

模具

弯链板双斜楔横向对冲冲孔模具设计

汪永明^{1,2}, 董书豪^{1,2}, 蒋 晨^{1,2}, 唐成涛^{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: 在某型号销合链弯链板自动化冲压级进模的研发中, 由于冲孔工序涉及废料难以去除和工件不便取出的问题, 使得该型号销合链弯链板的加工难以实现自动化。针对此问题, 延续弯链板自动化冲压级进模的设计思路, 提出一种双斜楔横向对冲冲孔模具设计方案, 用于代替原有的悬架式竖直冲孔模具, 并运用 DEFORM-3D 软件对横向对冲冲孔工艺方案进行仿真验证。在此基础上, 开展冲裁间隙、凸凹模刃口尺寸和冲裁力等工艺参数计算, 并对斜楔、冲孔装置、凹模、压料装置和顶料装置等关键零部件展开结构设计, 运用 SOLIDWORKS 软件完成模具的三维设计。最后, 研制模具样机并开展冲压试验验证。结果表明, 所研制的双斜楔横向对冲冲孔模具能够较好地应用于弯链板自动化冲压级进模中。经抽样检测, 冲孔加工后的工件全部合格, 同时也有效地解决了冲孔废料难以去除和工件不便取出的问题, 实现了弯链板的自动化生产, 有效缩短了模具的研发时间与试模周期。

关键词: 弯链板; 冲孔模具; 横向对冲; 双斜楔; 压料装置; 顶料装置

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.01.026

中图分类号: TH162 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2023) 01-0187-09

Design on double-slanting wedge horizontal hedging punching die for curved chain plate

Wang Yongming^{1,2}, Dong Shuhao^{1,2}, Jiang Chen^{1,2}, Tang Chengtao^{1,2}, Tan Libin^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243032, China;

2. Anhui Province Key Laboratory of Special Heavy Load Robot, Ma'anshan 243032, China)

Abstract: In the development of an automatic stamping progressive die for a certain type of curved chain plate of pin-joint chain, it is difficult to automate the processing of curved chain plate of pin-joint chain because the punching process involves the problem that the scrap is difficult to remove and the workpiece is inconvenient to take out. Therefore, for this problem, the design idea of automatic stamping progressive die for curved chain plate was continued, and a double-slanting wedge horizontal hedging punching die design scheme was proposed to replace the original hanging vertical punching die, and the horizontal hedging punching process scheme was simulated and verified by software DEFORM-3D. Furthermore, on this basis, the process parameters such as punching gap, die or punch edge dimensions and punching force were calculated, and the structure design of key components such as slanting wedge, punching device, die, pressing device and discharging device was carried out, and the 3D design of die was completed by software SOLIDWORKS. Finally, the prototype die was developed and the stamping test was carried out for verification. The results show that the developed double-slanting wedge horizontal hedging punching die can be well applied to the automatic stamping progressive die for curved chain plate. After sampling inspection, all the workpieces after punching are qualified, which also effectively solves the problems that it's difficult to remove the punching scrap and inconvenient to take out the workpieces. Thus, the automatic production of curved chain plate is realized, and the development time of die and die trial period are effectively shortened.

Key words: curved chain plate; punching die; horizontal hedging; double-slanting wedge; pressing device; discharging device

冲压加工作为一种高效的生产方法, 因其生产效率高、成本低的特点, 受到众多生产单位的青睐。近年来, 三维建模软件和有限元分析软件在冲压模

具领域的应用, 使得冲压模具的设计工作更加简便和高效^[1-2]。例如: 丛兵兵等^[3]针对马车螺栓成形过程中坯料产生缺陷和模具寿命短的问题, 运用 DEFORM 软件对其冷镦成形过程进行仿真, 分析了坯料成形缺陷和模具结构的相关性, 在此基础上完成模具的结构设计, 有效地改善了工件的成形质量, 同时提高了模具寿命。冯晓杰^[4]根据天花灯金属外罩的结构及其成形难点, 使用 CAD 三维建模软件设

收稿日期: 2022-04-07; 修订日期: 2022-07-19

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

计了级进模、弯边模、预卷边模和成形卷边模,有效地处理了成形过程中的撕裂和卷边问题,缩短了修模周期。毕海娟等^[5]以两种材质、8种厚度规格的航天运载火箭用铝合金椭圆瓜瓣构件产品为研究对象,通过充液成形工艺仿真、板料回弹补偿优化仿真等手段对模具进行结构优化,同时结合产品试验对模具进行改进,最终生产出一套适用于8种不同厚度规格的椭圆瓜瓣构件的模具,极大地节约了模具的投入成本。刘启华等^[6]针对汽车冲压件中的后地板零件在翻边时出现的回弹问题,进行了模具结构分析和优化,并通过CAE全工序模拟,验证了改进后的模具能将回弹控制在 3° 以内,达到了零件要求,有效地提高了产品质量。刘晓晶等^[7]针对铝合金车内门板冲压过程中的起皱和破裂问题,运用DYNIFORM软件对冲压工艺进行仿真优化,而后运用UG完成三维设计,有效地提高了工件的成形质量。Jaafar N A等^[8]以厚度为1.4 mm的S275软钢板为研究对象,通过9组不同间隙角的冲孔模,探究间隙角对凸模寿命的影响,最终得出,当间隙角为 0.75° 时,可将凸模磨损降至最低,进而为冲孔模具设计提供了依据。

本文针对某型号销合链弯链板自动化冲压级进模研发中的瓶颈问题——冲孔工序废料难以去除和工件不便取出,提出采用一种双斜楔横向对冲冲孔模具代替原有的悬架式垂直冲孔模具的方案,并运用DEFORM-3D软件对横向对冲冲孔工艺进行仿真,用以验证方案的可行性。而后对双斜楔横向对冲冲孔模具展开参数计算和结构设计,并使用SOLIDWORKS软件完成三维建模,最后根据设计尺寸完成样机制作。通过样机试验,证明了该冲孔方案能够应用于级进模中,在冲压出合格弯链板的同时,可解决废料难以去除和工件不便取出的问题,有效地缩短了模具的研发时间与试模周期。

