

铝合金油箱端盖工艺及收口模具结构设计

吴凤玲, 曹振雨, 贾会鹏, 陈立苹
(山东小鸭精工机械有限公司, 山东 济南 250100)

摘要: 油箱端盖被用来封闭汽车油箱筒体端部, 使其内外介质隔离。针对铝合金油箱端盖成形过程中存在口部负角顺畅收缩的难点, 根据油箱端盖的成形特点, 提出采用特殊斜楔机构来实现侧向周圈的一次成形; 通过增加吸料筋规划端盖口部材料收口时的流向, 在实现零件刚性提高的同时, 保证其与筒体配合部分形状轮廓的清晰度, 以满足焊接需求。实践证明: 通过以上工艺改善和收口模具结构设计, 不仅提高了端盖产品的尺寸精度及外观质量, 同时也减少了装配难度, 提高了生产效率。
关键词: 油箱端盖; 斜楔机构; 收口模具; 一次成形; 负角

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.11.025

中图分类号: TG76; TB24 文献标志码: A 文章编号: 1000-3940 (2023) 11-0179-07

Process of aluminum alloy fuel tank end cap and structure design of closing die

Wu Fengling, Cao Zhenyu, Jia Huipeng, Chen Liping
(Shandong Xiaoya Precise Machinery Co., Ltd., Jinan 250100, China)

Abstract: The end cap of fuel tank is used to close the end of automobile fuel tank cylinder to isolate the internal and external media. For the difficulty in smooth shrinkage of negative angle at the mouth during the forming process of aluminum alloy fuel tank end cap, according to the forming characteristics of the fuel tank end cap, it was proposed to adopt a special wedge mechanism to realize the one-time forming of lateral circumference, and by increasing the suction ribs to plan the flow direction of material at the mouth of end cap when closing, the rigidity of the part was improved while ensuring that it matched the shape and contour of cylinder clarity to meet the welding needs. Practice has proved that through the above process improvement and structure design of the closing die not only improve the dimensional accuracy and appearance quality of end cap products, but also reduce the difficulty of assembly and improve the production efficiency.

Key words: fuel tank end cap; wedge mechanism; closing die; one-time forming; negative angle

油箱是固定于汽车上、用于存贮燃油的独立箱体总成^[1], 根据制造材料的不同, 可分成金属油箱和塑料油箱^[2]。为了实现车身的轻量化, 很多轻质材料得到了广泛应用^[3], 铝合金材料因其密度低、重量轻、强度大以及加工性能、焊接性能和耐腐蚀性好等优点, 在油箱上得以广泛应用。铝合金油箱是将油箱筒体与端盖、隔板等装配后通过环缝焊接而成的汽车功能件, 如图 1 所示, 组装时隔板装入筒体并压紧支撑住整个筒体, 两端的端盖口部嵌入筒体形成周圈焊接熔池, 环缝焊接完成后油箱筒体及端盖融为一体, 外形流畅且连贯, 所以, 对装配

及焊接质量要求较高, 且对各零部件外观质量要求也较高。首先, 油箱筒体及端盖间采用专用焊接设备和弧焊机器人焊接, 两者间的配合间隙会对焊缝强度与外观等产生重要影响; 其次, 铝合金油箱为外观件, 在成形过程中不得有任何刮蹭划伤等外观缺陷。但是, 由于铝材的硬度大约为 60~100 HBS^[4], 易导致端盖在成形过程中产生压痕及刮伤、蹭伤等^[5], 这就需要对铝合金油箱端盖的形状外观进行工艺设计, 并通过模具结构设计来保证成形过程的流畅。

相比于原材料采用钢板的零部件, 铝合金零部件的设计与加工有其特殊性^[6]。已有的端盖成形技术是通过端盖进行拉深、滚切修边、收口, 以保证端盖的尺寸, 这种滚切收口原理是利用端盖与胎具夹紧贴合为一体, 两个滚轮对胎具及端盖施加压力, 转动胎具, 从而使端盖在外力作用下成形,

