

平顶链链板卷圆冲压成形模具的设计与仿真

汪永明^{1,2}, 唐成涛^{1,2}, 刘述庆^{1,2}, 谈莉斌^{1,2}

(1. 安徽工业大学 机械工程学院, 安徽 马鞍山 243032; 2. 特种重载机器人安徽省重点实验室, 安徽 马鞍山 243032)

摘要: 为提高平顶链链板卷圆工序的成形精度, 根据工艺要求设计了一套平顶链链板卷圆冲压成形模具, 该模具的上、下模均采用拼接式结构, 上、下模间设有校孔装置, 对该模具的关键参数进行了初步设计。利用 Abaqus 软件对链板的卷圆成形过程进行仿真, 分析链板所受的等效应力及其成形精度, 并根据仿真结果, 对模具的关键参数进行修正。仿真结果表明: 工件所受的最大等效应力位于链板左右两侧形成的卷圆处, 符合链板卷圆成形的实际受力情况; 且当卷圆销孔上模的圆角半径为 6.12 mm、铰孔上模的圆角半径为 6.35 mm、销孔下模的圆角半径为 6.14 mm、铰孔下模的圆角半径为 6.28 mm 时, 仿真后的链板的成形精度高。最后, 制作模具样机并进行卷圆冲压成形实验。结果表明, 卷圆冲压成形后工件的合格率达到 98%。

关键词: 平顶链链板; 卷圆; 冲压; 模具设计; 样机实验

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.12.026

中图分类号: TP385.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2022) 12-0175-07

Design and simulation on roll-round stamping die for flat-top chain plate

Wang Yongming^{1,2}, Tang Chengtao^{1,2}, Liu Shuqing^{1,2}, Tan Libin^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan 243032, China;

2. Anhui Province Key Laboratory of Special Heavy Load Robot, Maanshan 243032, China)

Abstract: In order to improve the forming accuracy of roll-round process for flat-top chain plate, a set of roll-round stamping die for flat-top chain plate was designed according to the process requirements. Then, both the upper and lower dies adopt a spliced structure, a hole sizing device was installed between the upper and lower dies, and the key parameters of the die were preliminarily designed. Furthermore, the simulation of the roll-round forming process for chain plate was carried out by software Abaqus, and the equivalent stress and the forming accuracy of chain plate were analyzed. According to the simulation results, the key dimensions of the die were modified. The simulation results show that the position of the maximum equivalent stress on the workpiece is at the coiled circles formed on the left and right sides of the chain plate, which is in line with the actual stress situation of the roll-round forming for chain plate. When the fillet radiuses of upper die for roll-round pin hole and sizing hole are 6.12 and 6.35 mm, respectively, and the fillet radiuses of lower die for pin hole and sizing hole are 6.14 and 6.28 mm, respectively, the simulated chain plate has higher forming accuracy. Finally, the die prototype was made, and the roll-round stamping experiments were carried out. The results show that the qualified rate of workpiece after the roll-round forming is 98%.

Key words: flat-top chain plate; roll-round; stamping; die design; prototype experiment

近年来, 随着我国汽车、家电、航空等制造业的不断发展, 板料冲压成形技术也得到迅速发展^[1]。为提高工件的冲压成形精度, 国内外学者针对各种板料在冲压成形中存在的精度缺陷问题, 通过设计优化模具、建立解析模型、有限元仿真分析等方法, 对板料冲压成形精度开展研究, 并提出改进方法^[2-6]。Kumar S 等^[7]在考虑模具模型、材料属性及成形精度的基础上, 使用 Abaqus 软件对模具进

行了优化设计与研究。Shanbhag V V 等^[8]针对板料在冲压成形过程中的磨损会降低产品质量的问题进行了研究, 证明了声发射传感器可以用来测量磨损。Dhinesh K S 等^[9]采用有限元对冲压过程进行仿真, 分析并研究了板料的成形精度和接触应力等。张新颖等^[10]针对侧围外板在冲压过程中产生的质量问题, 利用 Dynaform 软件建立冲压成形的有限元仿真模型, 通过数值仿真改善冲压工艺, 有效地解决了板料破裂等问题。张华伟等^[11]基于 Abaqus 软件对某复合材料板的冲压成形过程进行仿真, 分析了该复合材料在冲压过程中的受力情况和变形量, 最终确定了最佳的复合材料模型。Gmyrek Z 等^[12]提出了

