

## 全景天窗顶盖修整复合工艺与模具设计

蒋磊, 张雄飞, 袁璐, 王龙, 王大鹏, 李国伟

(东风本田汽车有限公司, 湖北 武汉 430056)

**摘要:** 以某汽车全景天窗顶盖为研究对象, 通过对全景天窗顶盖产品的工艺性和模具结构布局的成立性进行分析, 合理规划各工序的工艺内容, 实现了全景天窗顶盖两侧流水槽修边与侧整形的工序集成、后侧尾翼安装面修边与侧整形的工序集成以及天窗开口部修边与翻边的工序集成, 从而将全景天窗顶盖冲压模具工序从4工序缩短至3工序。重点阐述了实现全景天窗顶盖冲压模具3工序化所应用的两种凸模扩张斜楔机构。在全景天窗顶盖两侧流水槽设计了一种水平推拉式凸模扩张斜楔机构, 在全景天窗顶盖后侧尾翼安装面设计了一种竖直推拉式凸模扩张斜楔机构。研究表明, 两种不同类型的斜楔机构的联合应用, 可以使全景天窗顶盖在同一工序完成更多的工艺内容, 实现了三面负角结构的修边与侧整形的同步化, 缩短了冲压模具工序, 降低了冲压模具成本, 提高了零件的生产效率。

**关键词:** 全景天窗; 顶盖; 冲压工艺; 工序集成; 模具结构; 斜楔机构

**DOI:** 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.07.016

**中图分类号:** U466; TG386

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-3940 (2022) 07-0112-10

## Trimming and restriking composite process for panorama sunroof panel and die design

Jiang Lei, Zhang Xiongfei, Yuan Lu, Wang Long, Wang Dapeng, Li Guowei

(Dongfeng Honda Automobile Co., Ltd., Wuhan 430056, China)

**Abstract:** For an automobile panorama sunroof panel, through analyzing the manufacturability of the panorama sunroof panel product and the practicability of the die structure layout, the process content of each process was rationally planned, and the process integration of trimming and side restriking for gutter channel on both sides of the panorama sunroof panel, the process integration of trimming and side restriking for rear wing mounting surface on back side of the panorama sunroof panel, as well as the process integration of trimming and flanging for sunroof opening were realized. Therefore, the stamping die process for the panorama sunroof panel was shortened from four-process to three-process. Then, the two kinds of punch expansion wedge mechanism used to realize the three-process stamping die for the panorama sunroof panel were mainly expounded. Furthermore, a horizontal push-pull punch expansion wedge mechanism was designed in the gutter channel on the both sides of the panorama sunroof panel, and a vertical push-pull punch expansion wedge mechanism was designed on the rear wing mounting surface on back side of the panorama sunroof panel. The research shows that the combined application for two different types of wedge mechanisms can enable the panorama sunroof panel to complete more process content in the same process, realize the synchronization of trimming and side restriking for the three-sided negative angle structure, shorten the stamping die process, reduce the cost of stamping dies and improve the production efficiency of parts.

**Key words:** panorama sunroof; roof panel; stamping process; process integration; die structure; wedge mechanism

近年来, 随着我国经济的持续增长和国民收入水平的提高, 汽车消费需求稳步上涨, 消费者对于汽车配置的要求也不断增加, 具有视野开阔、通风良好等优点的全景天窗被越来越多地应用于各类乘用车上<sup>[1-3]</sup>。装备全景天窗的载体是顶盖, 与普通

天窗顶盖相比, 全景天窗顶盖的天窗开口尺寸更大, 与天窗玻璃的配合面更多, 尺寸精度要求更高, 从而导致其冲压模具的设计难度更大<sup>[4-6]</sup>。

受天窗开口的约束, 全景天窗顶盖后工序冲压模具可动部件的布局空间更为狭窄, 在同一道工序往往有1~2种工艺内容。因此, 全景天窗顶盖冲压模具难以实现工序集成<sup>[7-8]</sup>。目前, 国内用于生产全景天窗顶盖的冲压模具一般为4工序或5工序, 冲压模具的开发成本相较于普通天窗顶盖大幅上涨<sup>[9-11]</sup>。为了缩减冲压模具的工序数量, 削减冲压

收稿日期: 2021-07-15; 修订日期: 2021-10-19

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (51775397, 51675392);

国家重点研发计划资助项目 (2019YFB1704502)

作者简介: 蒋磊 (1987-), 男, 学士, 工程师

E-mail: 648213973@qq.com

模具开发成本,诸多学者对全景天窗顶盖冲压模具的结构设计进行了深入研究。刘龙芬<sup>[12]</sup>通过将侧翻边、切边、上翻边等工序整合在一道工序中,使全景天窗顶盖冲压模具由5工序减少到了4工序;王建衡等<sup>[13]</sup>采用同工序旋转斜楔侧翻边和带料直翻边的模具结构,实现了全景天窗顶盖冲压模具的4工序化;刘莉等<sup>[14]</sup>通过整体式修边二次分切排料机构,完成了全景天窗开口部修边废料的单工序处理,将冲压模具由5工序缩短至4工序。上述研究虽然在一定程度上对冲压模具结构进行了工序集成,但均止步于全景天窗顶盖冲压模具的4工序化,而对于冲压模具进一步集成为3工序化的研究和应用尚无文献提及。本文通过两种凸模扩张式推拉斜楔机构的应用,实现了全景天窗顶盖冲压模具的3工序化,降低了全景天窗顶盖冲压模具的开发成本。

## 1 冲压工艺分析

作为车身最大的外覆盖件之一,全景天窗顶盖的成形质量对于整车造型的商品性有着重要的影响<sup>[15-16]</sup>。图1为某SUV车型全景天窗顶盖产品的几何模型,产品的外轮廓尺寸为2120 mm×1245 mm×130 mm,料厚 $t=0.7$  mm。 $a\sim b$ 为前挡风玻璃搭接区域,记为A; $b\sim c$ 为右侧流水槽搭接区域,记为B; $c\sim d$ 为尾门配合区域,记为C; $d\sim a$ 为左侧流水槽搭接区域,记为D; $e\sim e$ 为全景天窗配合区域,记为E。B、D、E 3个区域与冲压方向呈负角,需要使用斜楔机构进行侧翻边或侧整形。C区域在冲压方向上同时存在负角和向上翻边结构,因此需要使用两组斜楔机构,先侧整形后向上翻边。