收稿日期: 2023-03-28; 修订日期: 2023-06-20

作者简介: 吴凤玲 (1975-), 女, 工学学士, 高级工程师

E-mail: 15910109165@163.com

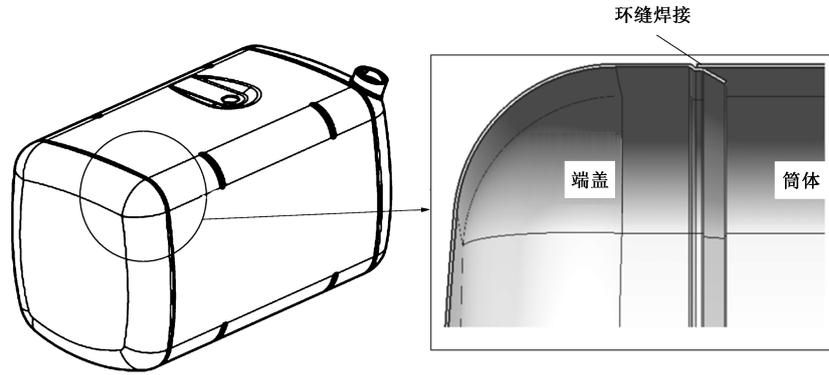


图 1 左侧油箱总成示意图

Fig. 1 Schematic diagram of left fuel tank assembly

达到收口的目的，其原理如图 2 所示。这种滚切收口成形，需要专用的滚切机设备，虽然能够满足端

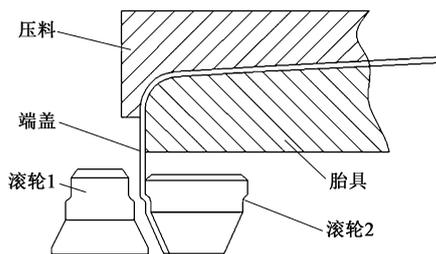


图 2 端盖滚切收口成形示意图

Fig. 2 Schematic diagram of roll-cutting and closing for end cap

盖配合部分的尺寸、保证端盖与油箱筒体的配合间隙，但生产周期长、效率低、成本较高、且收口后回弹变形较大，不能很好地适应生产及工业发展的需求^[7]。

油箱端盖的工艺流程需要拉伸、修边、翻边整形、收口等模具及设备，在保证端盖强度与油箱筒体配合间隙的前提下，通过对油箱端盖的结构及使用性能进行分析，本文将油箱端盖的收口工艺改为冲压，用冲压的方法来完成油箱端盖的加工，如图 3 所示。经实践证明，这种工艺可行性较高，不仅提高了效率，而且大大降低了成本。



图 3 铝合金油箱端盖成形工艺过程

Fig. 3 Forming process of fuel tank end cap for aluminum alloy

1 收口工艺性分析

图 4a 为汽车油箱端盖的未修整，即原制件图，材料为 5083 铝合金，该材料的屈服强度为 135 MPa，抗拉强度为 270 MPa，油箱端盖的材料厚度为 2.5 mm。从零件局部剖视图（图 4b）中可以看出，原制件中油箱端盖的敞口区域几乎垂直于内收口，且该制件的形状特征周圈封闭且口小腔大，这样的形状特征会产生零件成形前难定位、收口成形过程中材料易聚集起皱，以及成形后零件难以从模具中取出等问题。

针对以上 3 个难点，并充分考虑成形条件及

工艺特性，制定方案如下：（1）通过使用 CAE 分析软件进行模拟计算，做好工艺补充，便于贴合凸模定位；（2）通过增加成形凸包即吸料筋，以改善成形过程中的材料堆叠起皱问题；（3）通过采用特殊斜楔机构，来解决成形过程中产生的负角问题，成形结束后，凸模随周圈斜楔机构同时向内收缩至小于口部尺寸，从而取出零件。修整过的新制件图，如图 4c 所示。周圈增加形状规则的吸料筋，消除不规则起皱缺陷的同时也可以增加材料的强度，防止零件回弹变形，使收缩变形造成的材料聚集均匀地分布在油箱端盖内部空间。