收稿日期: 2022-01-06; 修订日期: 2022-04-10

基金项目: 安徽省重点研究与开发计划项目 (202004a05020008)

作者简介: 汪永明 (1971-), 男, 博士, 教授

E-mail: wangym@ahut.edu.cn

一种利用有限元数值模型识别损伤区材料的等效磁性能的算法,利用此方法能较好地找寻冲压过程中的受损区域,有助于改善冲压工艺。陈泽中等^[13]在研究某款汽车 B 柱热冲压变形的过程中,采用 Dynaform 建立有限元模型并进行仿真分析,研究了各种因素对 B 柱热冲压成形的影响,验证了热冲压仿真的可靠性。

为了提高平顶链链板的卷圆冲压成形精度,首先分析其冲压成形工艺,重点研究保证其卷圆冲压成形精度的关键尺寸参数,并在此基础上开展卷圆冲压成形模具的结构设计。基于 Abaqus 有限元分析软件,针对平顶链链板的卷圆冲压成形过程进行仿真,依据仿真结果,分析工件的关键尺寸参数出现偏差的原因,并对卷圆冲压成形模具的相关参数进行修正。基于修正后的模具开展样机实验研究,以验证所设计的卷圆冲压成形模具是否满足工件的成形精度要求。

1 平顶链链板卷圆冲压成形工艺分析

平顶链链板的生产一般需要 5 道冲压工序来完成:落料、罩边、预卷、折弯以及卷圆,其中卷圆工序是平顶链链板冲压成形的最后一道工序,卷圆成形精度决定了工件最终的成形精度。目前,国内不锈钢单铰链式直输平顶链的型号较多,主要有 812/815 系列、8157 系列、512/515 系列。不同系列的平顶链尺寸、材料以及屈服强度也不尽相同。以某企业中链号为 C13S 的平顶链为例,设计平顶链链板卷圆冲压成形模具。链号为 C13S 的平顶链链板的材料参数如表 1 所示^[14-15]。工件材料为马氏体型铬不锈钢,具有良好的冲压性能,工件厚度为 3.1 mm。

表 1 C13S 平顶链链板的材料参数

Table 1 Material parameters of C13S flat-top chain plate

参数	弹性模量 E/GPa	泊松比	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa
数值	206	0.34	440	675

平顶链链板卷圆工序前的工件截面(称为折弯件)如图 1 所示,经过卷圆冲压成形工序后的工件截面(称为卷圆件)如图 2 所示。工件经过卷圆冲压成形工序后,需重点保证 3 个关键设计尺寸:(1)卷圆件的销孔半径为 $3.08^{+0.03}_{-0.05}$ mm;(2)卷圆件的铰孔半径为 $3.28^{+0.03}_{-0.05}$ mm;(3)卷圆件的销孔与铰孔之间的中心距为 $38.10^{0}_{-0.12}$ mm。

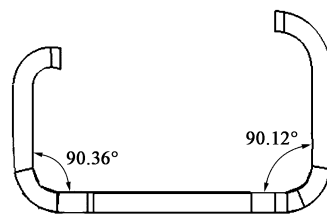


图 1 卷圆工序前的工件截面

Fig. 1 Workpiece section before roll-round process

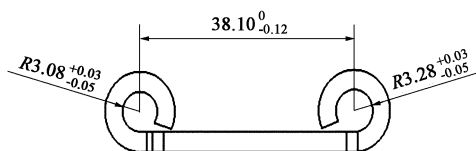


图 2 卷圆工序后的工件截面及其关键参数

Fig. 2 Workpiece section and its key parameters after roll-round process

2 卷圆冲压成形模具结构设计

2.1 卷圆上模结构设计

平顶链链板的卷圆上模由铰孔上模和销孔上模组成,分别安装在卷圆上模座上。这样拼接组成的卷圆上模便于加工及后期模具的维修。依据卷圆件的关键设计尺寸要求,初定销孔上模的圆角半径为 6.15 mm,铰孔上模的圆角半径为 6.35 mm,两卷圆模的圆角中心距为 38.20 mm。

