

一种灯饰外罩的剪切与拉深旋压组合工艺

贾震¹, 吕伯超¹, 潘广权², 蔺鹏禹³, 刘宝明¹

(1. 沈阳航空航天大学 航空制造工艺数字化国防重点学科实验室, 辽宁 沈阳 110136;

2. 华晨宝马汽车有限公司铁西工厂, 辽宁 沈阳 110143;

3. 沈阳新松机器人自动化股份有限公司, 辽宁 沈阳 110168)

摘要: 针对一种带有锥面与圆柱面组合形状特征的灯饰外罩, 提出了采用剪切旋压结合多道次拉深旋压的组合方法进行成形, 并对相应的工艺特点进行分析, 为实际生产提供理论依据。研究中, 通过板坯尺寸参数的计算与多道次旋轮路径的设计, 确定了旋压试验方案, 并在此基础上开展组合旋压的工艺试验, 检验了灯饰外罩旋压件的形貌尺寸, 并进一步分析了锥面与圆柱面部分的壁厚分布, 发现锥面部分壁厚分布符合剪切旋压规律, 圆柱面部分壁厚分布呈先小后大趋势, 并揭示其原因。

关键词: 灯饰外罩; 剪切旋压; 多道次拉深旋压; 壁厚分布

中图分类号: TG376

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2018) 01-0025-05

旋压相对于液压成形具有逐点渐进成形的特点, 由于变形接触区面积小, 成形力就小, 因此成形同尺寸钣金件所需的设备吨位较小; 旋压板坯一般装夹在中心部位, 减少了料边的损耗; 旋轮代替传统模具中的凹模, 节省了模具的材料与加工成本。因此, 相对于其他钣金塑性成形工艺, 旋压技术仍具有节材、低能耗、高灵活性的优势, 适用于多品种、小批量生产, 在轻、重工业中都得到了广泛应用^[1-5]。

阴中炜等^[6]采用冲压预成型和旋压相结合的工艺方法制造出精度符合使用要求的航天用薄壁贮箱壳体。研究表明, 冲压预成型件的形状、尺寸精度及旋压过程中普旋道次、强旋减薄率均对产品的成形精度影响显著。夏琴香等^[7]数值模拟了杯形薄壁矩形内齿旋压成形过程, 并进行了相应的试验验证, 研究表明, 压下量在一定范围内对齿高的成形影响显著, 进给比对齿高成形影响不大。Huang 等^[8]采用数值模拟结合实验的方法研究了基于旋轮运动行为的带轮“劈开”式旋压成形特点, 发现压力角、带轮直径、旋轮进给率和摩擦

系数对成形几何精度都有影响。朱金华等^[9]介绍了3A21-O 铝合金顶盖零件旋压的毛坯计算、工艺参数确定、工装设计等方法。李亚非等^[10]在曲面薄壁异形件旋压成形过程中发现, 异形件旋压加工中普旋、强旋同时存在; 未贴模状态下预成形以普旋为主效果良好, 同时可减少模具工装。马世成等^[11]对内加强筋异形件的各种加工方法进行研究, 提出内旋压该类零件的优势及工艺方案设计, 开展了带环向内加强筋异形件的2种内旋压实验, 明确采用小端装卡起旋和大端装卡起旋都是可行的。孙丽丽^[12]数值模拟了汽车轮毂旋压成形过程, 得到了旋压工艺参数对等效应力、等效应变和旋压力的影响规律, 随着名义拉深系数、相对厚度、进给比的增加, 坯料的等效应力和等效应变逐渐增大; 并随旋轮圆角半径的增加, 坯料的等效应力和等效应变逐渐减小。

上述研究揭示了几种旋压技术在工业中的应用情况, 具有很大工程实用价值。本文旨在研究一种具有锥面和圆柱面组合形状灯饰外罩(图1)的旋压方法。锥面一般采用剪切旋压, 而圆柱面多采用