1 弯链板冲孔工艺分析

销合链弯链板的结构可描述为带有侧孔的U形弯曲件。弯链板材料为40Mn钢,板料厚度为4.3 mm,退火硬度为78 HB,材料剪切强度 $\tau_b = 355$ MPa,具有较强的塑性变形能力。其制作过程分为落料、弓形折弯、U形折弯和冲孔4道工序^[9]。其中,落料工序是在复合模中完成弯链板落料的同时,在弯链板开口端冲制出直径为 $\Phi 10.4$ mm的小孔;冲孔工序是在弯链板开口端原有孔的基础上,对称冲制出两个直径为 $\Phi 11.1$ mm的负公差孔,作

为销孔,在套筒端对称冲制出两个直径为 $\Phi 11.1$ mm的正公差孔,作为铰孔。冲孔后的零件工艺尺寸如图1所示。

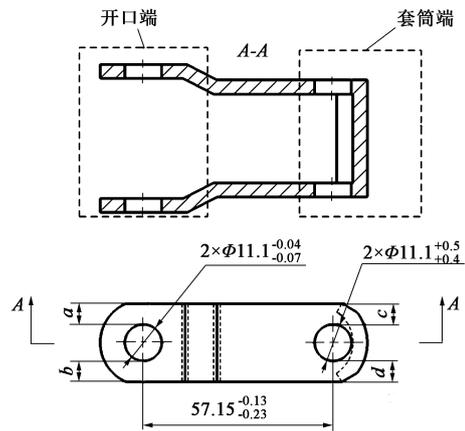


图1 冲孔后零件尺寸图

Fig. 1 Dimension drawing of part after punching

冲孔件的制造精度要求不高,约为IT10~IT9级,但冲孔后的工件需满足:(1)销孔与铰孔的孔间距尺寸在 $57.15_{-0.23}^{-0.13}$ mm范围内;(2)对称度需满足 $|a-b| \leq 0.35$ mm, $|c-d| \leq 0.5$ mm,其中, a 、 b 、 c 、 d 分别表示销孔和铰孔距弯链板边缘的距离。

2 双斜楔横向对冲冲孔模具方案

由于销合链弯链板的板料较厚,并且冲孔工序是一次完成多孔的冲裁,因此,垂直冲孔方式能够有效降低模具的受力复杂程度。弯链板冲孔工序的传统制造方式是采用悬架式垂直冲孔模,将凹模作为浮动式悬架,凸模垂直布置于凹模两侧。冲孔时,工件横向扣在凹模上,实现两侧的多孔冲裁。冲孔后,依靠人工使用推料棒将工件和废料一同推出,垂直冲孔工艺示意图如图2所示。但是,在设计集弓形折弯、U形折弯和冲孔为一体的自动化冲压级进模时,要考虑冲孔废料去除以及工件如何取出等问题,如依然采用垂直冲孔方式,虽然能降低模具受力的复杂程度,但将增加自动化冲压级进模的设计难度,使得装置结构复杂、生产效率低。因此,提出一种横向对冲冲孔工艺,将凹模固定,凸模横向布置于凹模两侧,冲孔时工件竖直扣在凹模上,依靠两侧冲钉对工件横向对冲冲孔,废料通过凹模的中空部分自然落下,横向对冲冲孔工艺示意图如图3所示。

根据横向对冲冲孔工艺,提出一种双斜楔横向对冲冲孔模具方案,以解决级进模中的冲孔问题。其主

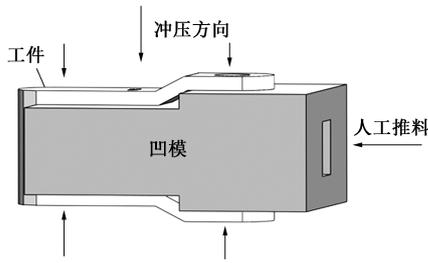


图 2 垂直冲孔工艺示意图

Fig. 2 Schematic diagram of vertical punching process

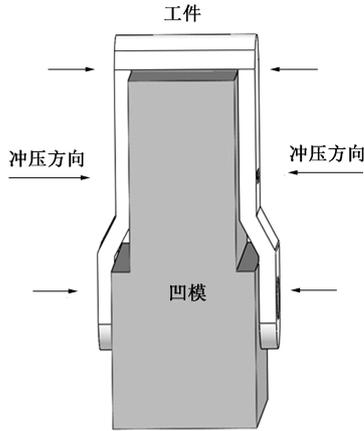


图 3 横向对冲冲孔工艺示意图

Fig. 3 Schematic diagram of horizontal hedging punching process

要零部件包括斜楔、冲孔装置、凹模、压料装置和顶料装置 5 大部分，如图 4 所示。其主要工作过程为：

(1) 将 U 形工件反扣在凹模上（凹模兼起到定位作用），卸料板和压料板在冲孔前将工件压紧，用来保证冲孔位置的准确性；

(2) 冲床下压，通过斜楔把压力机的垂直运动转变为滑块的横向运动，从而带动凸模在横向方向上进行冲孔；

(3) 冲孔结束，滑块依靠复位弹簧回位，冲孔废料通过中空的凹模经漏料孔自然落下。

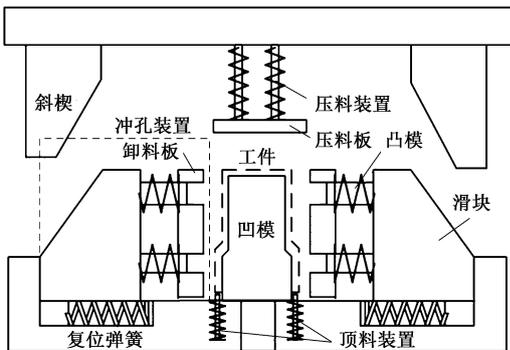


图 4 双斜楔横向对冲冲孔模具方案示意图

Fig. 4 Schematic diagram of double-slanting wedge horizontal hedging punching die scheme