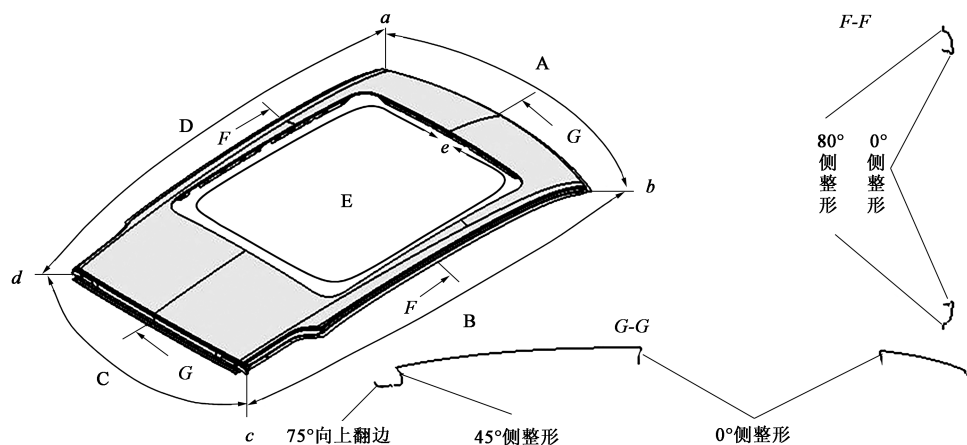


图1 某车型全景天窗顶盖几何模型

Fig. 1 Geometry model of a vehicle panorama sunroof panel

## 2 3 工序化工艺方案

在同一工序完成更多的工艺内容,是实现冲压模具工序集成的基础。全景天窗顶盖3工序化工艺方案的关键在于后工序,因此,需要对后工序工艺内容进行充分的合并或复合。B、D区域负角结构能够一次侧整形完成,可以考虑将这两个区域的修边与侧整形进行复合,复合后的工序内容规划至第2工序。C区域的负角结构和向上翻边受斜楔机构布局的限制,无法合并至同一工序,可以将此处的修边和侧整形复合至第2工序,然后在第3工序完成向上翻边。E区域修边属于内孔修边,若将其与此处负角的侧整形进行复合,则模具结构不成立。同时,由于天窗开口部翻边法兰较宽,且存在焊接

打点面,尺寸精度要求较高,为了防止翻边起皱,并保证零件尺寸精度,E区域需要先进行预翻边。此处工艺可规划为第2工序完成修边与预翻边复合,第3工序完成侧整形。

综上所述,全景天窗顶盖3工序化工艺方案为:OP10-拉延;OP20-沿周修边,A区域整形,B、C、D区域侧修边与侧整形复合,E区域修边与预翻边复合;OP30-A区域侧修边,B、D区域冲孔,C区域向上翻边与侧冲孔复合,E区域侧整形。详细工序排布如图2所示。

由图2可知,全景天窗顶盖OP20集成了最多的工艺内容,大量的斜楔机构需要布局在这一道工序中,模具结构设计极具难度。因此,OP20修边、整形复合结构是3工序化全景天窗顶盖冲压模具设计的重点。

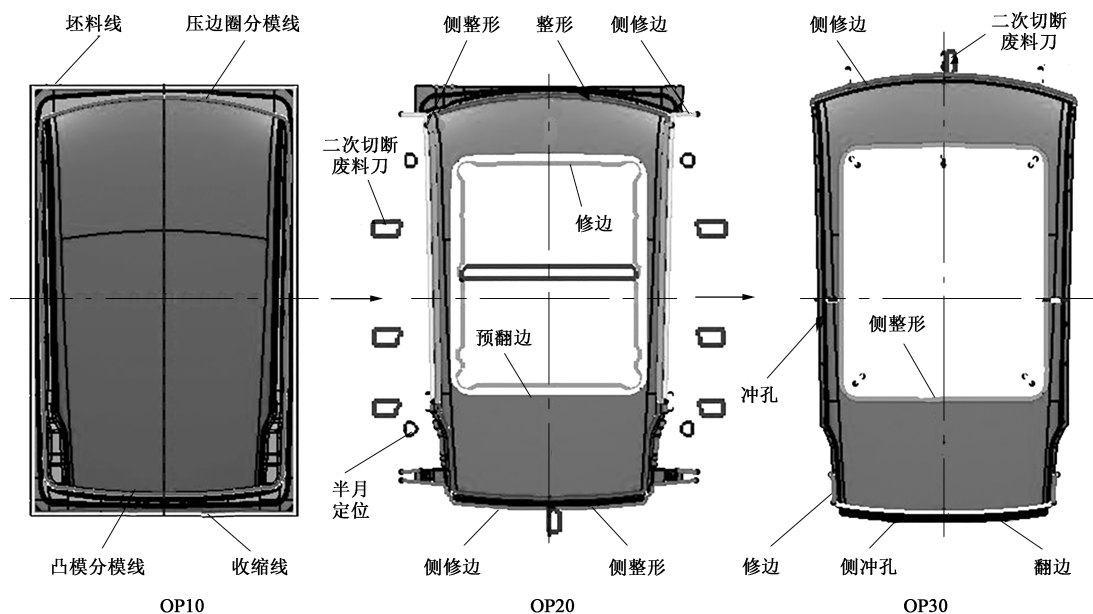


图 2 某 SUV 车型全景天窗顶盖工序排布

Fig. 2 Process layout of a SUV vehicle panorama sunroof panel

### 3 OP20 模具结构设计

B、D 区域的整形量较小，可使用修边与整形一体式镶块结构，即镶块外侧为修边刃口，内侧为整形刃口，先空切修边后整形。C 区域的整形量较大，采用修边空切工艺易导致修边线尺寸精度超差和整形失稳起皱，因此需要采用压料修边工艺。即修边镶块内部设计氮气弹簧，由氮气弹簧提供修边压力源。综合考虑模具结构布局的可实现性，需要在 B、D 区域设计一种水平推拉式凸模扩张斜楔机构，在 C 区域设计一种竖直推拉式凸模扩张斜楔机构，下面分别对其装配关系和工作原理进行说明。

#### 3.1 水平推拉式凸模扩张斜楔机构

B、D 区域各运用一组水平推拉式凸模扩张斜楔机构，两组斜楔机构与车身坐标系  $XZ$  平面呈对称关系，本文主要以 D 区域的水平推拉式凸模扩张斜楔机构为研究对象进行结构原理阐述。图 3a 为 D 区域模具结构轴测图，图 3b 为水平推拉式凸模扩张斜楔机构轴测图，图 3c 为 D 区域模具结构主视图，图 3d 为 D 区域模具结构俯视图，图 3e 为水平推拉式凸模扩张斜楔机构主视图，图 3f 为  $D1-D1$  截面图，图 3g 为  $D2-D2$  截面图，图 3h 为模具动作时序图。

