01-03

\* 通信作者: 黄昭明(1981—), 男, 副教授, 研究方向为汽车冲压模具先进设计.

**基金项目:** 宣城职业技术学院校级科研振兴计划项目(ZXTS201801); 马鞍山市工程技术研究中心开放基金资助项目(QMSG202004、QMSG202005); 安徽省高等学校自然科学研究重点项目(KJ2017A896、KJ2019A1140); 安徽省高校学科(专业)拔尖人才学术资助项目(gxbjZD63)

## 0 引言

级进模是冲压生产车身覆盖件所广泛应用的一种装备,该装备可大幅提高车身复杂结构钣金件的生产效率<sup>[1]</sup>.为进一步提高级进模的性能,近年来学者们对特征形状制件(特征件)的冲压成形仿真进行了大量的研究<sup>[2-3]</sup>,这些研究主要是针对多弯角制件、筒形件、盒形件等的开裂、起皱、回弹和成形不足等成形性问题进行的预测,其结果表明合理的工艺方案和工艺参数能够改善制件的成形性问题.也有一些学者对特征件的级进模结构进行了研究<sup>[4-6]</sup>,结果表明合理的设计方法可升级进模的出模效率.然而,目前采用全工序法级进模设计技术并结合实冲试验,从多弯曲多形孔特征件冲压成形的角度探讨零件外部边界与内部形孔误差的相关研究较少.基于此,本文对多弯曲多形孔复杂边界钣金件的全工序成形进行有限元分析,并通过设计合理的毛坯排样方案开发一种多弯曲多形孔复杂边界钣金件的级进模.

## 1 冲压工艺分析

图1为某多弯曲多形孔复杂边界钣金件三维UG数模.该制件采用深冲用热轧软钢 SPHE,板料厚度为 1.5 mm,外形尺寸为 335.0 mm×202.0 mm×59.5 mm.图1中 a 为冲圆孔, b、g、j、l、o、r 为弯曲, c、d、i、n、p 为冲异形孔, e 为成形, f、k、q 为修边, h、m 为翻孔.由图1可知,该制件具有多处弯曲和四处冲圆孔与冲异形孔,且制件的外部边界与内部形孔较为复杂.该制件的这些特征易使冲压成形后的板料产生开裂或起皱等成形性问题,且难以预测制件形面上的孔位精度以及边界误差等问题,进而易造成多弯曲多形孔复杂边界

钣金件级进模的开发失败.

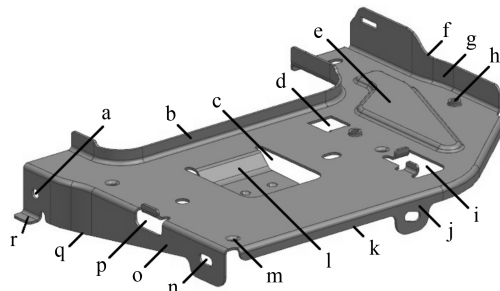


图1 多弯曲多形孔复杂边界钣金件的三维UG数模

为解决上述问题,本文提出如下冲压成形思路:首先,进行全工序冲压成形仿真分析和有限元建模,以满足板料不开裂、不起皱等成形性要求;然后,确定合理的冲孔和弯曲组合与分步,以确保冲压后的孔洞位置的精度符合要求;最后,通过激光料带试模法逆向设计修边工位,以满足制件的边界误差要求.

## 2 冲压成形仿真分析

### 2.1 毛坯排样设计

毛坯排样具有多样性<sup>[7]</sup>.多弯曲多形孔复杂边界钣金件排样的基本方案为单排排样和双侧载体,如图2所示.图中12工序方案依次为“冲孔和修边(1)、修边(2)、修边(3)、修边(4)、修边和成形(5)、修边(6)、弯曲(7)、冲孔和翻孔(8)、弯曲(9)、修边和冲孔(10)、冲孔(11)、弯曲和切断(12)”.