3 基于 DEFORM 的横向对冲冲孔工艺验证

为了探究横向对冲冲孔工艺能否按照预期对工件实现冲孔，现利用 DEFORM-3D 软件对横向对冲冲孔过程进行仿真。首先，运用三维建模软件建立横向对冲冲孔模具的简化模型，凹、凸模的刃口尺寸均按照原有垂直冲孔模具的数值设置。如图 5 所示，工件反扣于简化凹模上，凹模、卸料板和压料板起固定作用，分别固定工件的内侧、外侧和上侧，以防止冲裁时工件发生失稳变形。

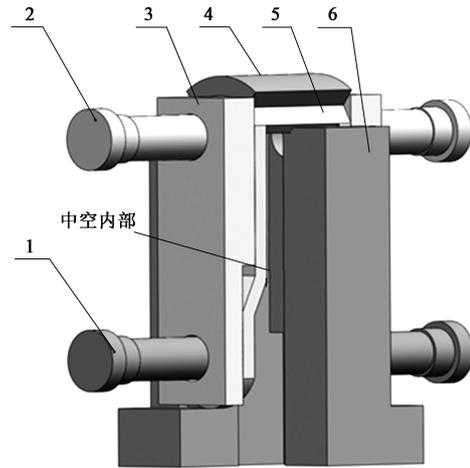


图 5 横向对冲冲孔简化模型（局部剖面）

1. 销孔凸模 2. 铰孔凸模 3. 卸料板 4. 压料板 5. 工件 6. 凹模
Fig. 5 Simplified model of horizontal hedging punching (Partial section)

将三维简化模型导入 DEFORM 后，使用四面体网格对工件和凸模进行网格划分，工件的网格总数为 50000 个，凸模的网格总数为 32000 个，为提高仿真精度，采用 Mesh Window 对冲裁区域进行网格细化；凸模材料使用材料库中的 AISI-D2 钢，硬度设置为 55 HRC。此外，为了保证有限元仿真结果的可靠性，参照 GB/T 228. 1—2021^[10] 对工件材料进行拉伸试验，得出 40Mn 钢板的应力-应变曲线，并导入 DEFORM 材料库中。图 6 和图 7 分别

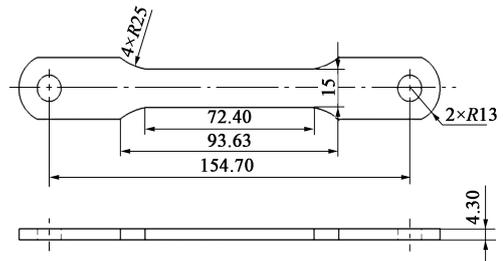


图 6 拉伸试样尺寸图

Fig. 6 Dimension drawing of tensile specimen



图 7 拉伸试验结果
Fig. 7 Results of tensile test

为拉伸试样尺寸图和拉伸试验结果, 图 8 为 40Mn 钢的应力-应变曲线图。

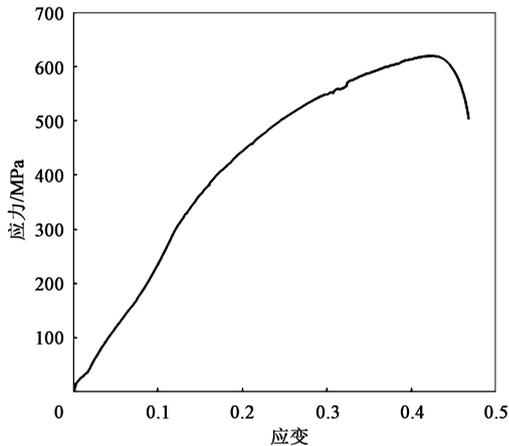


图 8 拉伸试样的应力-应变曲线图
Fig. 8 Stress-strain curve diagram of tensile specimen

选用可以较为稳定地反映金属断裂情况的 Normalized C&L 断裂准则^[11-12], 并通过拉伸试验和仿真共同确定断裂阈值为 4.5, 断裂单元为 2; 然后, 创建接触对, 并选用剪切摩擦条件, 同时将摩擦因数设置为 0.12。关于仿真过程中涉及的磨损问题, 选用 Archard 磨损模型^[13]。仿真步长取最小单元长度的 1/5, 约为 0.06 mm, 仿真步数设置为 100 步。最后, 将凸模作为主动模具, 给予运动条件进行冲孔仿真。

为了直观地看出横向对冲冲孔过程中销合链弯链板的变形情况, 截取横向对冲冲孔过程中工件在 Step 2、Step 15、Step 35 和 Step 45 时的等效应力云图, 如图 9 所示。

从图 9 中可以看出: 冲孔过程中, 等效应力集中在凸模与凹模的刃口区域; 随着凸模行程逐渐增大, 工件变形越来越大, 直至产生断裂分离, 实现横向对冲冲孔。Step 45 时的最大等效应力主要集中在铰孔的上半部分, 由于受到工件形状的限制, 将铰孔凹模设计为不完全圆孔, 所以, 在冲孔后工件铰孔的上端存在撕裂现象。根据仿真结果可以看出, 采用横向对冲冲孔方案, 能够完整地冲制出工件的铰孔和销孔, 且其冲孔的断面较平直, 工件无明显损伤。铰孔的上端虽然处于无凹模状态, 但在冲孔过程中未导致工件发生变形。说明横向对冲冲孔工艺合理, 可以展开横向对冲冲孔模具的设计。