水平推拉式凸模扩张斜楔机构各部件的装配关系为：固定凸模 2、修边凸模镶块 28、凸 V 型导板

29 通过螺栓与柱销固定于下模座 1 之上。气缸 8 通过气缸固定板 7、螺栓和柱销固定于下模座 1 之上，并通过同步块 9 与下斜楔驱动块 24 连接成一体，从而实现下斜楔驱动块 24 在水平方向上的往返滑动。导板 16、17、30 通过螺栓固定于下斜楔驱动块 24 之上，使下斜楔驱动块 24 借助导板与下模座 1 形成滑动配合关系。角度导板 19、22 分别通过螺栓固定于下斜楔驱动块 24 和下斜楔滑块 3 之上，并使二者形成滑动配合关系，在角度导板的作用下，下斜楔驱动块 24 的水平方向运动间接转换为下斜楔滑块 3 的逆倾斜向上运动，运动方向与冲压方向夹角为  $10^\circ$ 。限位块 20 通过螺栓安装于下斜楔驱动块 24 之上，起到防止角度导板 19 发生水平方向位移和支撑下斜楔滑块 3 的作用。强制回程复位块 18 和强制回程随动块 23 分别通过螺栓安装于下斜楔驱动块 24 和下斜楔滑块 3 之上，当发生滑动卡滞无法利用自重下落时，可利用强制回程复位块 18 和强制回程随动块 23 将下斜楔滑块 3 强行拉回。导板 21、25 通过螺栓固定于下斜楔滑块 3 之上，下斜楔滑块 3 借助导板和下模座 1 形成滑动配合关系。上斜楔滑块 10 为一体式结构，直接在斜楔滑块上加工出修整凹模刃口。导板 11、14 和斜楔侧导板 15 通过螺栓固定于上斜楔滑块 10 之上，聚氨酯弹簧 12 通过导正销 13 固定于上斜楔滑块 10 之上。斜楔压板 5 通过螺栓固定于上模座 4 之上，上斜楔滑块 10 在斜楔压板 5 和安全螺栓 27 的联合作用下，被约束至上模座

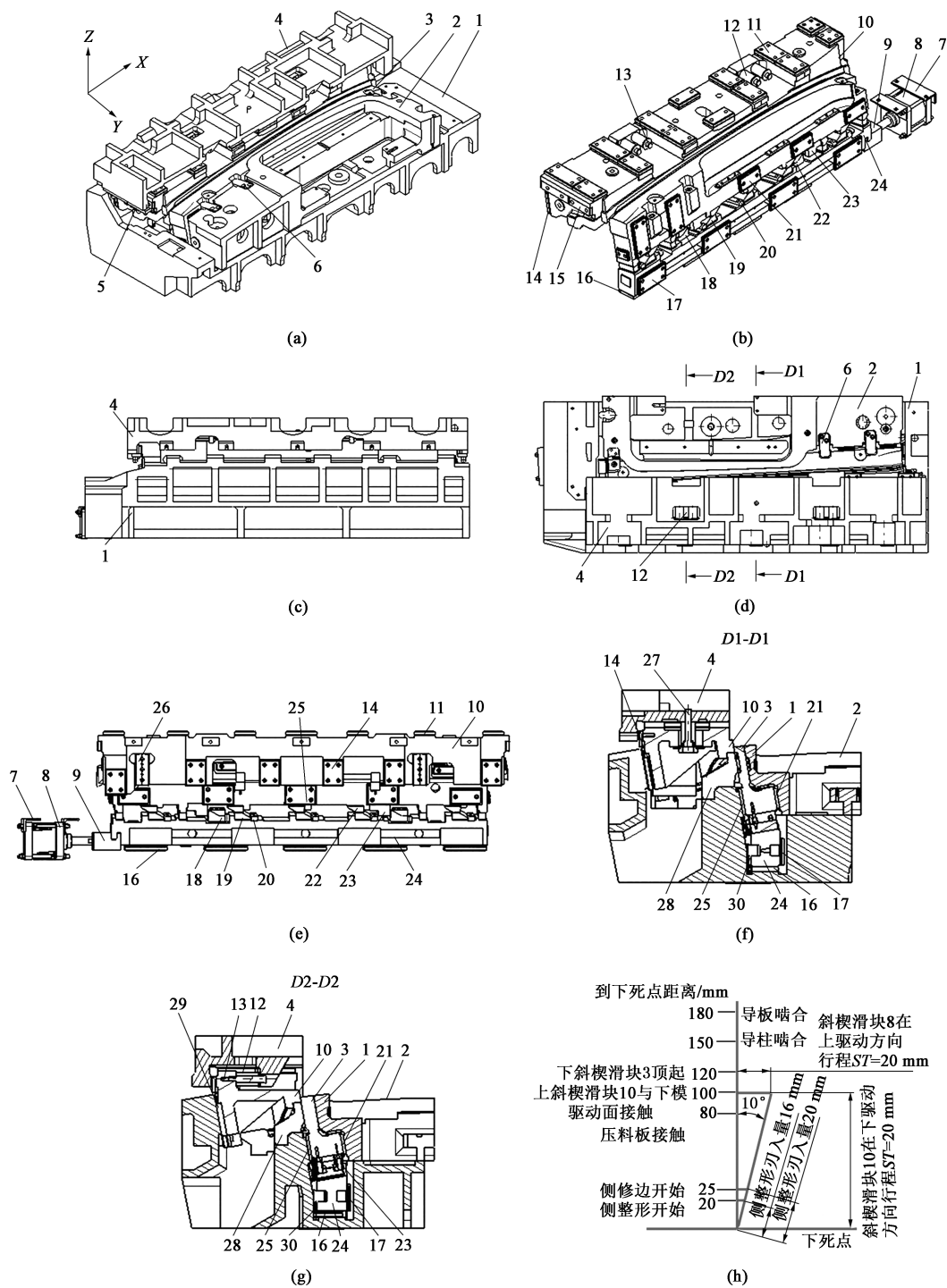


图3 水平推拉式凸模扩张斜楔机构

(a) D区域模具结构轴测图 (b) 水平推拉式凸模扩张斜楔机构轴测图 (c) D区域模具结构主视图 (d) D区域模具结构俯视图

(e) 水平推拉式凸模扩张斜楔机构主视图 (f) D1-D1截面图 (g) D2-D2截面图 (h) 模具动作时序图

1. 下模座 2. 固定凸模 3. 下斜楔滑块 4. 上模座 5、6. 斜楔压板 7. 气缸固定板 8. 气缸 9. 同步块 10. 上斜楔滑块  
11、14、16、17、21、25、30. 导板 12. 聚氨酯弹簧 13. 导正销 15. 斜楔侧导板 18. 强制回程复位块 19、22. 角度导板  
20. 限位块 23. 强制回程随动块 24. 下斜楔驱动块 26. 凹V型导板 27. 安全螺栓 28. 修边凸模镶块 29. 凸V型导板

Fig. 3 Horizontal push-pull punch expansion wedge mechanism

(a) Axonometric drawing of die structure in D area (b) Axonometric drawing of horizontal push-pull punch expansion wedge mechanism