图2中排样的基本参数为:条料宽度  $B=335.00$  mm,条料每次送进步距  $S=202.00$  mm,首次导正孔直径  $D_1=\Phi 10.15$  mm,二次导正孔直径  $D_2=\Phi 10.15$  mm,  $D_3=\Phi 8.15$  mm,坯料 X 和 Y 方向搭边量  $a=b=0$  mm,分步冲切接刀量  $c \geq 3.00$  mm<sup>[9]</sup>,材料的利用率  $\eta=70.04\%$ .

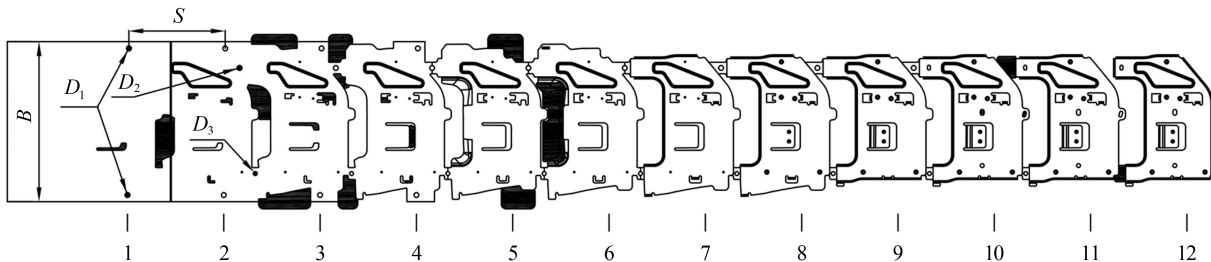


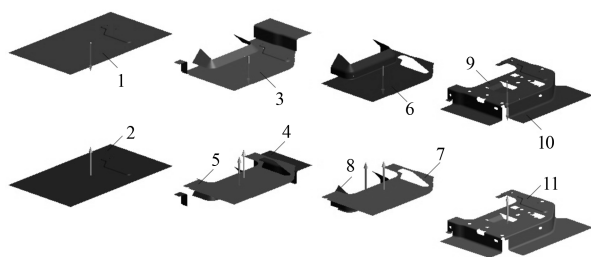
图2 毛坯排样的CAD设计图

排样的制作方法为:将卷料送入模具后,先采用导料板和垫板对板料进行粗定位,然后再采用 2 个  $\Phi 10$  mm 的导正销对板料精密定位,定位精度为 0.01 mm. 为提高板料冲压的稳定性与刚度,在第 2 工位处再以 1 个  $\Phi 8$  mm 和 1 个  $\Phi 10$  mm 的导正销对板料进行精度定位.

## 2.2 全工序有限元仿真

深冲用热轧软钢 SPHE 钢的材料性能参数如下:杨氏模量为  $2.1 \times 10^4$  N/mm<sup>2</sup>,泊松比为 0.30,密度为  $7.8 \times 10^4$  kg/mm<sup>3</sup>,硬化曲线为 Approximation,屈服面为 Hill,屈服强度为 255.8 MPa,抗拉强度为 303.1 MPa,各向异性系数平均值  $r_b$  为 1,拟合参数  $M$  为 2,双轴应力因子 Biax 为 1.2,成形极限曲线为 Arcelor V9 A1. 该材料的材料性能参数由 AutoForm 材料库导入<sup>[8]</sup>.

考虑成形仿真过程对实冲试验过程的影响,在所制定的 12 工序毛坯排样方案中,通过分解与再组合确定零件的全工序仿真. 仿真包含 1 个成形工序和 3 个弯曲工序,其中在第 2 弯曲工序和第 4 弯曲工序仿真前,毛坯边界和孔洞均应用 2D 切割仿真,即全工序有限元仿真方案为“成形—弯曲—弯曲—弯曲”. 图 3 为本文所建立的坯料全工序有限元模型. 图 3 中 1 为成形凸模,2 为成形凹模,3、6、10 为弯曲块,4、8、11 为弯曲支撑块,5、7、9 为弯曲压料板.



(a) 第1成形工序 (b) 第2弯曲工序 (c) 第3弯曲工序 (d) 第4弯曲工序

图 3 坯料的全工序有限元模型

## 2.3 仿真结果分析

对图 3 模型进行仿真的结果如图 4 所示. 由图 4 可知,板料厚度的最大值为 1.66 mm,最小值为 1.26 mm. 该厚度值达到厚度减薄量控制要求 ( $\pm 20\%$  之间)<sup>[10]</sup>,因此可判定板料未发生开裂和起皱等成形性问题.