4 冲孔工艺参数设计

4.1 冲裁间隙的计算

冲裁间隙是指凸模与凹模之间的间隙, 间隙大小是对冲裁件的断面质量、模具寿命以及冲裁力起着决定性作用的因素之一^[14]。本文采用理论计算法, 根据冲裁过程中开始产生裂纹的瞬时状态计算合理的冲裁间隙 Z , 其计算公式如式 (1) 所示。

$$Z = 2(t - h_0) \tan\beta = 2t(1 - h_0/t) \tan\beta \quad (1)$$

式中: Z 为冲裁间隙, mm; t 为材料厚度, mm; h_0 为塑性剪切深度, mm; h_0/t 为相对压入深度; β 为裂纹斜度, ($^\circ$)。

经查表^[15]可知, h_0/t 取 0.35~0.45, β 取 $4^\circ \sim 5^\circ$ 。经计算, 最大冲裁间隙 $Z_{\max} = 0.49$ mm, 最小冲裁间隙 $Z_{\min} = 0.33$ mm, 确定冲裁间隙的取值范围为 0.30~0.50 mm。设计时采用最小的合理冲裁间隙, 初选 $Z_{\min} = 0.30$ mm, 即单边件的冲裁间隙为 0.15 mm。

4.2 凹、凸模刃口尺寸的计算

采用凸模与凹模分别加工的方法对凹、凸模刃口尺寸及公差进行计算, 其计算公式为^[15]:

$$d_T = (d_{\min} + x\Delta)_{-\delta_T}^0$$

$$d_A = (d_{\min} + x\Delta + Z_{\min})_0^{+\delta_A} \quad (2)$$

式中: d_T 为凸模刃口尺寸, mm; d_{\min} 为冲孔件孔径的下极限尺寸, mm; x 为磨损系数; Δ 为冲孔件孔径的公差, mm; δ_T 为凸模制造公差, mm; d_A 为凹模刃口尺寸, mm; δ_A 为凹模制造公差, mm。

模具制造公差等级通常高于工件 2~3 级^[15], 因此, 模具的制造公差取 IT7~IT6。本设计中, 凸模按 IT6 级加工, 凹模按 IT7 级加工, 可得: $\delta_T = 0.011$ mm, $\delta_A = 0.018$ mm, $x = 0.75$ 。经计算, 最

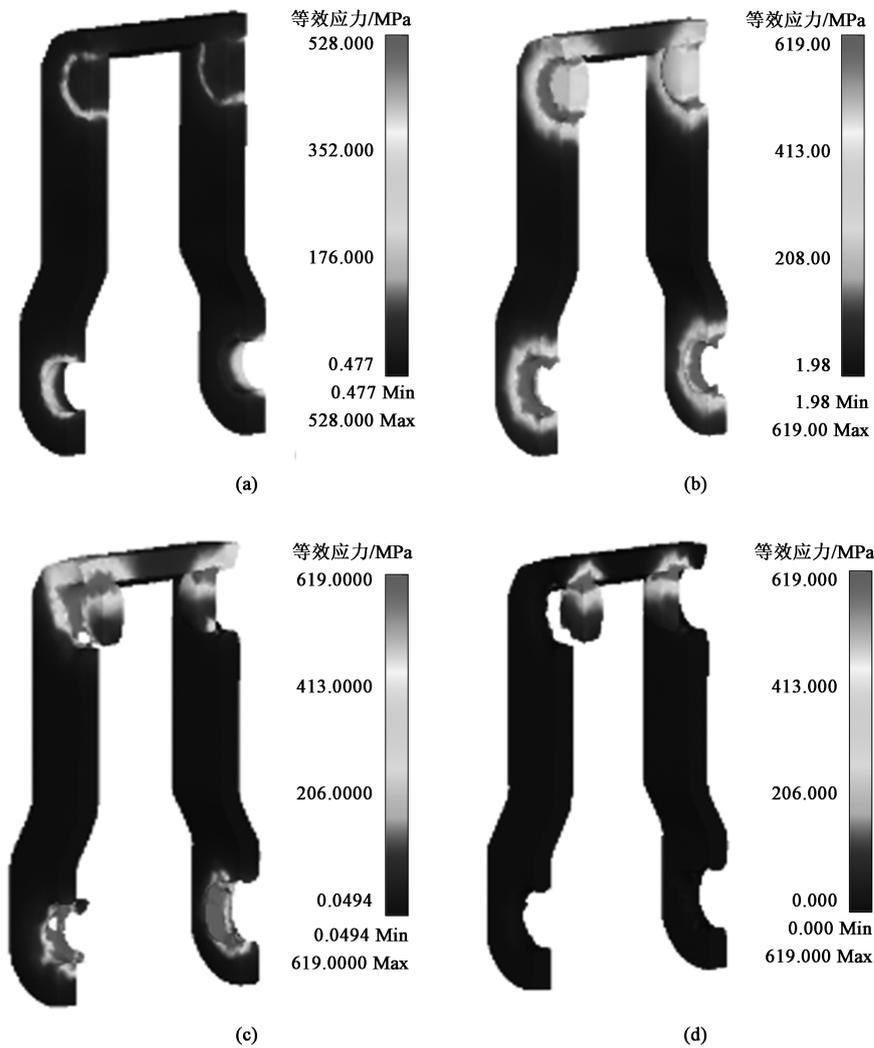


图 9 横向对冲冲孔过程中工件的等效应力云图

(a) Step 2 (b) Step 15 (c) Step 35 (d) Step 45

Fig. 9 Equivalent stress cloud maps of workpieces in horizontal hedging punching process