(c) Main view drawing of die structure in D area (d) Top view drawing of die structure in D area (e) Main view drawing of horizontal push-pull punch expansion wedge mechanism (f) Section drawing of D1-D1 (g) Section drawing of D2-D2 (h) Timing chart of die activity



4 之内,防止斜楔滑块在模具工作中发生跌落。凹 V 型导板 26 和凸 V 型导板 29 分别通过螺栓和柱销固定于上斜楔滑块 10 和上模座 4 之上,借助 V 型导板 29 的中心导向作用,有效地保证了修边精度。上模座 4 驱动上斜楔滑块 10 的工作角度为  $0^{\circ}$ ,即上斜楔滑块 10 在上模座 4 内的滑动为水平方向运动。下模座 1 驱动上斜楔滑块 10 的工作角度为  $80^{\circ}$ ,上斜楔滑块 10 与冲压方向的夹角为  $10^{\circ}$ 。

水平推拉式凸模扩张斜楔机构的工作原理如下:

(1) 成形过程:上模下行,运行至距离下死点 180 mm 时,模具端头外导向的导板开始啮合。运行至距离下死点 150 mm 时,模具端头外导向的导柱开始啮合。运行至距离下死点 120 mm 时,下斜楔驱动块 24 在气缸 8 的作用下,在水平方向上向前滑动,并通过角度导板 19、22 将下斜楔滑块 3 逆倾斜向上推动至工作状态。上模继续下行,运行至距离下死点 100 mm 时,上模座 4 驱动上斜楔滑块 10 通过导板 14、凹 V 型导板 26 与下模座 1 本体导向面、凸 V 型导板 29 啮合。运行至距离下死点 80 mm 时,压料板开始与制件接触,并随着上模的不断下行,为制件提供修边、整形所需的压料力。当上模运行至距离下死点 25 mm 时,上斜楔滑块 10 的修边刃口与制件接触,并与修边凸模镶块 28 的修边刃口啮合,侧修边开始作业。当上模运行至距离下死点 20 mm 时,侧修边作业完成,上斜楔滑块 10 的整形刃口与制件接触,并与下斜楔滑块 3 的整形刃口啮合,侧整形开始作业,直至上模运行至下死点,侧整形作业完成。

(2) 回退过程:上模上行,下斜楔驱动块 24 在气缸 8 的作用下,沿水平方向向后运动,并回到初始状态。与此同时,下斜楔滑块 3 在自重的作用下开始下落,并与下斜楔驱动块 24 同步回到初始状态,上斜楔滑块 10 的整形刃口与下斜楔滑块 3 的整形刃口分离,此时,制件的负角结构与凸模脱开,并保持一定的安全间隙。上模继续上行,上斜楔滑块 10 的修边刃口与修边凸模镶块 28 的修边刃口分离。上模进一步上行,压料板与制件分离,之后上斜楔滑块 10 开始在上模座 4 的带动下与下模座 1 分离,直至导板 14、凹 V 型导板 26 分别与下模座 1 本体导向面、凸 V 型导板 29 完全分离。此时,上、下模彻底脱开,然后即可利用机械手将制件从模具内取出。

### 3.2 竖直推拉式凸模扩张斜楔机构

C 区域运用一组竖直推拉式凸模扩张斜楔机构,

图 4a 为 C 区域模具结构轴测图,图 4b 为竖直推拉式凸模扩张斜楔机构轴测图,图 4c 为 C 区域模具结构图俯视图,图 4d 为 C1-C1 截面图,图 4e 为 C2-C2 截面图,图 4f 为 C3-C3 截面图,图 4g 为模具动作时序图。

竖直推拉式凸模扩张斜楔机构的各部件装配关系为:斜楔压板 8 通过螺栓固定于上模座 1 之上,上斜楔滑块 2 为整体式构造,整形凹模刃口直接在斜楔滑块上加工出来,其在斜楔压板 8 和安全螺栓 12 的联合作用下被约束至上模座 1 之内,防止斜楔滑块在模具工作中发生跌落。导板 10、20,氮气弹簧 22 以及斜楔侧导板 9 通过螺栓固定于上斜楔滑块 2 之上,聚氨酯弹簧 11 通过导正销 26 固定于上斜楔滑块 2 之上,修边凹模镶块 19 通过安全螺栓 21 被约束至上斜楔滑块 2 之内,使其能与上斜楔滑块 2 同步运动。修边凹模镶块 19 底面与氮气弹簧 22 的活塞杆零间隙接触,并由氮气弹簧 22 为其提供修边力。气缸 6 通过固定板 7、螺栓和柱销固定于下模座 4 之上,并借助开口销 27 与下斜楔驱动块 18 连接成一体。斜楔压板 16、17 通过螺栓固定于下模座 4 之上,用于限制下斜楔驱动块 18 竖直向上运动的行程,防止因气缸行程设置过大所造成的斜楔驱动块松脱。固定凸模 15 通过螺栓和柱销固定于下模座 4 之上。导板 13、14 通过螺栓固定于下斜楔驱动块 18 之上,使下斜楔驱动块 18 与下模座 4 形成竖直方向的滑动配合关系。角度导板 23、24 分别通过螺栓固定于下斜楔滑块 3、下斜楔驱动块 18 之上,并使二者形成滑动配合关系。借助角度导板的作用,下斜楔驱动块 18 竖直方向的运动被转换为下斜楔滑块 3 水平方向的运动。导板 5、25 通过螺栓固定于下斜楔滑块 3 之上,下斜楔滑块 3 利用导板 25 与下模座 4 形成滑动配合关系。聚氨酯弹簧 29 通过导正销 28 固定于下斜楔滑块 3 之上,并为下斜楔滑块 3 提供回程所需的力源。上斜楔滑块 2 在上模座 1 上的驱动角度为  $5^{\circ}$ ,在下模座 4 上的工作角度为  $45^{\circ}$ 。

竖直推拉式凸模扩张斜楔机构的工作原理如下:

(1) 成形过程:上模下行,运行至距离下死点 180 mm 时,模具端头外导向的导板开始啮合。运行至距离下死点 150 mm 时,模具端头外导向的导柱开始啮合。运行至距离下死点 110 mm 时,下斜楔驱动块 18 在气缸 6 的作用下,在竖直方向上向上滑动,并通过角度导板 23、24 将下斜楔滑块 3 水平向外推动至工作状态。上模继续下行,运行至距离下死点 80 mm 时,压料板开始与制件接触,并随着上