以上方案涉及到零件工艺和模具结构，具体实

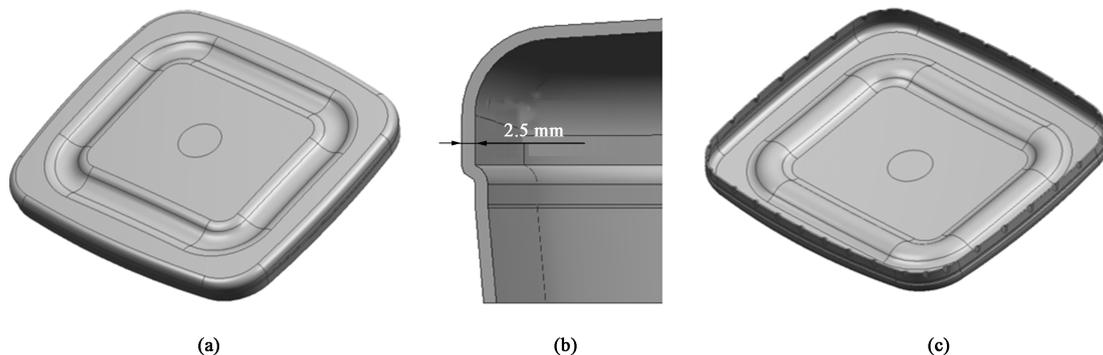


图 4 油箱端盖示意图

(a) 原油箱端盖结构示意图 (b) 原端盖断面剖视图 (c) 新油箱端盖结构示意图

Fig. 4 Schematic diagrams of fuel tank end cap

(a) Schematic diagram of structure for original fuel tank end cap (b) Sectional view of original end cap

(c) Schematic diagram of structure for new fuel tank end cap

践中需要两者相结合才能解决实际问题，本文将从零件形状改进及工艺流程和模具结构的设计两方面进行详细阐述。

2 零件形状改进及工艺流程设计

实际生产过程中会产生各种各样的成形缺陷，影响零件的几何精度、表面质量和力学性能，其中以起皱、破裂、回弹 3 种缺陷最为典型^[8]。端盖口部收缩前周圈长度为 2200 mm，收缩后周圈长度为 2174 mm，收缩过程中局部材料会堆积增厚，设计吸料筋的作用是给予有堆积趋势的材料一个空间，收口成形过程中让材料按照规划去流动，吸料筋的分布位置、数量、形状是需要重点解决的问题。分析该工件的形状特征，拐角处起皱较直线段部分的严重，利用体积不变的原则，经过多次软件分析，最终确定在长度方向直线段部分增加 7 个吸料筋，宽度方向直线段部分增加 5 个吸料筋，在较易起皱的 4 个拐角部位分别增加 3 个吸料筋，油箱端盖周圈布置的吸料筋如图 4c 所示。在 4 个拐角部位的吸料筋由两个 R8 及 R5 的面构成，而在直线段部分的吸料筋由两个 R6 及 R5 的面构成。此外，为了不影响端盖与筒体的配合，吸料筋设置在距离配合面下方 5~6 mm 处。

经过 CAE 分析软件的分析，证实了这种工艺修整方案的正确性，其分析结果对比如图 5 所示。计算结果显示，原油箱端盖周圈 4 角起皱严重，起皱系数大约为 0.035。新油箱端盖的计算结果如图 5b 所示，起皱系数明显降低到安全范围内，起皱系数大约为 0.015~0.025。