为了保证卷圆冲压成形精度,销孔上模与铰孔上模需要设计合理的过渡圆角。若过渡圆角半径过小,会使折弯件待卷圆部分在进入凹模时的阻力增大,容易擦伤折弯件的外表面,有时还会出现压痕,严重影响工件质量,而且此种情况所需的弯曲力较大,会影响模具的使用寿命^[16]。为了保证卷圆时不产生偏移,销孔上模的圆角半径与铰孔上模的圆角半径应保持一致,下面进行销孔上模的圆角半径与铰孔上模的圆角半径的计算:

$$R_d = kt \quad (1)$$

式中: R_d 为销孔上模与铰孔上模的圆角半径, mm; k 为系数,根据板料厚度取 $k=2.5$; t 为工件厚度, mm。

根据式(1),带入相关数据,计算可得销孔上模与铰孔上模的圆角半径 $R_d = 7.75$ mm。

2.2 卷圆下模结构设计

平顶链链板的卷圆下模同样采用拼接式结构,由销孔下模和铰孔下模组成,分别安装在卷圆下模座上。依据设计经验,当销孔与铰孔的相对弯曲半径 R/t 越小时,销孔下模和铰孔下模的圆角半径等于卷

圆件的销孔半径和铰孔半径；当销孔与铰孔的相对弯曲半径 R/t 越大时，销孔下模和铰孔下模的圆角半径应小于卷圆件的销孔半径和铰孔半径，其中 R 为弯曲材料内侧表面（靠近凸模处）的曲率半径。已知工件的销孔与铰孔的相对弯曲半径 R/t 分别为 2.00 和 2.05。尽管弯曲半径较小，但是工件的关键设计尺寸的精度要求较高，为了保证卷圆冲压成形后的工件质量，需要分别计算铰孔下模和销孔下模的圆角半径。

销孔下模的圆角半径的计算公式为^[17]：

$$R_1 = \frac{r_1}{1 + \frac{3R_{\text{el}}}{E} \cdot \frac{r_1}{t}} \tag{2}$$

式中： R_1 为销孔下模的圆角半径，mm； r_1 为工件的销孔外径，mm； R_{el} 工件材料的屈服强度，MPa； E 为工件材料的弹性模量，MPa。

其中，工件的销孔外径为 $\Phi 6.2$ mm，根据表 1 将相关数值带入式（2），计算可得销孔下模的圆角半径 $R_1 = 6.14$ mm。

铰孔下模的圆角半径的计算公式为^[17]：

$$R_2 = \frac{r_2}{1 + \frac{3R_{\text{el}}}{E} \cdot \frac{r_2}{t}} \tag{3}$$

式中： R_2 为铰孔下模的圆角半径，mm； r_2 为工件的铰孔外径，mm。

其中，工件的铰孔外径为 $\Phi 6.35$ mm，根据表 1 将相关数值带入式（3），计算可得铰孔下模的圆角半径 $R_2 = 6.29$ mm。

2.3 卷圆上模与下模之间的间隙

对于卷圆冲压成形模具，应合理设计卷圆上模与下模之间的间隙^[18]。间隙过小，会导致卷圆件与上模摩擦严重，导致卷圆件表面拉伤，不仅会影响卷圆件的质量，而且还会增加弯曲力，减少卷圆冲压成形模具的使用寿命；间隙过大，会导致卷圆件的回弹量过大，从而降低卷圆件的成形精度。为了保证工件的质量，卷圆上模与下模的单边间隙可按式（4）计算：

$$Z = t_{\text{max}} + ct \tag{4}$$

式中： Z 为卷圆上模与下模的单边间隙，mm； c 为间隙系数，根据板料厚度取 0.08； t_{max} 为材料厚度的最大值。

将相关数值带入式（4），计算可得卷圆上模与下模的单边间隙 $Z = 3.348$ mm。

2.4 校孔棒设计

为达到卷圆件的设计要求，需要采用校孔棒消

除卷圆时形成的椭圆与内孔三角形缺陷。初定铰孔用校孔棒的直径为 $\Phi 6.5$ mm，销孔用校孔棒的直径为 $\Phi 6.1$ mm。

综上所述，平顶链链板卷圆冲压成形模具的关键结构尺寸初定值如表 2 所示，其中，铰孔上模的圆角半径、销孔上模的圆角半径、卷圆上模的圆角半径、铰孔的校孔棒直径以及销孔的校孔棒直径等关键参数值对工件成形有着重要影响，其关键结构示意图如图 3 所示。下文通过 Abaqus 有限元仿真软件进行冲压仿真，并依据仿真结果对相关模具的关键参数进行适当修正和调整。

表 2 卷圆冲压成形模具的关键结构尺寸参数（mm）

Table 2 Key structural dimension parameters of roll-round stamping dies (mm)