终确定销孔的凸模刃口尺寸为 $\Phi 11.05_{-0.011}^0$ mm，销孔的凹模刃口尺寸为 $\Phi 11.35_0^{+0.018}$ mm；铰孔的凸模刃口尺寸为 $\Phi 11.60_{-0.011}^0$ mm，铰孔的凹模刃口尺寸为 $\Phi 11.90_0^{+0.018}$ mm。

4.3 冲裁力与卸料力的计算

为了合理设计模具和方便后续对卸料弹簧进行选型，需对冲裁力和卸料力进行计算。其相关计算公式为：

$$\begin{aligned} F &= Kl\tau_b \\ F_s &= K_s F \end{aligned} \quad (3)$$

式中： F 为冲裁力，N； K 为修正系数，取 1.3； L 为冲裁周长，取单个孔的冲裁周长为 35 mm； τ_b 为材料的抗剪强度，取为 355 MPa； F_s 为卸料力，N； K_s 为卸料力系数，本文取 $K_s = 0.03$ 。经计算得：

$$F = 69455 \text{ N}, F_s = 2083 \text{ N}.$$

5 结构设计

5.1 斜楔结构设计

双斜楔横向对冲冲孔模具通过斜楔竖直运动推动滑块横向运动，进而完成由竖直方向的冲裁力向水平方向的冲裁力的转换。斜楔的三维示意图如图 10 所示。

斜楔设计为带凸台的 45° 斜块，使用两个螺栓与上模座连接固定，凸台部分以间隙配合方式镶嵌在上模板中，用以分担螺栓受到的剪切力。斜楔材料选用 40Cr 钢，热处理硬度为 40~45 HRC。

5.2 冲孔装置设计

冲孔装置包括滑块、凸模、卸料弹簧、复位弹

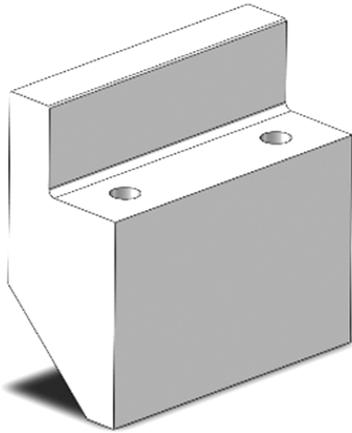


图 10 斜楔三维示意图

Fig. 10 3D schematic diagram of slanting wedge

簧、卸料板等主要零件，用于实现横向对冲冲孔和卸料的功能。

为了配合斜楔将垂直方向的冲裁力转换为水平方向的冲裁力，滑块设计为带有 45° 斜面的不规则矩形块状，其底部两侧设有矩形导轨，便于在下模座中滑动，滑块的底面设有复位弹簧挡块，用以安装复位弹簧，使得冲孔结束后冲孔装置能够顺利回到初始位置，为下一次冲孔做好准备。此外，为了使冲孔前后零件一直处于压紧状态，滑块两侧设置弹簧槽，用以安装卸料弹簧。滑块的材料选用 40Cr 钢，热处理硬度为 $40\sim 45$ HRC，其三维示意图如图 11 所示。

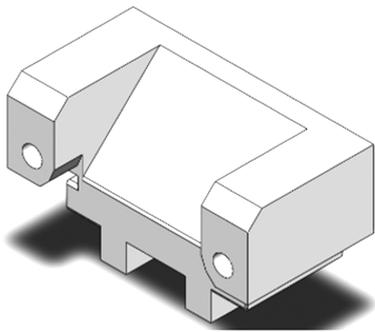
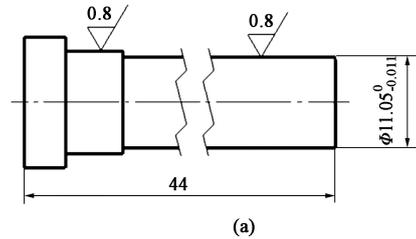


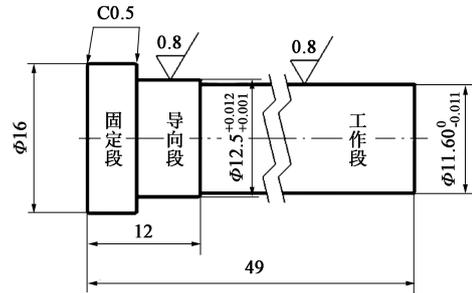
图 11 滑块三维模型

Fig. 11 3D model of slider

铰孔凸模与销孔凸模的结构相同，但刃口尺寸不同。为了使凸模在冲孔时与工件表面垂直接触，将凸模设计为含有固定段、导向段及工作段的 3 段式凸模。固定段与凸模固定板为过渡配合，凸模固定板与滑块通过螺钉固连。凸模的材料选用 6542 钢，热处理硬度为 $58\sim 60$ HRC，图 12 为销孔凸模和铰孔凸模的结构尺寸图。



(a)



(b)

图 12 凸模结构尺寸图

(a) 销孔凸模 (b) 铰孔凸模

Fig. 12 Dimension drawings of punch structure

(a) Pin hole punch (b) Reaming punch

卸料板在冲孔前后分别起着压料和卸料作用，当卸料弹簧选取过小时，将会导致工件在加工过程中发生失稳变形。根据前述的冲孔工艺参数设计结果可知，卸料力 $F_s = 2083$ N，因此，安装在冲孔装置中的两个弹簧共需要提供不小于 2083 N 的弹力。此模具卸料弹簧选择材料为 65Mn 钢、外径为 $\Phi 25$ mm、内径为 $\Phi 12.5$ mm、长度为 60 mm、压缩率为 32%、极限压力为 1225 N 的矩形弹簧。