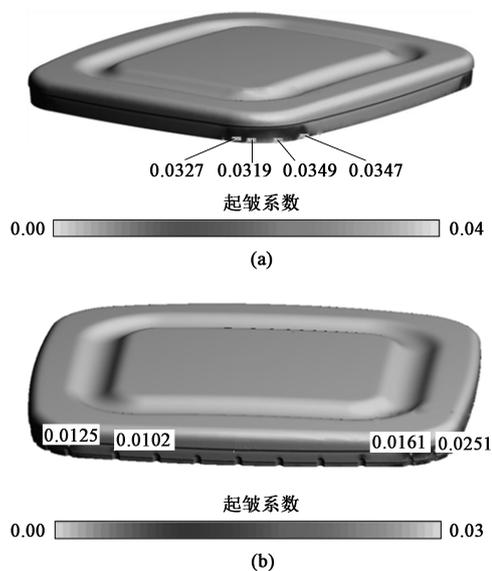


图 5 CAE 分析结果示意图

(a) 原油箱端盖 (b) 新油箱端盖

Fig. 5 Schematic diagrams of CAE analysis results

(a) Original fuel tank end cap (b) New fuel tank end cap

根据零件成形性分析结果，进行了有限元分析迭代设计试验零件外形^[9]，4 次迭代后才达到理想效果。

第 1 次迭代，端盖口部增加吸料筋，使其周圈长度等于收缩前周圈长度 2200 mm，分析结果显示，回弹较大，起皱并未完全消除。

第 2 次迭代，加大加深吸料筋，使其周圈长度大于收缩前周圈长度 5 mm，分析结果显示，回弹较大，起皱并未完全消除。

第 3 次迭代，加大加深吸料筋，使其周圈长度大于收缩前周圈长度 15 mm，分析结果显示，回弹

稍微偏大,起皱较轻微。

第 4 次迭代,加大加深吸料筋,使其周圈长度大于收缩前周圈长度 20 mm,分析结果显示,回弹符合公差要求,起皱基本消除,达到如图 5b 所示的效果。

出现以上结果的原因为:铝合金材料塑性较好,吸料筋成形时本身会发生塑性变形,吸料筋较小时,并不能将周围堆积的材料全部吸过来,吸料筋成形后周围塑性变形不充分时,材料刚度差,回弹较大。

3 模具结构设计

在汽车冲压模具中,斜楔机构是一种必不可少的装置。斜楔机构主要包含滑块和驱动块两部分,

滑块上安装冲头或侧成形镶块,在上模向下运动时,滑块会在驱动块上按特定的方向滑动,两者相互配合,将垂直运动改变为侧向运动,实现侧面成形或冲裁等需求。滑块主要由滑块本体和一些附属结构件组成,如导板、弹簧、反侧块和压板等^[10]。附属结构件用来保证滑块能够顺利地滑动、回程、防脱落等。驱动块主要由导板和导板安装底座组成,在下模加工出的特定方向的导板安装面,小型驱动块可以用导板代替。这种斜楔机构安装加工面积小、操作简单、数控加工行程小,具有强度高和耐用性能好等优势^[11]。本文所设计的特殊斜楔机构,主要是利用斜楔机构,同时完成上下及前后方向的运动,达到使油箱端盖制件收口的目的,模具整体结构如图 6 所示。