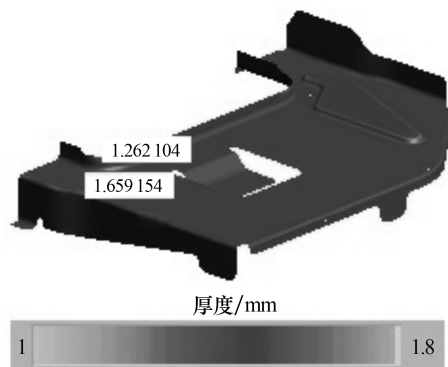


图 4 板料厚度的仿真结果

确定板料弯曲厚度后,还需控制制件上的孔洞位置精度及其边界误差. 对此,本文通过以下方案解决该问题:①通过合理的冲孔工序和弯曲工序的组合与分步,确保冲压后的制件孔洞位置精度符合要求;②因制件弯曲后的边界误差主要是由第 5 工序决定的,且仿真过程与实际试模在冲床、模具以及材料方面存在不确定性,因此应用激光料带试模法逆向设计修边工位以减小制件的边界误差<sup>[11]</sup>.

## 3 级进模设计与实冲验证

### 3.1 级进模的结构设计

级进模的结构设计主要包括正倒装关系、导向方式、卸料方式 3 个要素. 图 5 为多弯曲多形孔复杂边界钣金件级进模的整体装配模型,该模型的整体装配闭合外形尺寸为 2 668.2 mm  $\times$  1 000 mm  $\times$  879.2 mm. 图 5 中 1 为下垫脚,2 为导腿,3 为上垫脚,4 为上模板,5 为下模板,6 为起吊棒,7 为大导柱导套.

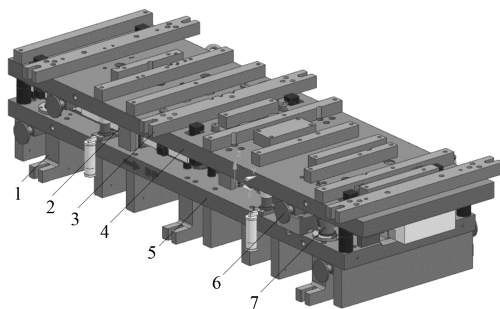


图 5 级进模的整体装配模型

图 6 为级进模的上、下模组件的凹模部分和上模组件卸料机构的设计. 该模具采用镶拼结构,

凸、凹模分别装在上、下模板上. 模具的往复冲压运动和卸料运动分别由外导向方式和内导向方式实现, 其中往复冲压运动由4组上模板、下模板、大导柱导套组成的4角大导柱导套模架实现, 往复卸料运动由2组导腿、滑块和2组小导柱导套组成的4角小导柱导套模架实现. 模具采用分段式卸料板卸料, 卸料力由氮气弹簧实现(弹力大小可调节), 卸料板可对工作时的凸模起到导向和保护作用.

### 3.2 关键工位局部结构的设计

**3.2.1 修边工位** 因CAE所展开的复杂边界平面坯料通常需要通过多次分步修边工艺才能制

备, 因此本文在图2和图6中的第1至第6工位上设计了6个工序进行分步修边. 图6(a)中2、4、13为边k分步修边凸模, 6、7、10为边q分步修边凸模, 11、14、16为边f分步修边凸模, 1、5、9为异形孔c分步修边凸模, 3、8为异形孔p分步修边凸模, 12、18为异形孔d分步修边凸模, 15、17为异形孔i分步修边凸模. 由图6可知, 坯料内外边界冲切为多次冲切, 其中坯料的内边界冲切(包括圆孔和异形孔冲切)由上述凸模与图6(b)中的凹模相结合完成. 为防止多次冲切造成的不完全冲切或断面重复冲切, 在同一部位进行两次分步冲切时, 预留3.00 mm的接刀量.