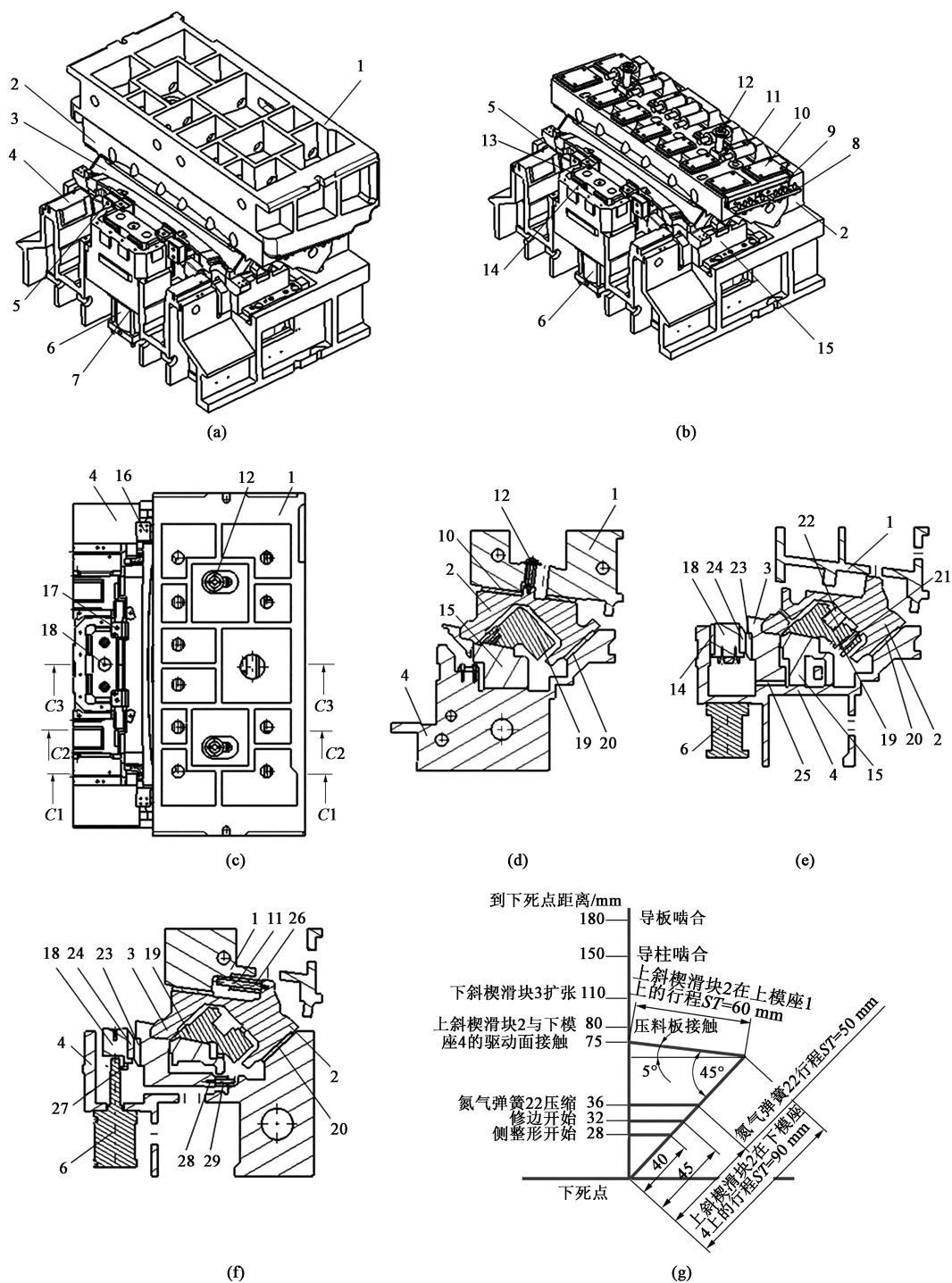


图4 竖直推拉式凸模扩张斜楔机构

(a) C区域模具结构轴测图 (b) 竖直推拉式凸模扩张斜楔机构轴测图 (c) C区域模具结构图俯视图

(d) C1-C1截面图 (e) C2-C2截面图 (f) C3-C3截面图 (g) 模具动作时序图

1. 上模座 2. 上斜楔滑块 3. 下斜楔滑块 4. 下模座 5、10、13、14、20、25. 导板 6. 气缸 7. 固定板 8、16、17. 斜楔压板  
 9. 斜楔侧导板 11、29. 聚氨酯弹簧 12、21. 安全螺栓 15. 固定凸模 18. 下斜楔驱动块 19. 修边凹模镶块 22. 氮气弹簧  
 23、24. 角度导板 26、28. 导正销 27. 开口销

Fig. 4 Vertical push-pull punch expansion wedge mechanism

(a) Axonometric drawing of die structure in C area (b) Axonometric drawing of vertical push-pull punch expansion wedge mechanism

(c) Top view drawing of die structure in C area (d) Section drawing of C1-C1 (e) Section drawing of C2-C2

(f) Section drawing of C3-C3 (g) Timing chart of die activity

模的不断下行,为制件提供修边、整形所需的压料力。运行至距离下死点 75 mm 时,上模座 1 驱动上斜楔滑块 2 与下模座 4 的驱动面开始接触。上模进一步下行,运行至距离下死点 36 mm 时,氮气弹簧 22 开始压缩,并为修边凹模镶块 19 提供力源,在上模逐步下行的过程中,氮气弹簧 22 提供的修边力不断增大,直至上模运行至下死点 32 mm 时,修边力已足以对制件进行剪切。此时,修边凹模镶块 19 的修边刃口与制件接触,并与下斜楔滑块 3 的修边凸模刃口啮合。运行至下死点 28 mm 时,上斜楔滑块 2 的整形凹模刃口与制件接触,侧整形作业开始,直至上模运行至下死点,上斜楔滑块 2 的整形凹模刃口与下斜楔滑块 3 的整形凸模刃口完全啮合,侧整形作业完成。

(2) 回退过程:上模上行,下斜楔驱动块 18 在气缸 6 的作用下,沿竖直方向向下运动,并回到初始状态。与此同时,下斜楔滑块 3 在聚氨酯弹簧 29 的作用下水平向后运动,并与下斜楔驱动块 18 同步回到初始状态,此时,制件的负角结构与凸模脱开,并保持一定的安全间隙。上模继续上行,上斜楔滑块 2 的整形刃口与制件分离,随后,修边凹模镶块 19 的修边刃口与斜楔下滑块 3 的修边凸模刃口分离。上模进一步上行,压料板与制件分离,之后上斜楔滑块 2 在上模座 1 的带动下与下模座 4 开始分离,直至导板 20 与下模座 4 本体导向面完全分离。此时,上、下模彻底脱开,然后即可利用机械手将制件从模具内取出。