结构	关键尺寸参数	初定值
卷圆上模	销孔上模的圆角半径	6.15
	铰孔上模的圆角半径	6.35
	中心距	38.20
	圆角半径	7.75
卷圆下模	销孔下模的圆角半径	6.14
	铰孔下模的圆角半径	6.29
校孔棒	销孔用校孔棒直径	$\Phi 6.10$
	铰孔用校孔棒直径	$\Phi 6.50$

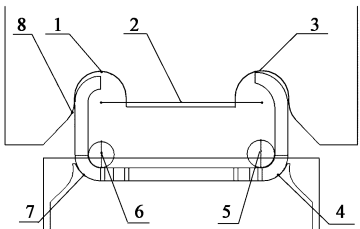


图 3 模型局部关键结构示意图

1. 销孔上模圆角半径 2. 中心距 3. 铰孔上模圆角半径
4. 铰孔下模圆角半径 5. 铰孔用校孔棒直径 6. 销孔用校孔棒直径 7. 销孔下模圆角半径 8. 圆角半径

Fig. 3 Schematic diagram of local key structure for model

2.5 卷圆冲压成形模具的整体结构

平顶链链板的卷圆冲压成形模具的整体结构如图 4 所示，主要由模具本体和校孔装置 2 部分组成，其核心部件包括卷圆上模（销孔上模、铰孔上模）、卷圆下模（销孔下模、铰孔下模）以及校孔棒（销孔用校孔棒、铰孔用校孔棒）。其工作原理为：冲床冲压启动时，安装在气缸导杆上的校孔棒在气缸的作用下伸出至与卷圆下模前定位块接触，随后冲床带动卷圆上模向下运动，与卷圆下模共同作用将

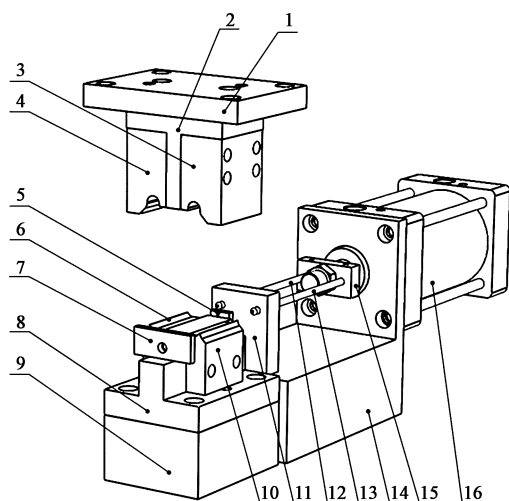


图 4 平顶链链板的卷圆冲压成形模具

1. 卷圆上垫板 2. 卷圆上模座 3. 卷圆铰孔上模 4. 卷圆销孔上模
5. 卷圆下模后定位块 6. 卷圆销孔下模 7. 卷圆下模前定位块
8. 卷圆下模座 9. 卷圆下垫板 10. 卷圆铰孔下模 11. 校孔棒导向块
12. 销孔用校孔棒 13. 铰孔用校孔棒 14. 支座
15. 校孔棒固定块 16. 气缸

Fig. 4 Roll-round stamping dies for flat-top chain plate

折弯件冲压制成卷圆件，冲压完成后校孔棒在气缸的拉力作用下退至原位。

3 平顶链链板卷圆冲压成形仿真

3.1 卷圆冲压成形模型的简化

将平顶链链板的卷圆冲压成形模型作简化处理，将原有的销孔上模和铰孔上模整合为 1 个卷圆上模，将原有的销孔下模与铰孔下模合并为 1 个卷圆下模，简化之后的卷圆冲压成形模型如图 5 所示，它由卷圆上模、卷圆下模、销孔用校孔棒、铰孔用校孔棒以及折弯件构成，并将简化后的模型另存为 x_t 格式备用。

3.2 卷圆冲压成形仿真的前处理

卷圆冲压成形仿真的前处理主要分为材料属性、分析步、相互作用、边界条件、网格划分模块等。前处理开始前，先将保存为 x_t 格式的卷圆冲压成形模型导入到 Abaqus 有限元分析软件中。

在 Abaqus 材料属性模块中，设置校孔棒的材质为 60Si2Mn 钢，其泊松比为 0.32，弹性模量为 206 GPa。模具本体的材料为 40Cr 钢，工件材料为马氏体型铬不锈钢，参考表 1 完成卷圆冲压成形仿真模型的材料参数设置。