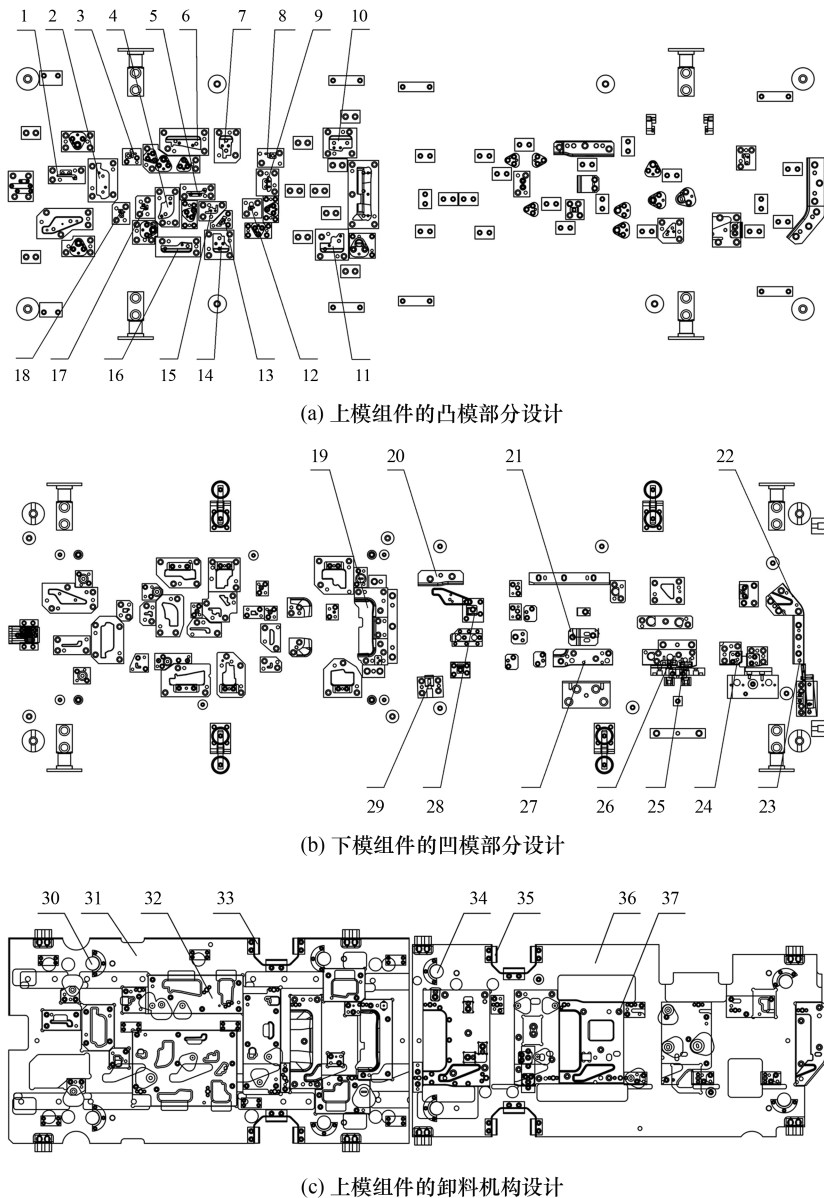


图6 级进模上下模组件的设计结构



**3.2.2 弯曲工位** 因制件的多弯曲特征需要通过多次弯曲工艺才能完成,因此本文在图 2 和图 6 所示的第 7、第 9 和第 12 工位设置了弯曲工序.图 6(b)中 19 为位置 b 弯曲凹模,20 为位置 g 弯曲凹模,21 为位置 l 弯曲凹模,22、23 为位置 j 弯曲凹模,24 为切断凹模,25 为位置 n 冲异形孔凹模,26 为位置 a 冲圆孔凹模,27 为位置 o 弯曲凹模,28 为位置 i 弯曲凹模,29 为位置 r 弯曲凹模.坯料的内外弯曲形状由上述凹模与图 6(a)中的凸模相结合完成,显然通过 3 次分步弯曲增大了弯曲凸、凹模的布置空间,改善了定位块与镶块对第 7 工位、第 9 工位和第 12 工位的弯曲凸、凹模的定位与支撑作用,即增强了弯曲凸、凹模的工作强度.