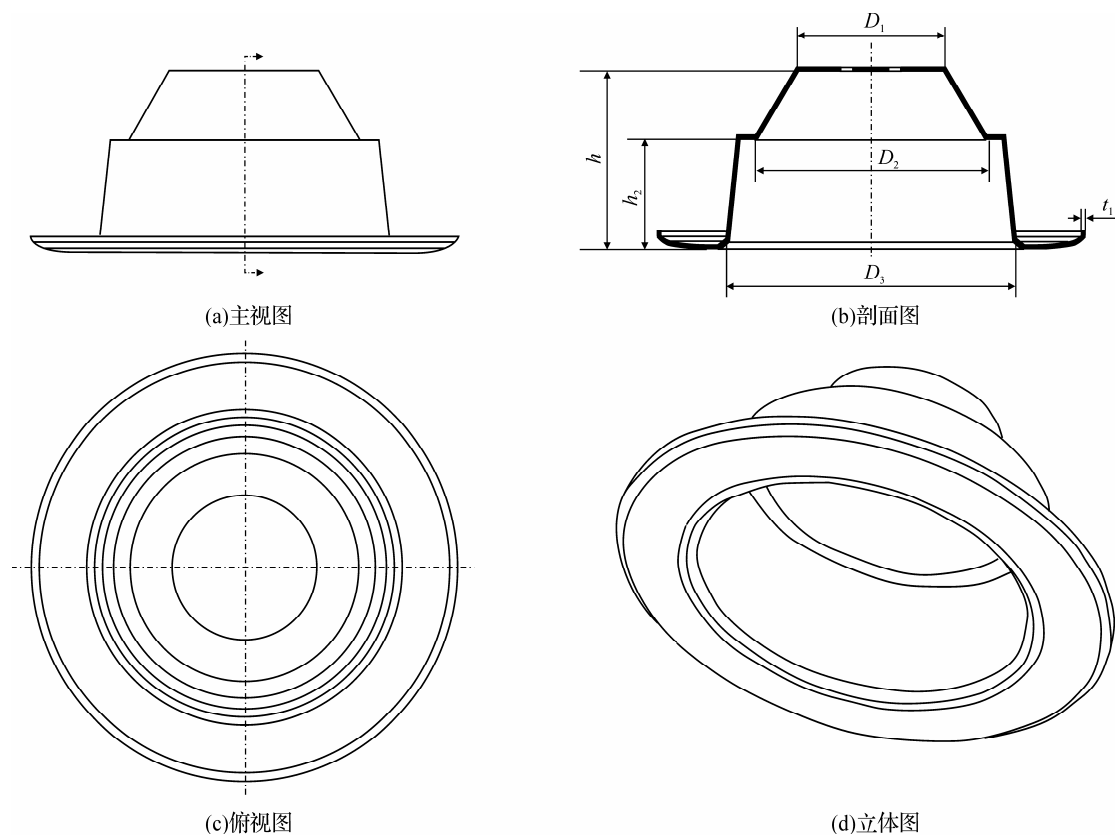


图1 某灯饰外罩视图

多道次拉深旋压, 因此该型灯罩采用组合式旋压方法。此外, 本文拟从板坯尺寸计算、旋轮路径设计、旋压试验、试验结果分析等方面详细论述此种组合旋压方法, 为该种特殊形状灯饰外罩的试制及生产提供理论依据。

1 旋压工艺设计

1.1 板坯尺寸确定

图1(b)为本文研究对象的纵向剖面图, 假设变形后筒壁分布均匀, 忽略尖角处倒角半径对体积的影响, 根据金属塑性变形前后体积不变原理, 圆板坯的几何尺寸关系推导如下:

$$V_0 = \pi \left(\frac{D_0}{2} \right)^2 t_0, \quad (1)$$

$$V_1 = V_{11} + V_{12}. \quad (2)$$

令:

$$h_1 = h - h_2, \quad (3)$$

$$\Delta d = \frac{D_2 - D_1}{2}, \quad (4)$$

则有:

$$\Delta r = \sqrt{\Delta d^2 + h_1^2}, \quad (5)$$

$$V_{11} = \frac{\pi D_1^2}{4} t_1 + \frac{1}{2} \pi \Delta r t_1 (D_1 + D_2), \quad (6)$$

$$V_{12} = \frac{D_3^2 - D_2^2}{4} \pi t_1 + \frac{2 D_3 t_1 - t_1^2}{4} \pi h, \quad (7)$$

$$V_1 = V_{11} + V_{12}, \quad (8)$$

考虑到法兰余量, 则:

$$V_0 > V_1, \quad (9)$$

式中, V_0 为板坯变形前体积; V_1 为变形后旋压件体积; V_{11} 为锥面部分体积; V_{12} 为圆柱面部分体积; D_0 为板坯变形前直径; D_1 为灯罩顶直径(图1(b)); D_2 为锥底直径(图1(b)); D_3 为圆柱部分直径(图1(b)); t_0 为板坯变形前厚度; Δr 为锥面部分轮廓素线长度; t_1 为变形后旋压件壁厚(图1(b)); h_2 为变形后直筒高度(图1(b)); h 为变形后旋压件总高度(图1(b))。

灯饰外罩的几何尺寸为已知条件, 其成品锥面部分壁厚减薄率要求低于 50%; 圆柱面部分壁厚要求至少为 0.95 mm。旋压为板料壁厚减薄成形方法, 因此选用厚度为 1.2 mm 圆形板坯。将式(1)~(8)代入式(9), 再将具体数值代入, 经计算得到板

料直径至少大于 227 mm, 考虑到试件的法兰余量, 最终选用板坯直径为 240 mm.