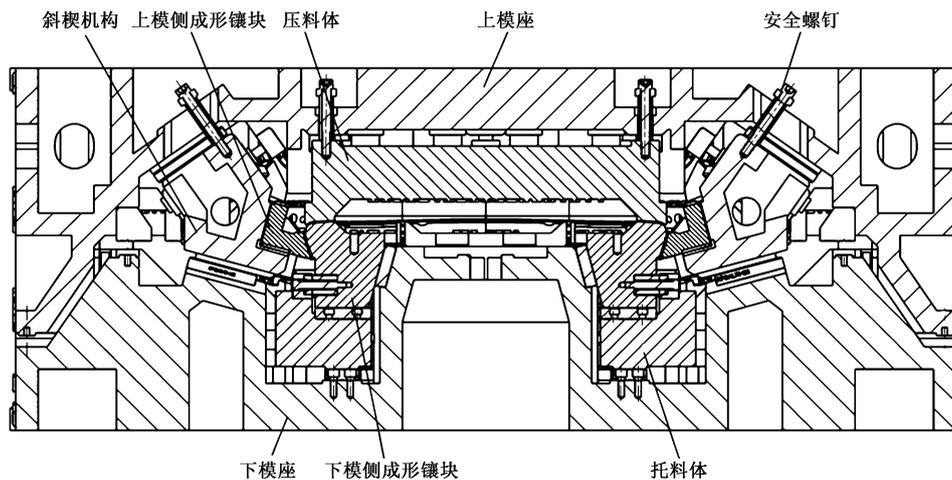


图 6 模具剖视图

Fig. 6 Sectional view of die

3.1 模具的工作过程

模具安装至压力机,压力机滑块上升,模具上模部分与下模部分分离,上序的工序件即可以放置于下模侧成形镶块上。工作时,压力机滑块向下运动,上模座内的氮气弹簧最先接触托料体;托料体底部的矩形弹簧仅起到托起托料体的作用,氮气弹簧的力大于矩形弹簧,因此托料体在下模座型腔内向下运动。在向下运动的过程中,下模侧成形镶块背部的斜导滑面在下模座中间的导板上滑动,受下模座导板向外的作用力,下模侧成形镶块通过托料体上的导板向外侧滑动。托料体到底后不动,下模侧成形镶块继续向外滑动至指定位置,其轮廓即为最终产品的形状。这时上序工序件完全符型,放置于下模侧成形镶块上。

模具上模部分继续向下运动,压料体开始压在

上序工序件上,保持其在侧面成形时不动。压好上序工序件后,自制斜楔机构底部接触下模座的导板,通过上下模的导板,自制斜楔机构带着上模侧成形镶块开始向模具内侧运动,上模侧成形镶块接触上序工序件侧壁,最终上模侧成形镶块和下模侧成形镶块墩死,产品侧成形完毕。压力机滑块上升,上模部分与下模部分分离,托料体底部矩形弹簧将托料体托起来,托料体上的下模侧成形镶块在矩形弹簧的推动下向内运动,侧壁形状倒扣的产品即可取出。

3.2 上模斜楔结构设计

油箱端盖需要周圈收口,且衔接处要顺滑无压痕褶皱,镶块的分型设计及运动轨迹是关键。如图 7 所示,上模斜楔机构由 8 个自制斜楔周圈辐射排开,考虑到成本及周圈空间排布,斜楔采用自制结构,斜楔本体选用铸铁材料,斜楔的回退由氮气弹

簧完成，斜楔按如图 8 所示的行程运动，模具闭合时，上模向下运动 33 mm，斜楔沿下模驱动导轨向模具内侧移动 35.6 mm，完成侧面成形，模具至此完全闭合。运动过程中，斜楔与上模座本体之间的相对移动距离为 42 mm。安全螺钉保证斜楔安全，不会掉落伤人。如图 9 所示，10 块上模侧成形镶块安装在如图 7 所示的斜楔安装面上，自由状态下的上模侧成形镶块向外扩张呈分散状态，成形过程中，在斜楔机构的驱动下，上模侧成形镶块沿图 9 中箭头方向向内收缩与下模侧成形镶块配合完成油箱端盖的收口成形。

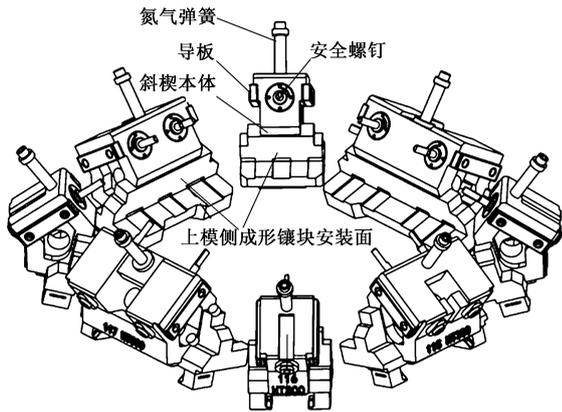


图 7 上模斜楔结构图

Fig. 7 Structure diagram of upper die cam

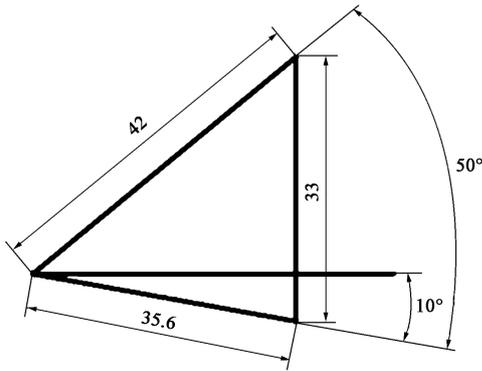


图 8 上模斜楔行程图

Fig. 8 Stroke diagram of upper die cam

3.3 下模结构设计

模具成形一般由上模、下模压制而成，油箱端盖周圈收口后口部尺寸要小于腔部尺寸，所以下模不能为整体，而必须为分块且能够沿图 10 中箭头方向滑动，压形时向外撑开，压形结束后收缩，取出零件。如图 10 所示，下模侧成形镶块分为 8 块，采用合金工具钢材料，每块下模侧成形镶块底部及两侧均安装导板，后侧安装弹簧，螺钉穿过弹簧将镶