在 Abaqus 分析步模块中，设置分析步的类型为显示动力，考虑实际冲压工况，分析步的时长暂设

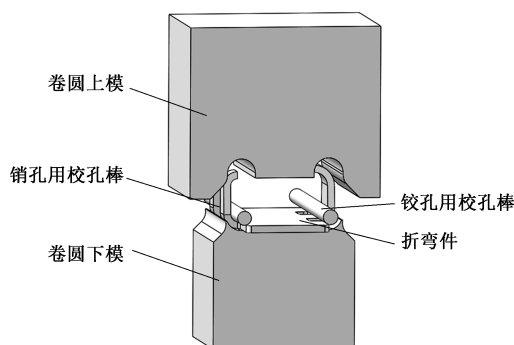


图 5 简化后的卷圆冲压成形模型

Fig. 5 Simplified roll-round stamping model

为 0.1 s。

在 Abaqus 相互作用模块中，分别定义全局为通用接触，折弯件的下表面与卷圆下模的上表面为表面与表面接触。统一设置为切向行为，且二者的摩擦因数为 0.20 和 0.25。

在 Abaqus 边界条件模块中，将卷圆下模和校孔棒完全固定，设置上模位移。初定卷圆上模向下的位移为 20 mm，设置幅值类型为平滑分析步，对应分析步时长为 0.1 s，周期为 1。

在 Abaqus 网格划分模块中，对仿真模型中的每个部件进行网格划分，选择网格单元类型为 C3D8R，并合理划分网格单元尺寸，最终划分好的卷圆冲压成形仿真模型的整体网格如图 6 所示。

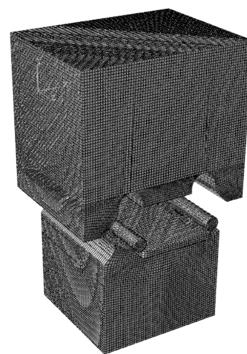


图 6 卷圆冲压成形仿真模型的网格划分

Fig. 6 Mesh generation of roll-round stamping simulation model

完成以上前处理工作后，便可对卷圆冲压成形仿真过程进行运算求解。

3.3 结果分析与改进

平顶链链板经过卷圆冲压成形后，其工件（卷圆件）所受的等效应力分布如图 7 所示。从图 7 可以看出，工件所受的最大等效应力位于链板左右两侧形成的卷圆处，符合工件卷圆冲压成形的实际受力情况。工件所受的最大等效应力为 600.7 MPa，最

大等效应力大于工件材料的屈服强度（440.0 MPa），且小于抗拉强度（675.0 MPa），即此种情况下工件可以发生塑性变形，且工件不会发生破坏。综上可知，工件在卷圆冲压成形后所受的等效应力情况符合工艺要求。

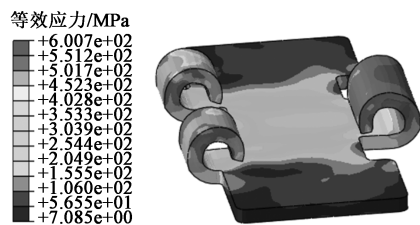


图 7 成形仿真后卷圆件的等效应力分布图

Fig. 7 Equivalent stress distribution diagram of roll-round parts after forming simulation

为了测量平顶链链板经卷圆冲压成形后的卷圆件的关键尺寸是否满足成形精度要求，需要将已完成回弹处理的卷圆冲压成形工件以 inp 文件的格式导出，再导入到 HyperMesh 软件中生成卷圆件的实体模型，如图 8 所示。最后在 SolidWorks 软件中打开卷圆件的实体模型，生成工程图并完成关键尺寸标注，卷圆件的关键尺寸标注如图 9 所示。

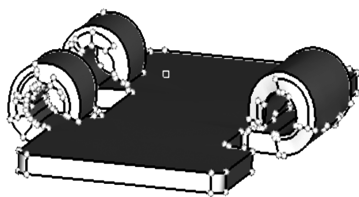


图 8 成形仿真后卷圆件的实体模型

Fig. 8 Solid model of roll-round parts after forming simulation

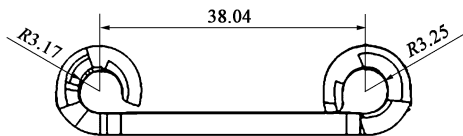


图 9 成形仿真后的卷圆件关键尺寸（模具修正前）

Fig. 9 Key dimensions of roll-round parts after forming simulation (Before die correction)