压力机的冲程结束后，凸模在卸料力的作用下脱离冲孔件时，冲孔装置未回位至初始位置，此时复位弹簧提供力使冲孔装置复位，复位弹簧的弹力需能推动 3 倍冲孔装置的质量^[16]。依据冲孔装置的质量，此模具复位弹簧选择材料为 65Mn 钢、外径为 $\Phi 25$ mm、内径为 $\Phi 12.5$ mm、长度为 80 mm、压缩率为 40%、极限压力为 823 N 的矩形弹簧。

图 13 为冲孔装置示意图。两个凸模上下布置，通过凸模固定板与滑块固连；两个卸料弹簧布置于滑块两侧，弹簧导柱穿过弹簧将滑块和卸料板连接；复位弹簧布置于下模座中的弹簧槽内，通过滑块底部的复位弹簧挡块发挥作用。

5.3 凹模结构设计

依据凹模刃口计算尺寸和冲孔工艺要求，综合考虑弯链板定位和废料去除问题完成凹模设计。为方便去除废料，凹模内部设计为中空棱柱形，凹模通过铰孔螺栓与下模座定位和连接，底部两侧设有

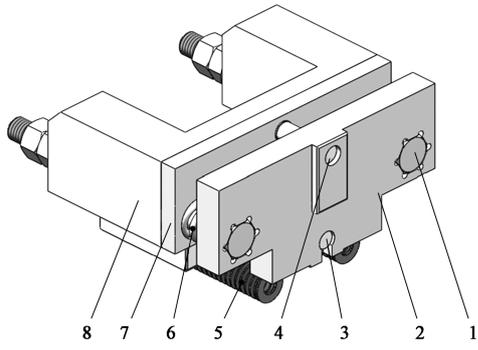


图 13 冲孔装置示意图

- 1. 弹簧导柱 2. 卸料板 3. 销孔凸模 4. 铰孔凸模
- 5. 复位弹簧 6. 卸料弹簧 7. 凸模固定板 8. 滑块

Fig. 13 Schematic diagram of punching device

顶针孔，用以安装顶料装置。凹模的材料选用 Cr12MoV 钢，热处理硬度为 55~60 HRC，其三维示意图和二维结构尺寸图分别如图 14 和图 15 所示。

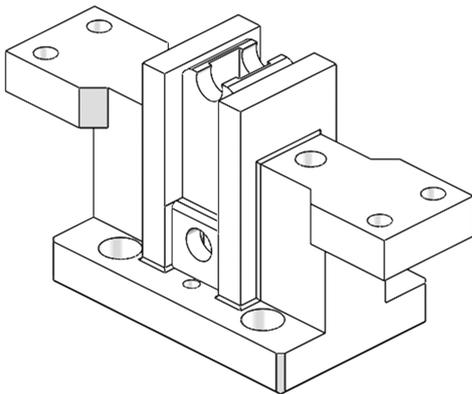


图 14 凹模三维示意图

Fig. 14 3D schematic diagram of die

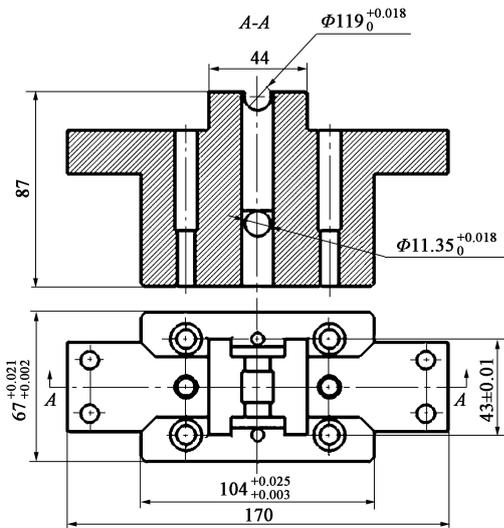


图 15 凹模结构尺寸图

Fig. 15 Dimension drawing of die structure

5.4 压料与顶料装置结构设计

为保证处于级进模中的冲孔模具在冲孔工件处于正确冲孔位置，需设计压料装置；同时，在完成冲孔后，为了工件能够方便地取出，需设计顶料装置，其作用是使得冲孔后的工件在凹模内处于浮动状态，自动送料装置通过吸盘能轻松地将冲孔件从冲孔模具中取出。图 16 为压料装置与顶料装置示意图。

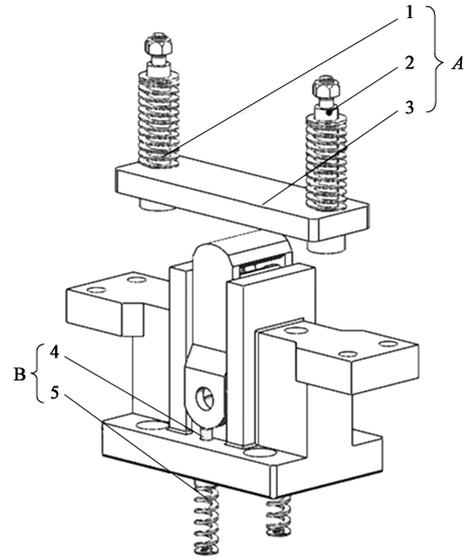


图 16 压料与顶料装置结构示意图

- A. 压料装置 B. 顶料装置 1. 压料弹簧 2. 弹簧拉杆
- 3. 上压料板 4. 顶针 5. 顶料弹簧

Fig. 16 Structural schematic diagram of pressing and discharging devices

压料装置由上压料板、压料弹簧以及弹簧拉杆组成。顶料装置由顶料弹簧与顶针构成，顶料弹簧安装在下模座的槽孔内，顶针可在凹模内上下浮动。自动送料装置将工件倒扣于凹模上后，工件在顶料装置的作用下处于浮动状态；当压力机下行，工件在压料装置的作用下到达加工位置；完成冲孔后，压力机上行，压料装置不再对工件作用，顶料装置将工件顶起，方便自动送料装置取料。