**3.2.3 侧冲孔工位** 因多形孔的制件需要通过分步修边冲切才能实现,因此本文在制件弯曲面上完成形孔冲切时,首先设置弯曲工序,然后再设置冲孔工序,由此可避免形孔的变形和位置的偏移.为实现上述方法,在实施水平冲圆孔 a 和冲异形孔 n 时设计 1 个侧冲孔斜楔机构,如图 6(b)中的 25 所示的冲异形孔凹模 n 和 26 所示的冲圆孔凹模 a.该斜楔机构通过驱动器驱动滑块来带动安装在滑块上的异形孔冲头 25 和冲圆孔冲头 26,并完成第 11 工位冲圆孔 a 和冲异形孔 n 的冲切.

### 3.3 实冲验证

试模用材料为宝钢深冲用热轧软钢 SPHE,厚度为 1.5 mm,试模压力机型号为扬锻 YPM-630.多弯曲多形孔复杂边界钣金件实冲产品如图 7 所示.由图 7 可以看出制件表面光滑,无起皱与破裂等其他成形性问题.经检具与三维坐标测量机检测,实冲产品的孔洞位置精度和弯曲后的制件边界误差满足相关要求.

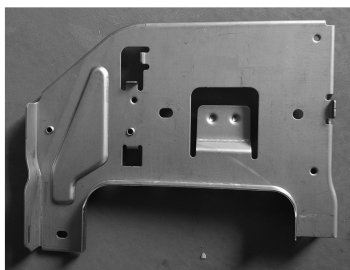


图 7 多弯曲多形孔复杂边界钣金件的实冲产品

## 4 结论

对本文提出的多弯曲多形孔复杂边界钣金件的毛坯排样方案进行全工序有限元仿真的结果表明,其全工序冲压成形性能良好.基于全工序方法设计的级进模的实冲试验结果显示,该级进模所冲压的产品表面光滑,无起皱与破裂等成形性问题,且产品的孔位精度和弯曲后的制件边界误差均满足设计要求.以上结果表明,本文设计的毛坯排样方案及其级进模能够很好地解决冲压多弯曲多形孔复杂边界钣金件过程中出现的起皱、破裂等成形性问题,进而能有效提高产品的成形质量和生产效率.本文技术方案可为其他形状的复杂钣金件级进模的开发提供参考.

### 参考文献:

- [1] 黄昭明,王利,陈学健,等.发动机油底壳多工位传递模[P].中国:ZL201610096455.7.2017-08-25.
- [2] 桂良进,张晓前,周驰,等.各向异性高强钢成形极限曲线有限元预测[J].清华大学学报(自然科学版),2019,59(1):66-72.
- [3] 黄昭明,赵恒文,潘金元,等.多工位级进冲压成形联动数值模拟[J].山东理工大学学报(自然科学版)2018,32(4):35-39.
- [4] 郭强,郑燕萍,朱伟庆,等.DP-780 高强度车身侧围板成形质量优化[J].塑性工程学报,2019,26(1):40-45.
- [5] 郭强,郑燕萍,晋保荣.基于林用消防车 DP590 高强度冲压件回弹性能的研究[J].热加工工艺,2018,47(24):64-67+72.
- [6] 龚志辉,李琳,周顺峰,等.汽车覆盖件拉伸模具精确型面构建方法研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2014,41(10):1-6.
- [7] 张正修.多工位连续冲压技术及应用[M].北京:机械工业出版社,2010:27.
- [8] 涂小文.AutoForm 原理技巧与战例实用手册[M].湖北:湖北科学技术出版社,2013:279-302.
- [9] 黄昭明,王利,刘小飞,等.基于 AutoForm 多工位连续冲压成形数值模拟[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2015,38(2):157-160.
- [10] 罗志敏.轿车前纵梁冲压成形工艺多目标优化及模具技术研究[D].长沙:湖南大学,2012.
- [11] 黄昭明,王利,张冬冬,等.车身钣金件级进模快速设计方法[P].中国:ZL201710952613.9.2019-11-12.