从图 9 可以看出，卷圆冲压成形仿真后的卷圆件的销孔半径为 3.17 mm，铰孔半径为 3.25 mm，二者的中心距为 38.04 mm，而标准卷圆件的销孔半径为 $3.08^{+0.03}_{-0.05}$ mm，铰孔半径为 $3.28^{+0.03}_{-0.05}$ mm，二者的中心距为 $38.10^{0}_{-0.12}$ mm。分析对比发现：卷圆冲压成形仿真后的卷圆件的销孔半径大于标准卷圆件的销孔半径，而卷圆件的铰孔半径处于标准卷圆件的铰孔半径的临界值。

针对表 2 中卷圆冲压成形模具的关键结构尺寸，分析出现上述情况的可能原因为：卷圆销孔上模的圆角半径过大、卷圆销孔下模的圆角半径过大、卷圆铰孔上模的圆角半径略大、卷圆铰孔下模的圆角半径略大，因此，需要对模具进行修正。将卷圆铰孔上模的圆角半径与卷圆铰孔下模的圆角半径保持不变，分别缩小卷圆销孔上模的圆角半径为 6.12 mm 和卷圆铰孔下模的圆角半径为 6.28 mm。之后再进行卷圆冲压成形有限元模型的建立、仿真求解、验证结果与实体生成，并完成关键尺寸标注。经模具修正后的链板卷圆件所受的最大等效应力为 600.7 MPa，最大等效应力大于工件材料的屈服强度（440.0 MPa），且小于抗拉强度（675.0 MPa），即此种情况下工件可以发生塑性变形，且工件不会发生破坏。经模具修正和卷圆冲压成形后的链板卷圆件的关键尺寸如图 10 所示。

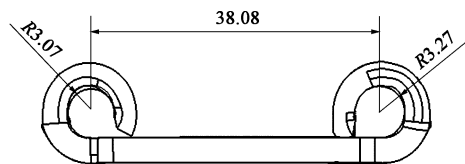


图 10 成形仿真后的卷圆件关键尺寸（模具修正后）

Fig. 10 Key dimensions of roll-round parts after forming simulation (After die correction)

从图 10 中可以看出，卷圆冲压成形仿真后的卷圆件的销孔半径为 3.07 mm，铰孔半径为 3.27 mm，二者的中心距为 38.08 mm。模具修正前后的卷圆件的关键尺寸对比如表 3 所示，可以发现，卷圆冲压成形模具修正后，卷圆件的销孔半径、铰孔半径以及中心距尺寸均达到了要求。

表 3 模具修正前后的卷圆件关键尺寸对比（mm）

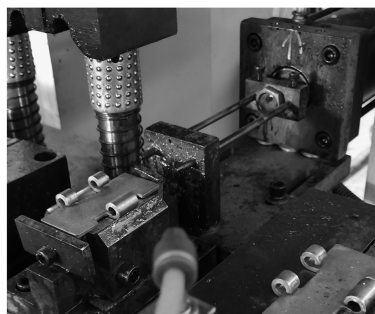
Table 3 Comparison of key dimensions for roll-round parts before and after die correction (mm)

关键尺寸参数	标准数值	模具修正前数值	模具修正后数值
销孔半径	$3.08^{+0.03}_{-0.05}$	3.17	3.07
铰孔半径	$3.28^{+0.03}_{-0.05}$	3.25	3.27
中心距	$38.10^{0}_{-0.12}$	38.04	38.08

4 样机实验验证

基于 Abaqus 的卷圆冲压成形仿真结果，采用修正后的模具设计参数加工模具样机，并进行平顶链链板卷圆冲压实验，如图 11 所示。为检测生产出的

平顶链链板是否符合设计要求,对平顶链链板成品进行抽样检测,分别从销孔半径、铰孔半径、中心距这 3 个方面判断生产出的平顶链链板是否达到设计要求。



(a)



(b)

图 11 卷圆冲压成形模具样机 (a) 及冲压后的工件 (b)

Fig. 11 Roll-round stamping die prototype (a) and workpiece after stamping (b)

在抽样检测的 100 件工件中,序号为 15 的工件的销孔半径和中心距不在设计要求的误差范围内,序号为 58 的工件的铰孔半径和中心距不在设计要求的误差范围内,其余工件的销孔半径、铰孔半径和中心距均在设计要求的误差范围内。从抽样结果来看,工件尺寸合格率为 98%。经修正后的平顶链链板卷圆冲压成形模具的结构设计合理,冲压后的工件满足设计尺寸要求,能较好地完成平顶链链板的卷圆冲压成形工作。