#### 4 方案验证

在运用两组水平推拉式凸模扩张斜楔机构和一组竖直推拉式凸模扩张斜楔机构之后,全景天窗顶盖两侧流水槽搭接区域和尾门配合区域的修边整形复合工艺成为可能,从而可实现全景天窗顶盖 3 工序化冲压模具的工业化应用。由于冲压模具减少一套,用于铸造模具本体的灰铁、球铁和铸钢等材料的用量削减近 25%,导板、导柱、侧销、平衡块以及压力源器件等标准件的使用也大幅削减。通过粗略成本核算,3 工序化全景天窗顶盖相比 4 工序化全景天窗顶盖可节约模具制造费用 50 余万元,成本对比明细如表 1 所示。

经过大批量实际生产验证,水平推拉式凸模扩张斜楔机构和竖直推拉式凸模扩张斜楔机构在连续生产程中动作稳定、强度可靠,完全满足全景天

表 1 全景天窗顶盖 3 工序模具与 4 工序模具成本对比

Table 1 Cost comparison between three-step and four-step dies for panorama sunroof panel

工序	4 工序模具 费用/万元	3 工序模具 费用/万元	模具费用 差异/万元	备注
OP10	125	125	0	3 工序与 4 工序 结构相同
OP20	96	148	+52	3 工序非标斜楔 结构费用增加
OP30	112	112	0	3 工序与 4 工序 结构相同
OP40	108	—	-108	3 工序模具减少 1 套
合计	441	385	-56	—

窗顶盖规模化生产需求,连续生产时各工序模具实物分别如图 5a、图 5b 和图 5c 所示。模具生产节拍可达 SPM10 (Stroke Per Minute, SPM),与 4 工序化全景天窗顶盖生产节拍基本相当,且满足了东风本田汽车有限公司大型汽车覆盖件稳定批量生产  $SPM \geq 8$  的要求。经拉延成形所得到的零件如图 5d 所示,通过目视、触摸以及油石打磨检查,确认拉延件无开裂、无起皱,外表面亦无明显凹陷,说明全景天窗顶盖获得了良好的拉延成形质量。

由于全景天窗顶盖拉延深度较浅,在拉延成形过程中主要以胀形为主,零件中间区域容易产生因拉伸变形不充分而导致的零件刚性不足的问题。为了验证全景天窗顶盖成形是否充分,本文选择全景天窗顶盖刚性最弱的部位(图 5d 中 C' 区域)进行数字化网格试验分析,得到如图 6 所示的板厚减薄率、主应变、次应变分析结果。由图 6a、图 6b 和图 6c 可知, C' 区域的板厚减薄率在 4% 左右,主应变在 3% 左右,次应变在 1.0% 左右,安全裕度大于 26%,表明拉延成形后,零件获得了足够的刚性。

经全工序模具冲压成形的最终完成品实物如图 7a 所示,从图 7a 中可以看出,全景天窗顶盖最终成形件同样未出现开裂、起皱以及明显外表面凹陷等缺陷。同时,两侧流水槽区域、天窗开口部以及尾门配合区域等负角成形部位均呈现出较高的成形品质,表明水平推拉式凸模扩张斜楔机构与竖直推拉式凸模扩张斜楔机构的联合运用完全可以满足多重负角翻边的同序化成形。利用激光扫描设备对全景天窗顶盖最终成形件进行全型面扫描,并通过坐标拟合,计算得出 95% 以上的区域的尺寸偏差在  $\pm 0.500$  mm 以内(图 7b),达到了车身外覆盖件配合面  $\pm 0.500$  mm、自由