1.2 旋轮路径

1.2.1 锥面部分旋轮路径设计

依据灯罩成品件内腔表面几何形状尺寸设计如图 2 所示的旋压芯模, 其中锥面部分的半锥角为 33° , 考虑到剪切旋压成形后壁厚减薄量符合正弦函数关系(如式(10)), 而 $\sin 33^\circ = 0.54 > 50\%$. 为减少旋压道次, 提高加工效率, 锥面部分的旋轮路径设计成单一方向的剪切旋压方式(图 2).

$$t = t_0 \sin \alpha, \quad (10)$$

式中, t 为变形后的锥面部分壁厚; α 为锥面半锥角.

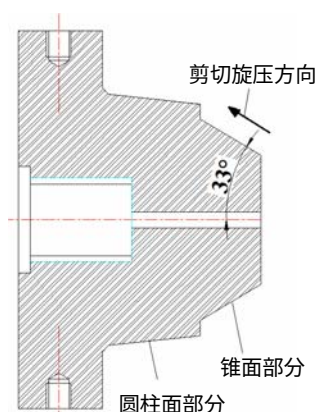


图2 灯饰外罩旋压芯模示意图

1.2.2 圆柱面部分旋轮路径设计

文献[13]指出, 采用不同曲率曲线相结合的变形轨迹有利于板料的旋压件形状精度. 依据其思想, 本研究中设计了由不同曲率半径弧线组成的多道次拉深旋轮路径.

如图 3 所示, 各曲线具体功能如下:

(1)第一进刀线. 将未经过变形的坯料以及后续板坯法兰沿曲线旋进推倒, 曲线的每一道次前半部分板坯法兰贴靠芯轴较快, 后一部分逐渐减缓. 采用曲线轨迹增加了金属的分布空间, 避免板料单位时间内集中发生较大变形, 有利于变形力和变形精度控制.

(2)第二进刀线. 在第一次单进刀变形后, 为使法兰快速贴靠芯模, 往往从第一进刀路径中途开始第二进刀路径, 相比旋轮退回试件轮廓再次起旋, 由第一、第二的二次进刀曲线组成的双进刀路径可减少旋轮空程, 提高第二进刀弧线效率. 其中第二进刀线的曲率半径大于同组第一进刀线,

以达到板料法兰外围与第一进刀线经过的法兰内部曲率同步的效果.

(3)退刀线. 为抑制法兰与筒壁被过分拉薄, 旋轮空程行进至进刀弧线外端或靠下部位后, 沿退刀线向内(芯轴方向)进给, 将金属带回. 旋压连续进刀道次开始后, 为防止壁厚减薄过快, 在第二进刀曲线后添加一条小曲率半径的退刀线, 与之前的双进刀曲线形成双进刀-单退刀的组合路径. 在旋压成形过程结束前的几道次内, 板坯法兰已接近贴模, 无需采用双进刀路径, 单进刀弧线有利于板坯平缓贴模, 在单进刀后跟进退刀曲线形成单进刀-退刀组合路径, 可补偿之前的筒壁拉薄.

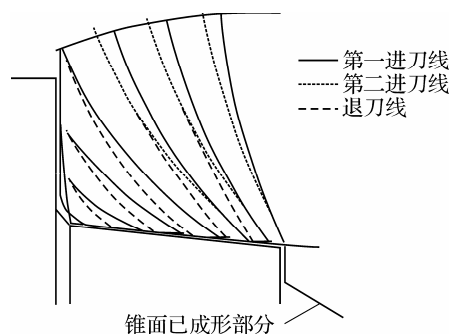


图3 多道次拉深旋轮路径及各曲线功能

2 工艺试验

所设计的剪切旋压路径成形锥面部分, 采用多弧线组合的拉深旋压路径成形圆柱面部分, 利用所设计的灯饰外罩芯模开展旋压实验. 实验设备为 PS-CNCSXY600-5 型数控旋压机(图 4). 旋压机主轴和旋轮径向与轴向进给使用 GS3050Y-NP2 伺服电机驱动. 旋压机采用西门子数控系统, 在主轴高速旋转同时可实现旋轮沿复杂曲线路径精确运动, 精度可达 0.001 mm. 旋轮轮盘直径为 110 mm, 厚度为 25 mm, 刀尖圆角半径为 8 mm, 安装