5 结论

(1) 分析了平顶链链板的卷圆冲压成形工艺,对其卷圆冲压成形模具进行整体结构设计和关键参数初步设计:该模具的上、下模均采用拼接式结构,其上模由铰孔上模和销孔上模拼接而成,其下模由销孔下模和铰孔下模拼接而成,且上、下模之间设有校孔装置。

(2) 建立平顶链链板的卷圆冲压成形简化模型,利用 Abaqus 有限元分析软件完成了卷圆冲压成

形仿真。依据仿真分析结果,通过缩小平顶链链板的卷圆销孔上模的圆角半径和缩小卷圆铰孔下模的圆角半径,可以有效改善卷圆件的销孔半径过大和卷圆件的铰孔半径处于标准误差的临界值的问题。经修正后,卷圆件的销孔半径为 3.07 mm,铰孔半径为 3.27 mm,中心距为 38.08 mm,工件尺寸达到工艺要求。

(3) 卷圆成形仿真结果表明:工件所受的最大等效应力位于链板左右两侧形成的卷圆处,符合工件卷圆成形的实际受力情况。工件所受的最大等效应力为 600.0 MPa,最大等效应力大于工件材料的屈服强度 (440.0 MPa),且小于抗拉强度 (675.0 MPa),即此种情况下工件在变形之后所受的等效应力情况符合工艺要求。

(4) 依据修正后的模具参数,制作了模具样机,并完成了卷圆冲压成形实验。实验结果表明,冲压后的工件的尺寸合格率为 98%,基本满足平顶链链板的卷圆冲压成形工艺设计要求。

参考文献:

- [1] 李光耀,王琥,杨旭静,等. 板料冲压成形工艺与模具设计制造中的若干前沿技术 [J]. 机械工程学报, 2010, 46 (10): 31-39.
Li G Y, Wang H, Yang X J, et al. Some new topics on process design and mould manufacture for sheet metal forming [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46 (10): 31-39.
- [2] Ai S, Lu B, Chen J, et al. Evaluation of deformation stability and fracture mechanism in incremental sheet forming [J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2017, 124-125: 174-184.
- [3] Yanamundra K K, Karthikeyan R, Naranje V. Finite element simulation and experimental verification of incremental sheet metal forming [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 346 (1): 1-12.
- [4] 窦晓霜. 中央通道超高强钢热成型工艺参数及回弹控制研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2018.
Dou X S. Research on Hot Forming Process Parameters and Springback Control of Ultra-high Strength with Steel Central Channel [D]. Changsha: Hunan University, 2018.
- [5] 李栓柱. 板管式板片冲压成型的数值模拟及分析 [J]. 制造业自动化, 2019, 41 (6): 27-29, 53.
Li S Z. Numerical simulation and analysis of plate tube sheet stamping forming [J]. Manufacturing Automation, 2019, 41 (6): 27-29, 53.
- [6] Bessam Zeramdini, Camille Robert, Guenael Germain, et al. Numerical simulation of metal forming processes with 3D adaptive Remeshing strategy based on a posteriori error estimation [J]. International Journal of Material Forming, 2019, 12 (3): 411-428.
- [7] Kumar S, Hariharan K, Digavalli R. Hybrid optimization of die