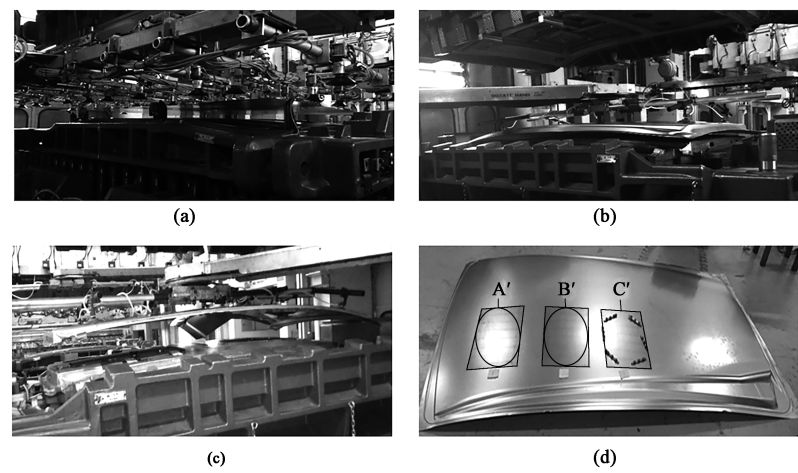


图 5 全景天窗顶盖全工序模具与拉伸件实物

(a) OP10 模具 (b) OP20 模具 (c) OP30 模具 (d) 拉伸成形件

Fig. 5 Full step die of panorama sunroof panel and physical drawing panel

(a) OP10 die (b) OP20 die (c) OP30 die (d) Drawing panel

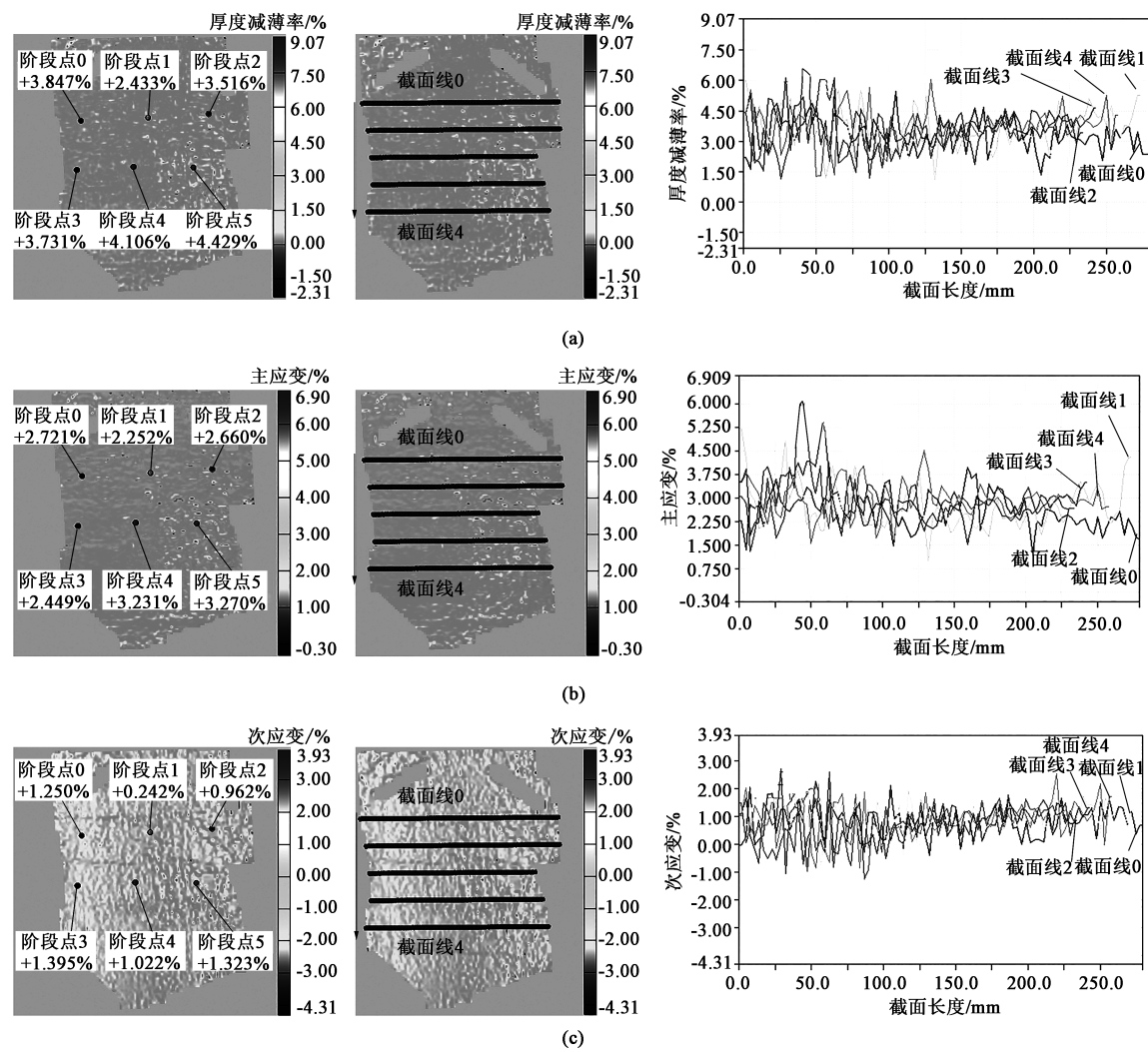


图 6 全景天窗顶盖拉伸数字化网格试验分析

(a) 厚度减薄率 (b) 主应变 (c) 次应变

Fig. 6 Digital grid experimental analysis for drawing of panorama sunroof panel

(a) Thinning rate of thickness (b) Principal strain (c) Secondary strain



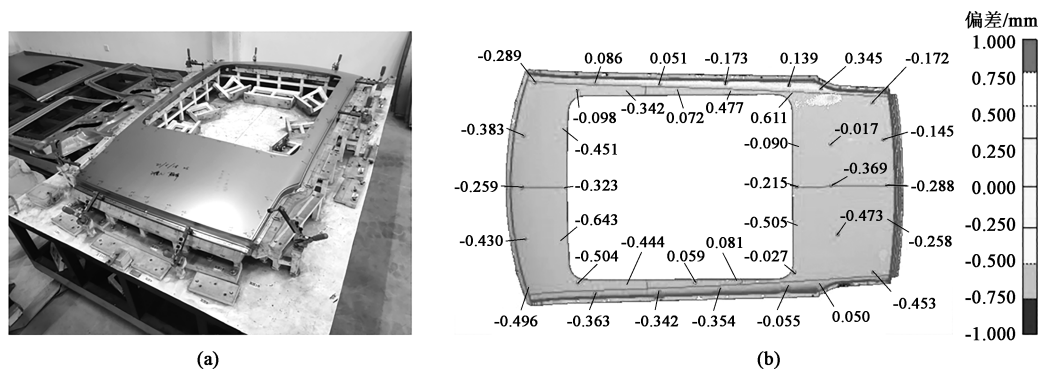


图 7 全景天窗顶盖最终成形件 (a) 与精度扫描数据 (b)

Fig. 7 Final forming part (a) and dimension deviation scanning data (b) of panorama sunroof panel

型面 $\pm 1.000$  mm 的尺寸公差要求。

## 5 结论

(1) 应用水平推拉式凸模扩张斜楔机构, 实现了全景天窗顶盖两侧流水槽搭接区域侧修边和侧整形的工序集成, 并很好地保证了产品负角结构的质量, 解决了传统全景天窗顶盖需要在两道工序先修边后整形的问题。

(2) 应用竖直推拉式凸模扩张斜楔机构, 实现了全景天窗尾门配合区域侧修边与侧整形的工序集成, 并将大负角、大变形量的侧整形直接一次成形到位变为可能, 从而使全景天窗顶盖 OP20 模具可以完成更多的工序内容。

(3) 对于具有三面负角结构的全景天窗顶盖, 通过水平推拉式凸模扩张斜楔机构和竖直推拉式凸模扩张斜楔机构的联合运用, 使三面负角的侧修边与侧整形同步化成为可能, 并能有效地解决全景天窗顶盖修边、整形类模具尺寸大、结构臃肿等难题。目前, 基于修边整形复合工艺方案的全景天窗顶盖 3 工序冲压模具已在多款车型实现工业化应用, 对于汽车行业同类零件的冲压模具结构设计具有一定指导意义。

### 参考文献:

- [1] 杨月, 赵锋, 刘海东. 顶盖外板全景天窗后角顶面弹性回复补偿方法研究 [J]. 模具工业, 2020, 46 (11): 21-27.  
Yang Y, Zhao F, Liu H D. Study on elastic recovery compensation method for roof panel on back sunroof [J]. Die & Mould Industry, 2020, 46 (11): 21-27.
- [2] 蒋磊, 龚剑, 王龙, 等. 翼子板试制冲压工艺与模具设计 [J]. 锻压技术, 2020, 45 (2): 73-80.  
Jiang L, Gong J, Wang L, et al. Trial stamping process and die

design of fender [J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (2): 73-80.

- [3] 周铁军, 周厚保. 汽车顶盖模具气动驱动成形技术的应用 [J]. 模具制造, 2018, (7): 22-26.  
Zhou T J, Zhou H B. The application for the pneumatic drive forming on automobile roof die [J]. Die & Mould Manufacture, 2018, (7): 22-26.
- [4] 蒋磊, 王龙, 王大鹏, 等. 基于短工序化的侧围外板冲压工艺与模具设计 [J]. 模具制造, 2020, (5): 15-23.  
Jiang L, Gong J, Wang D P, et al. The stamping process and die design of body side outer panel based on short procedures [J]. Die & Mould Manufacture, 2020, (5): 15-23.
- [5] 高双明, 矫阿娇, 崔礼春. 某轿车后内门板冲压工艺及整形模具结构优化 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (1): 65-69.  
Gao S M, Jiao A J, Cui L C. Stamping process and structure optimization of sizing die for inner panel of a car rear door [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (1): 65-69.
- [6] 蒋磊, 龚剑, 王龙, 等. 侧围外板浅拉延成形工艺数值模拟 [J]. 塑性工程学报, 2020, 27 (9): 73-81.  
Jiang L, Gong J, Wang L, et al. Numerical simulation of body side outer panel based on shallow drawing [J]. Journal of Plastic Engineer, 2020, 27 (9): 73-81.
- [7] 郎利辉, 巫永坤, 陈杨错, 等. 铝合金汽车顶盖充液成形的数值模拟 [J]. 精密成形工程, 2017, 9 (3): 13-18.  
Lang L H, Wu Y K, Chen Y K, et al. Numerical investigation into the hydroforming of aluminum alloy automobile roof cover [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2017, 9 (3): 13-18.
- [8] 蒋磊, 张雄飞, 王龙, 等. 基于变压边力的侧围外板成形研究 [J]. 精密成形工程, 2020, 12 (6): 157-163.  
Jiang L, Zhang X F, Wang L, et al. Research on forming of side outer panel based on variable blank holder force [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2020, 12 (6): 157-163.
- [9] 周志伟, 龚红英, 赵小云, 等. 基于 RSM 与 GA 的汽车后备箱盖板成形工艺参数多目标优化 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (3): 75-81, 95.  
Zhou Z W, Gong H Y, Zhao X Y, et al. Multi-objective optimi-