5.5 模具总体结构设计

根据前述的关键零件结构尺寸，完成双斜楔横向对冲冲孔模具的总体设计，如图 17 所示，凹模布置在下模座中心位置，压料装置固定在上模座中心位置，并处于凹模的正上方；两个冲孔装置左右对称分布于凹模两侧，通过两侧斜块分别与相应的滑块接触以实现横向对冲冲孔。

6 样机试验

根据上述的模具结构设计，完成二维设计图

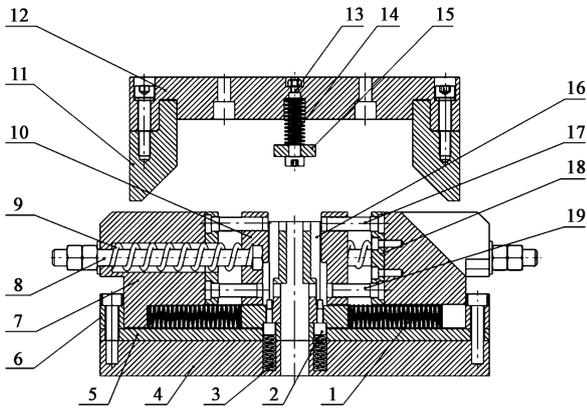


图 17 双斜楔横向对冲冲孔模具结构示意图

1. 滑块回位弹簧 2. 顶针 3. 顶料弹簧 4. 底板 5. 下模座
6. 滑块限位板 7. 滑块 8. 弹簧导柱 9. 卸料弹簧 10. 卸料板
11. 上楔块 12. 上模板 13. 弹簧拉杆 14. 压料弹簧 15. 上压料板
16. 凹模 17. 铰孔凸模 18. 凸模固定板 19. 销孔凸模

Fig. 17 Structural schematic diagram of double-slanting wedge horizontal hedging punching die

纸，通过外协加工完成双斜楔横向对冲冲孔模具的样机平台搭建，并将其应用于自动化冲压级进模中。随后，开展连续冲压试验，随机抽取冲孔样品进行产品检验。利用本模具冲孔后的弯链板工件如图 18 所示。



图 18 冲孔后的弯链板工件

Fig. 18 Curved chain plate workpiece after punching

弯链板冲孔件的主要检测项目如图 19 所示，在确定两孔中心距时，可使用游标卡尺准确测量两孔的最大距离，因此，根据工件的尺寸公差计算得到铰孔与销孔的最大距离在 68.09~68.35 mm 范围内时，视为合格。随机抽样 20 件的质量检测结果如表 1 所示。

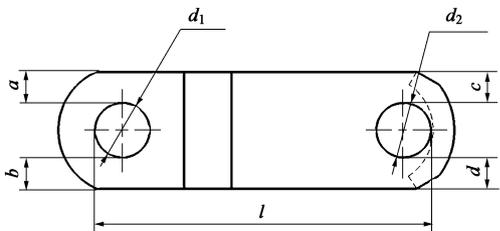


图 19 弯链板成品检测项目

Fig. 19 Testing items of finished product for curved chain plate

表 1 弯链板随机质量检测结果

Table 1 Random quality testing results of curved chain plate

序号	铰孔		销孔		最大孔距 /mm
	对称度/mm ($ c-d \leq 0.5$)	直径 d_2 /mm ($\Phi 11.1_{+0.5}^{+0.4}$)	对称度/mm ($ a-b \leq 0.35$)	直径 d_1 /mm ($\Phi 11.1_{-0.07}^{-0.04}$)	
1	0.20	$\Phi 11.58$	0.12	$\Phi 11.04$	68.20
2	0.26	$\Phi 11.56$	0.16	$\Phi 11.06$	68.28
3	0.30	$\Phi 11.58$	0.10	$\Phi 11.06$	68.24
4	0.26	$\Phi 11.58$	0.22	$\Phi 11.06$	68.20
5	0.50	$\Phi 11.54$	0.08	$\Phi 11.06$	68.18
6	0.28	$\Phi 11.52$	0.22	$\Phi 11.06$	68.30
7	0.10	$\Phi 11.54$	0.20	$\Phi 11.04$	68.14
8	0.22	$\Phi 11.56$	0.30	$\Phi 11.03$	68.16
9	0.20	$\Phi 11.54$	0.30	$\Phi 11.04$	68.26
10	0.24	$\Phi 11.56$	0.12	$\Phi 11.06$	68.22
11	0.38	$\Phi 11.54$	0.16	$\Phi 11.04$	68.20
12	0.30	$\Phi 11.58$	0.24	$\Phi 11.06$	68.32
13	0.34	$\Phi 11.58$	0.26	$\Phi 11.06$	68.32
14	0.20	$\Phi 11.58$	0.28	$\Phi 11.06$	68.18
15	0.25	$\Phi 11.56$	0.22	$\Phi 11.04$	68.20
16	0.28	$\Phi 11.54$	0.35	$\Phi 11.06$	68.30
17	0.18	$\Phi 11.56$	0.30	$\Phi 11.04$	68.14
18	0.10	$\Phi 11.58$	0.28	$\Phi 11.06$	68.22
19	0.22	$\Phi 11.56$	0.20	$\Phi 11.06$	68.30
20	0.36	$\Phi 11.56$	0.14	$\Phi 11.06$	68.20

根据检测结果可知：

(1) 20 组工件中，最大孔距为 68.32 mm，最小孔距为 68.14 mm，均在误差范围内；

(2) 20 组工件中，铰孔的最大直径为 $\Phi 11.58$ mm，最小直径为 $\Phi 11.52$ mm，满足铰孔直径 $\Phi 11.1_{+0.4}^{+0.5}$ mm 的公差要求；销孔的最大直径为 $\Phi 11.06$ mm，最小直径为 $\Phi 11.03$ mm，满足销孔直径 $\Phi 11.1_{-0.07}^{-0.04}$ mm 的公差要求；