图4 PS-CNCSXY600-5 型数控旋压机

攻角为 45° 。剪切旋压时芯模转速为 $300 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ，多道次拉深旋压时芯模转速为 $500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。旋轮空程进给速度 $3000 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ，与板坯接触时进给速度为 $1500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。板坯材料 6061-O 态铝合金，旋轮与芯模最小间隙即工件轮廓间隙设为 1 mm 。

3 实验结果与分析

3.1 旋压件形貌

图 5 为所得旋压件的形貌图。由图可见，所采用的剪切和多道次拉深旋压组合方法可以获得外表光滑、无裂纹、无褶皱的灯饰外罩试件。将试件的关键尺寸(其中锥面部分壁厚值与圆柱面部分壁厚值为分别在母线上均匀选取 5 个点的壁厚平均数)与标准值进行对比(图 6)，两者对应尺寸相差在 5% 以内，而锥面平均壁厚为 0.684 mm ，大于 1.2 mm 的 50%，圆柱面的平均壁厚为 0.976 mm ，大于规定的最小值 0.95 mm ，两者都符合要求，说明模具设计和板坯下料准确，所提出的剪切与拉深旋压工艺合理。



图 5 灯罩试件

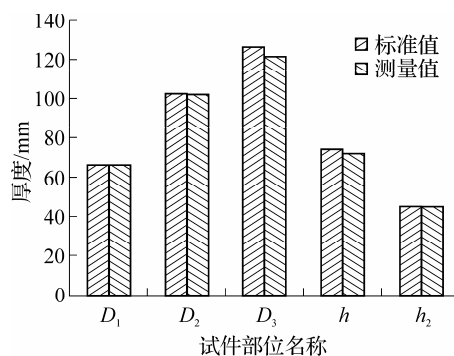


图 6 试件的关键尺寸对比

3.2 壁厚分布及分析

采用 PX-7 型超声波测厚仪分别测量锥面部分

与圆柱面部分壁厚，测量点位置如图 7 所示，而壁厚分布如图 8 所示。从中可以发现，灯饰外罩试件锥面部分壁厚整体比较均匀，与板坯壁厚乘以半锥角正弦值($1.2 \times \sin 33^\circ = 0.65$)的最大偏差为 0.05 mm ，符合剪切旋压的壁厚分布规律。而圆柱面部分壁厚分布并不均匀，起始端为最薄处，壁厚值为 0.95 mm ，达到灯饰外罩壁厚的最低要求。随着旋压进程圆柱面部分壁厚逐渐增大，其主要原因是锥面部分壁厚略大于标准的正弦规律值，说明在成形锥面部分时，板坯法兰内侧少量金属经过剪切旋压参与形成圆柱面部分，致使剩余用以形成圆柱面的板料薄厚不均，呈先薄再厚的趋势。为使法兰快速贴模，拉深旋压初始几道次的旋轮路径采用了双进刀曲线，这个阶段圆柱面部分筒壁被拉薄较快。而圆柱面后半部分成形时，双进刀-退刀的路径改为单进刀-退刀，并且退刀曲线的长度与弧度也加大，减缓筒壁拉薄速度，获得的壁厚接近并达到预留的旋轮与芯模间的旋压间隙。

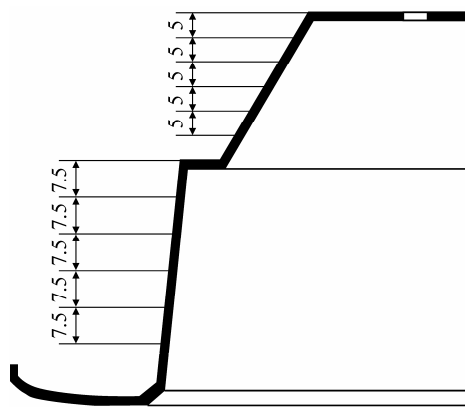


图 7 壁厚测量点位置(单位: mm)