- design in constrained groove pressing [J]. Materials and Manufacturing Processes: Special Issue on Genetic Algorithm, 2020, 35 (6): 687-699.
- [8] Shanbhag V V, Rolfe B F, Arunachalam N, et al. Investigating galling wear behaviour in sheet metal stamping using acoustic emissions [J]. Wear, 2018, 414: 31-42.
- [9] Dhinesh K S, Subhasankari T, Paneerselvam T, et al. Simulation and numerical analysis of warm stamping (AA6061) [J]. Materials Today: Proceedings, 2019, 16 (2): 598-603.
- [10] 张新颖, 余天明, 栗彬琦, 等. 侧围外板冲压成形仿真及影响因素分析 [J]. 汽车工艺与材料, 2021, (8): 61-65.
Zhang X Y, Yu T M, Li B Q, et al. Simulation and influence factors analysis of side panel stamping [J]. Automobile Technology & Material, 2021, (8): 61-65.
- [11] 张华伟, 李博宏. 基于 ABAQUS 的碳纤维复合材料板热冲压成形仿真 [J]. 合成纤维工业, 2019, 42 (2): 16-20.
Zhang H W, Li B H. Hot simulation of thermal stamping formation process of carbon fiber composite sheet based on ABAQUS [J]. Synthetic Fiber Industry, 2019, 42 (2): 16-20.
- [12] Gmyrek Z, Cavagnino A, Ferraris L. Estimation of the magnetic properties of the damaged area resulting from the punching process: Experimental research and FEM modeling [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2013, 49 (5): 2069-2077.
- [13] 陈泽中, 李响, 刘欢, 等. 基于 Dynaform 的 SUV 汽车 B 柱热冲压成形仿真分析与工艺研究 [J]. 塑性工程学报, 2019, 26 (4): 113-119.
- Chen Z Z, Li X, Liu H, et al. Simulation analysis and process research of hot-stamped SUV B-pillar based on Dynaform [J]. Journal of Plastic Engineering, 2019, 26 (4): 113-119.
- [14] 李存利. 热处理工艺对 2Cr13 不锈钢组织影响及性能研究 [D]. 西安: 长安大学, 2019.
- Li C L. Effect of Heat Treatment Process on Microstructure and Properties of 2Cr13 Stainless Steel [D]. Xi'an: Chang'an University, 2019.
- [15] 谭淦年, 李全超, 张洪伟, 等. 某航空光电稳定平台方位框架设计和分析 [J]. 应用光学, 2016, 37 (3): 327-331.
Tan S N, Li Q C, Zhang H W, et al. Design and analysis of azimuth-gimbal in aerial opto-electronic stabilization platform [J]. Journal of Applied Optics, 2016, 37 (3): 327-331.
- [16] Soranansri P, Yanil S, Sirivedin K. Finite element modeling of shrink-fit design for improvement of die-service life in hot forging process of a bevel gear [J]. Materials Today: Proceedings, 2019, 17: 1711-1719.
- [17] 翁齐星. 链板卷圆工艺及其模具 [J]. 金属加工: 热加工, 1998, (6): 5-6.
Weng Q X. Chain plate rounding process and its die [J]. MW Metal Forming, 1998, (6): 5-6.
- [18] 张霞, 王新荣, 李大海. 冲压模具凸凹模间隙控制与调整方法研究 [J]. 机械研究与应用, 2008, (2): 47-49.
Zhang X, Wang X R, Li X H. Study on methods of controlling and adjusting clearance between the male die and the female die [J]. Mechanical Research & Application, 2008, (2): 47-49.

欢迎订阅《塑性工程学报》杂志



欢迎关注微信公众号

《塑性工程学报》(Journal of Plasticity Engineering)创刊于1994年,是由中国科学技术协会主管、中国机械工程学会主办的学术刊物。《塑性工程学报》为全国中文核心期刊,被众多知名数据库收录:中文核心期刊要目总览(北大)、中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊(核心库)、中国科技期刊引证报告统计源核心期刊、中国科技核心期刊(中国科技论文统计源期刊)、中国学术期刊文摘数据库(核心版,CSAD-C)、中国学术期刊综合评价数据库、美国化学文摘CA、美国剑桥科学文摘材料信息(CSA:MI)、Scopus数据库、日本科学技术振兴机构中国文献数据库等。本刊主要报道与塑性成形领域及其交叉学科相关的前沿性、创新性的基础理论研究及工程技术应用等优秀科研成果。

办刊宗旨:

活跃本专业学术思想,提高本专业学术理论,强化本专业学术交流,为不断提高我国塑性工程基础水平,确立我国塑性工程界在世界科技阵容中的地位而服务。

读者对象:

本刊适用于从事与材料塑性成形理论研究、科研、生产、设计等相关的高校师生、科研人员及专业技术人员阅读。

本刊订阅方式

1. 全国各地邮局均可直接订阅
本刊为月刊,大16开本,每月末出版
邮发代号: 80-353
国际标准刊号: ISSN 1007-2012
国内统一刊号: CN 11-3449/TG
国内定价: 40.00元/册
2. 逾期未定上者,可与编辑部联系订阅
汇款地址: 北京市海淀区学清路18号
收款人: 《塑性工程学报》编辑部
联系人: 薛老师
联系电话/传真: 010-62912592
电子邮箱: sxgxcb@263.net

欢迎投稿, 网址: <http://sxgc.cbpt.cnki.net/>