(3) 20 组工件中，铰孔的对称度测量值最大为 0.50 mm，最小为 0.10 mm，满足 $|c-d| \leq 0.5$ ；销孔的对称度测量值最大为 0.35 mm，最小为 0.10 mm，满足 $|a-b| \leq 0.35$ 。

除以上结果检测合格外，冲孔废料可顺利去除，冲孔后工件在模具内处于松动状态，可轻松

取出。

7 结论

(1) 采用横向对冲冲孔工艺对弯链板的两侧面进行冲孔具有可行性,对同类型的链板模具设计具有参考价值。

(2) 在结构设计中充分考虑了弯链板的结构特点,安排压料装置、卸料装置和中空的凹模,既能保证冲孔时工件不会失稳变形,又能解决冲孔后去除废料的问题。

(3) 经样机试验验证了横向对冲冲孔工艺和模具结构设计合理,所生产出的弯链板产品质量稳定、可靠,有效地缩短了模具研发时间与试模周期。

参考文献:

- [1] 王英虎. 基于 Defrom-3D 和 UG/CAD 的数码分段开关外壳冲压模具设计 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (6): 174-183.
Wang Y H. Design on stamping die for digital sectional switch shell based on Defrom-3D and UG/CAD [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (6): 174-183.
- [2] 程一峰, 朱英霞, 程华, 等. 5754 铝合金阶梯形圆筒件多工序冲压模拟 [J]. 塑性工程学报, 2022, 29 (6): 58-66.
Cheng Y F, Zhu Y X, Cheng H, et al. Multi-process stamping simulation of 5754 aluminum alloy stepped cylinder part [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2022, 29 (6): 58-66.
- [3] 丛兵兵, 孔明, 张弘斌, 等. 马车螺栓冷镦成形有限元模拟及模具设计 [J]. 塑性工程学报, 2022, 29 (2): 76-81.
Cong B B, Kong M, Zhang H B, et al. Finite element simulation and die design of cold heading forming for carriage bolt [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2022, 29 (2): 76-81.
- [4] 冯晓杰. 天花灯金属外罩模具设计 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (8): 142-147.
Feng X J. Mold design on metal cover of ceiling lamp [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (8): 142-147.
- [5] 毕海娟, 田恕, 李继光, 等. 椭圆瓜瓣构件充液成形模具设计及优化 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (6): 167-173.
Bi H J, Tian S, Li J G, et al. Design and optimization on hydroforming die for ellipsoidal melon petal component [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (6): 167-173.
- [6] 刘启华, 周旭, 伍英, 等. 后地板冲压工艺分析及模具设计 [J]. 塑性工程学报, 2021, 28 (4): 77-81.
Liu Q H, Zhou X, Wu Y, et al. Process analysis and die design of stamping of rear floor [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2021, 28 (4): 77-81.
- [7] 刘晓晶, 陈晓桐, 张晓华, 等. 铝合金车门内板成形工艺数值模拟及模具设计 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2018, 23 (4): 118-121.
Liu X J, Chen X T, Zhang X H, et al. Numerical simulation and die design for forming process of aluminum alloy door inner panel [J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2018, 23 (4): 118-121.
- [8] Jaafar N A, Abdullah A B, Samad Z. Effect of punching die angular clearance on punched hole quality of S275 mild steel sheet metal [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019, 101 (5/8): 1553-1563.
- [9] 汪永明, 李偃, 谈莉斌, 等. 基于正交实验的弯链板 U 弯冲压成形数值仿真 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (12): 46-53.
Wang Y M, Li W, Tan L B, et al. Numerical simulation on U-bending for curved chain plate based on orthogonal experiment [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (12): 46-53.
- [10] GB/T 228.1—2021, 金属材料 拉伸试验 第 1 部分: 室温试验方法 [S].
GB/T 228.1—2021, Metallic materials—Tensile testing—Part 1: Method of test at room temperature [S].
- [11] 刘静, 张明, 陈浩. 基于响应面法的台阶式凸模冲裁工艺参数优化 [J]. 塑性工程学报, 2016, 23 (3): 52-57.
Liu J, Zhang M, Chen H. Parameters optimization of step-shaped-punch blanking based on response surface methodology [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2016, 23 (3): 52-57.
- [12] 方刚, 雷丽萍, 曾攀. 金属塑性成形过程延性断裂的准则及其数值模拟 [J]. 机械工程学报, 2002, 38 (S1): 21-25.
Fang G, Lei L P, Zeng P. Criteria of metal ductile fracture and numerical simulation for metal forming [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2002, 38 (S1): 21-25.
- [13] 郑小慧. 基于 Archard 理论的汽车板件热冲压模具磨损分析 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (11): 150-154.
Zheng X H. Wear analysis on hot stamping die for automobile panel based on Archard theory [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (11): 150-154.
- [14] Sahli M, Roizard X, Assoul M, et al. Finite element simulation and experimental investigation of the effect of clearance on the forming quality in the fine blanking process [J]. Microsystem Technologies, 2021, 27 (3): 871-881.
- [15] 陈炎嗣. 冲压模具设计实用手册 高效模具卷 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2019.
Chen Y S. Practical Manual for Stamping Die Design University Mold Roll [M]. Beijing: Chemical Industrial Press, 2019.
- [16] 叶梦彬, 马宝顺. 汽车模具非标准斜楔机构设计要点及力学分析 [J]. 模具工业, 2019, 45 (2): 31-36.
Ye M B, Ma B S. Design points and mechanical analysis of non-standard cam drive for automobile die [J]. Die & Mould Industry, 2019, 45 (2): 31-36.