- zation on process parameters for automobile trunk cover based on RSM and GA [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (3): 75-81, 95.
- [10] 蒋磊, 龚剑, 王龙, 等. 基于产品质量特性的冲压模具工序集成技术开发与应用 [J]. 汽车工艺与材料, 2019, (10): 6-14.
- Jiang L, Gong J, Wang L, et al. The development and application of stamping process integrated technology based on quality characteristics [J]. Automobile Technology & Material, 2019, (10): 6-14.
- [11] 代丽, 朱勇. 汽车侧围外板表面缺陷分析及冲压工艺优化 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (6): 91-98.
- Dai L, Zhu Y. Surface defect analysis and stamping process optimization on automobile side wall outer panel [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (6): 91-98.
- [12] 刘龙芬. 汽车全景天窗顶盖切翻工艺与模具设计 [J]. 模具工业, 2017, 43 (2): 33-37.
- Liu L F. Trimming and flanging technology for panoramic skylight head cover of automobile and the die design [J]. Die & Mould Industry, 2017, 43 (2): 33-37.
- [13] 王建衡, 胥一勤. 汽车全景天窗冲压工艺优化及模具设计 [J]. 模具工业, 2019, 45 (2): 16-19.
- Wang J H, Xu Y Q. Stamping process optimization of automotive panoramic sunroof and the die design [J]. Die & Mould Industry, 2019, 45 (2): 16-19.
- [14] 刘莉, 江波, 王淑俊. 某车型全景天窗顶盖外板修边工艺与模具设计 [J]. 锻压装备与制造技术, 2019, 54 (2): 90-93.
- Liu L, Jiang B, Wang S J. Trimming process and die design of the top cover outer panel of the panoramic sunroof of a certain model automobile [J]. China Metalforming Equipment & Manufacturing Technology, 2019, 54 (2): 90-93.
- [15] 曹彪, 代建文. 汽车顶盖表面凹陷问题的控制方法 [J]. 模具工业, 2020, 46 (9): 66-69.
- Cao B, Dai J W. Control measures for surface indentation issue on automobile roof panel [J]. Die & Mould Industry, 2020, 46 (9): 66-69.
- [16] 肖敬伟. 轿车侧围外板局部褶皱的分析与解决 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (12): 92-99.
- Xiao J W. Analysis and solution on local wrinkles for side frame outer panel of a car [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (12): 92-99.
- +++++
- (上接第111页)
- [5] 刘强, 俞国燕, 梅端. 基于Dynaform与RBF-NSGA-II算法的冲压成形工艺参数多目标优化 [J]. 塑性工程学报, 2020, 27 (3): 16-25.
- Liu Q, Yu G Y, Mei D. Multi-objective optimization of stamping forming process parameters based on Dynaform and RBF-NSGA-II algorithm [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2020, 27 (3): 16-25.
- [6] 蔡飞飞, 任违, 陈行行. 基于田口法和方差分析的整体叶轮高速铣削参数优化研究 [J]. 机床与液压, 2016, 44 (2): 4-6, 9.
- Cai F F, Ren W, Chen X X. Optimization of cutting parameters of high speed machining for integral impeller based on Taguchi method and analysis of variance [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2016, 44 (2): 4-6, 9.
- [7] 赵坤民, 高岩, 赵德望, 等. 汽车用大型复杂冲压件拉伸回弹仿真 [J]. 塑性工程学报, 2021, 28 (12): 12-20.
- Zhao K M, Gao Y, Zhao D W, et al. Drawing springback simulation of large complex stamping part for automobile [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2021, 28 (12): 12-20.
- [8] 姜雪松, 张坤, 张红丽, 等. 基于田口试验设计的TiAlN涂层膜基结合力控制参数优化 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2020, 15 (7): 698-702.
- Jiang X S, Zhang K, Zhang H L, et al. Optimization of control parameters of adhesion strength between TiAlN coating and substrate based on Taguchi experimental design [J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2020, 15 (7): 698-702.
- [9] 许贤博, 邵华. 基于田口算法和灰色关联理论的车削参数多目标优化研究 [J]. 工具技术, 2015, 49 (8): 15-18.
- Xu X B, Shao H. Multi-object optimization of parameters for turning based on Taguchi method and grey relational analysis [J]. Tool Engineering, 2015, 49 (8): 15-18.
- [10] 孙新东, 刘广璞, 毛津, 等. 基于田口方法的筒形件强力旋压参数优化 [J]. 铸造技术, 2017, 38 (11): 2701-2703, 2720.
- Sun X D, Liu G P, Mao J, et al. Parametric optimization in tube power spinning based on Taguchi method [J]. Foundry Technology, 2017, 38 (11): 2701-2703, 2720.
- [11] 刘志飞, 王晓强, 朱其萍, 等. 超声滚挤压轴承套圈的表层性能预测模型建立及工艺参数优化 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (3): 118-125.
- Liu Z F, Wang X Q, Zhu Q P, et al. Establishment on prediction model of surface performance for ultrasonic roll extrusion bearing ring and optimization on process parameters [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (3): 118-125.
- [12] 李志伟, 樊文欣, 原霞, 等. 田口算法在锡青铜连杆衬套挤压参数优化中的应用研究 [J]. 特种铸造及有色合金, 2019, 39 (2): 225-227.
- Li Z W, Fan W X, Yuan X, et al. Applied research of taguchi method in optimization of extrusion parameters for tin bronze connecting rod bushing [J]. Special-cast and Non-ferrous Alloys, 2019, 39 (2): 225-227.
- [13] 齐双强. 活塞预锻模具磨损失效研究 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (3): 21-26.
- Qi S Q. Research on wear failure for pre-forging die of piston [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (3): 21-26.