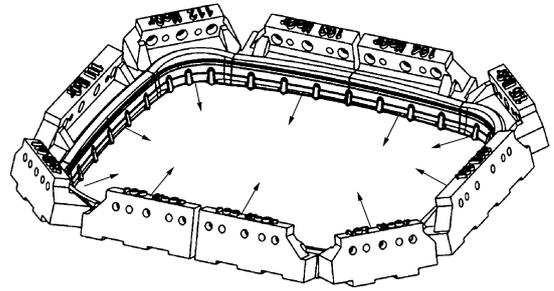


图 9 上模侧成形镶块图

Fig. 9 Insert diagram of upper die side forming

块安装于托料体，如图 11 所示，模具托料体承载并托举下模侧成形镶块，将压机垂直方向的运动传递至下模侧成形镶块，采用铸造结构，承受力量的部位加强，不需要的部位避空，托料体周圈与下模座之间采用四周 8 块导板与导滑面导向，保证托料体在成形过程中的导向精度。下模侧成形镶块安装于托料体，托料体在自然状态下，由弹性元件托起，下模侧成形镶块外形轮廓收缩至最小状态，成形过程中托料体受压下行，下模侧成形镶块沿图 10 中箭头

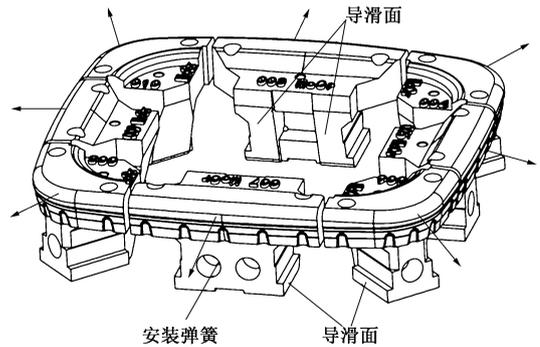


图 10 下模侧成形镶块图

Fig. 10 Insert diagram of lower die side forming

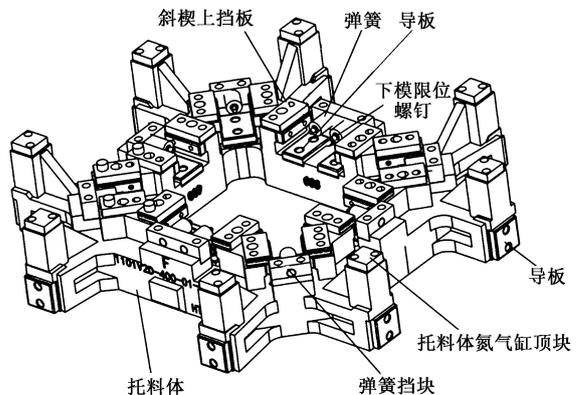


图 11 托料体结构图

Fig. 11 Structure diagram of lower pad

方向向外扩张,其运动轨迹如图 12 所示,模具闭合时,托料体在上模氮气弹簧的压力下向下运动 47 mm,下模侧成形镶块沿托料体上的导滑面向外侧扩张 13 mm,整体型面轮廓达到最大,符合产品定位要求。模具开模时,上模压力消失,托料体上升

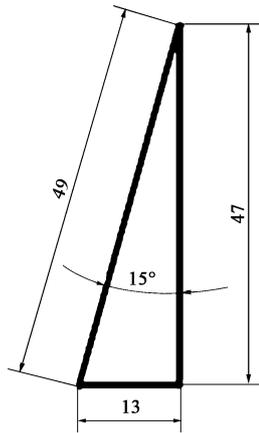


图 12 下模侧成形镶块行程图

Fig. 12 Stroke diagram of lower die side forming insert

47 mm,下模侧成形镶块在外侧复位弹簧的推动下向内移动 13 mm,整体型面轮廓变小,方便收口后的产品取出。运动过程中,下模侧成形镶块侧壁导滑面的相对移动距离为 49 mm。运动原理相当于斜楔机构。