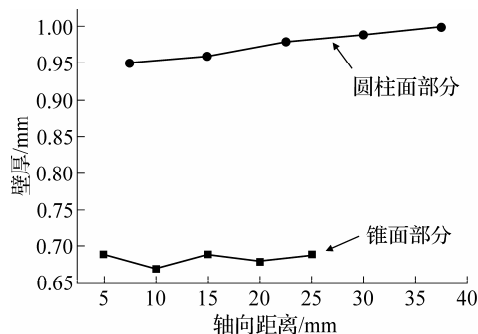


图 8 灯饰外罩壁厚分布

4 结论

针对一种由锥面和圆柱面组合而成的灯饰外

罩的形状特征,提出了剪切旋压与多道次拉深旋压的组合旋压方法.首先由塑性变形体积不变原理计算出所需板坯尺寸,再设计了由弧线组成的多道次圆柱面拉深旋轮路径,并进行了工艺实验.通过实验结果发现,组合旋压工艺获得的试件无表面缺陷,壁厚减薄量符合要求.锥面部分壁厚分布符合剪切旋压规律,圆柱面部分壁厚分布呈上薄下厚趋势,其原因板坯法兰内侧金属在剪切旋压过程中少量流向锥面部分,圆柱面拉深旋压开始阶段进刀带出金属较多,后期退刀带回金属较多,使壁厚减薄得到补偿.

参考文献:

- [1] Xia Q, Xiao G, Long H, et al. A review of process advancement of novel metal spinning[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2014, 85: 100-121.
- [2] 李启军, 范开春, 王琪, 等. 大尺寸薄壁钛合金筒体旋压成形质量影响因素[J]. 宇航材料工艺, 2012, 42(1): 86-88.
- [3] 赵云豪. 旋压技术现状[J]. 锻压技术, 2005, 30(5):95-97.
- [4] 夏琴香. 三维非轴对称零件旋压成形机理研究[J]. 机械工程学报, 2004, 40(2):153-156.
- [5] 杨英丽, 郭荻子, 赵永庆, 等. 钛旋压技术研究进展[J]. 稀有金属材料与工程, 2008(A04):625-629.
- [6] 阴中炜, 张绪虎, 周晓建, 等. 大型薄壁铝合金半球壳体旋压成形工艺研究[J]. 材料科学与工艺, 2013, 21(4): 127-130.
- [7] 夏琴香, 杨明辉, 胡昱, 等. 杯形薄壁矩形内齿旋压成形数值模拟与试验[J]. 机械工程学报, 2006, 42(12): 192-196.
- [8] Huang L, Yang H, Zhan M, et al. Forming characteristics of splitting spinning based on the behaviors of roller[J]. Computational Materials Science, 2009, 45(2): 449-461.
- [9] 朱金华, 王超, 潘勇. 铝合金顶盖旋压工艺及工装设计[J]. 轻合金加工技术, 2016, 44(2):60-64.
- [10] 李亚非, 陈辉, 徐新泰, 等. 曲面薄壁异形件旋压成形工艺研究[J]. 锻压技术, 2005, 30(5):58-60.
- [11] 马世成, 王振杰, 王东坡. 带环向内加强筋异形件内旋压成形技术研究[J]. 锻压技术, 2010, 35(1):53-55.
- [12] 孙丽丽. 汽车轮毂旋压成形过程的数值模拟[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2008.
- [13] Li Y, Wang J, Lu G D, et al. A numerical study of the effects of roller paths on dimensional precision in die-less spinning of sheet metal[J]. Journal of Zhejiang University: Science A, 2014, 15(6):432-446.

Combined process of shear and drawing spinning for a lighting cover

JIA Zhen¹, LÜ Bo-chao¹, PAN Guang-quan², LIN Peng-yu³, LIU Bao-ming¹

(1.Key Lab of Fundamental Science for National Defense of Aeronautical Digital Manufacturing Process, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China; 2.BMW Brilliance Automotive Ltd., Plant Tiexi, Shenyang 110143, China; 3.SIASUN Robot & Automation Co. Ltd., Shenyang 110168, China)

Abstract: Aiming at a specific type of lighting cover with the combination of conical surface and cylindrical surface, a method of shear spinning combined with multi-pass drawing spinning is proposed, and the corresponding process characteristics for the actual production are analyzed. This work provides the theoretical basis for the actual production. In the study, the spinning experiment scheme is planned through blank size parameters calculating and multi-pass roller path designing, based on which the combined spinning experiment is carried out. The morphological dimensions of the spun work-piece are tested. And the wall thickness distributions of the conical surface part and cylindrical surface part are analyzed. It is found that the wall thickness distribution of the conical surface part is correlated with the law of shear spinning, the wall thickness distribution of the cylindrical surface part shows an increasing trend. The mechanism behind the phenomenon observed is explored.

Key words: lighting cover; shear spinning; multi-pass drawing spinning; wall thickness distribution

(责任编辑 章踐立)