模具托料体的主要设计难点在于:如何通过托料体的垂直上下运动来完成 8 个下模侧成形镶块同时在水平方向的聚拢及向四周 8 个不同方向的撑开运动。斜楔机构即可将竖直运动转化为 8 个不同方向的侧向运动。下模托料体主要采用的为水平式斜楔机构,这种结构的应用,使端盖制件能够精准稳定地定位。因使用 8 套斜楔机构标准件生产成本较高,且安装难度大,托料体采用自制复合式斜楔机构,8 个斜楔机构共用 1 个滑块,该滑块与下模座共同铸造为一体。滑块在周圈 8 个方向同时受力,易达到受力平衡状态,且整体设计紧凑,这种斜楔结构模具可以使制件稳定性好、操作简便,通过成形镶块的聚拢与辐射散开,成功地解决了制件的定位与取件问题^[12]。上、下模座及制件实物图如图 13 所示。

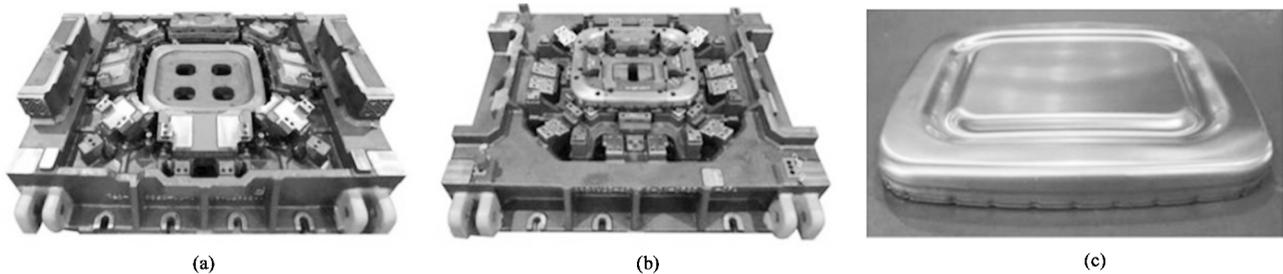


图 13 上、下模座和油箱端盖实物

(a) 上模座 (b) 下模座 (c) 油箱端盖

Fig. 13 Physical object of upper and lower die bases and fuel tank end cap

(a) Upper die base (b) Lower die base (c) Fuel tank end cap

4 结语

通过实际压件证实,油箱端盖收口模具采用斜楔机构原理,实现侧向周圈成形,保证了端盖与筒体配合部分形状轮廓的清晰度。通过吸料筋的排布及模具型面成形,保证了端盖边缘的刚性,从而大幅减小了回弹变形,保证了与油箱筒体的配合顺畅。通过客户反馈,该模具的主要性能和技术参数均达到使用要求,且达到了国内外同类模具的先进水平。与同类模具或设备相比,这套快速收口模具提高了端盖产品的尺寸精度及外观质量,减少了装配难度,从而提高了生产效率,为客户节省了制造费用,并提高了在行业内的竞争力。

参考文献:

- [1] GB 18296—2019, 汽车燃油箱及其安装的安全性能要求和试验方法 [S].
GB 18296—2019, Safety property requirements and test methods for automobile fuel tank and its installation [S].
- [2] 陈炎嗣. 冲压模具设计实用手册: 核心模具卷 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.
Chen Y S. Practical Handbook for Stamping Mold Design: Core Mold Roll [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2016.
- [3] 张威, 袁根成, 汤金所. 一种铝合金覆盖件拉伸成形解决方案 [J]. 锻造与冲压, 2022, (6): 55-57.
Zhang W, Yuan G C, Tang J S. A drawing process for aluminum alloy panels [J]. Forging & Metalforming, 2022, (6): 55-57.
- [4] 林刚, 林慧国, 赵于涛. 铝合金应用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

(下转第 195 页)