

2024 铝合金薄壁马鞍形尾椎上壁板半管零件的双层板 液压拉深成形工艺

魏 来¹, 马江泽^{2,3}, 郎利辉⁴, 张三敏⁴, 张艳峰^{2,3}

(1. 沈阳工业大学 后勤处, 辽宁 沈阳 110870; 2. 天津天锻航空科技有限公司, 天津 300142;
3. 天津市天锻压力机有限公司, 天津 300142; 4. 北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191)

摘要:为解决某国产飞机上某 2024 铝合金薄壁马鞍形尾椎上壁板半管零件在传统落压以及蒙拉中容易产生的破裂、起皱、表面质量差等问题,采用液压拉深工艺,综合考虑尾椎上壁板半管零件的马鞍形脊线在成形过程中导致的局部失稳现象,借助双层板辅助成形的思想,解决了零件尾部流料问题。利用有限元软件建立了有限元模型,对 2024 铝合金薄壁马鞍形尾椎上壁板半管蒙皮件的双层板液压拉深工艺进行了数值模拟。通过模拟分析,结合双层板液压拉深成形过程中对辅助板料的要求,确定了辅助板料的屈服强度的范围;根据材料变形能力和零件结构形状,优化了充液加载时的最大液室压强。模拟得出的最优结果为:辅助板料的屈服强度应在 174 MPa 以上,最大液室压强为 15 MPa。最后对模拟结果进行了实验验证,试制出了合格的马鞍形尾椎上壁板半管零件,为此零件的成形提供了一套符合工业生产要求的工艺方法,对此类形状零件的成形具有很大的借鉴作用。

关键词: 2024 铝合金; 双层板; 液压拉深成形; 压弯; 液室压强

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.11.018

中图分类号: TG386; V261.2*8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2022) 11-0130-07

Hydraulic deep drawing process with double-layer plate for 2024 aluminum alloy thin-walled saddle-shaped upper wall plate half-pipe part

Wei Lai¹, Ma Jiangze^{2,3}, Lang Lihui⁴, Zhang Sanmin⁴, Zhang Yanfeng^{2,3}

(1. Logistic Affairs Department, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China;
2. Tianjin Tianduan Aviation Technology Co., Ltd., Tianjin 300142, China; 3. Tianjin Tianduan Press Co., Ltd., Tianjin 300142, China;
4. School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: In order to solve the problems of cracking, wrinkling and poor surface quality of an 2024 aluminum alloy thin-walled saddle-shaped upper wall plate half-pipe part for tail vertebra on a Chinese aircraft in the traditional drop pressure and stretching, the hydraulic deep drawing process was adopted, and considering that the saddle-shaped ridge line of the upper wall plate half-pipe part for tail vertebra caused local instability during the forming process, the problem of material flow at the end of part was solved with the aid of the double-layer plate auxiliary forming idea. Then, the finite element model was established by finite element software, and the hydraulic deep drawing process with double-layer plate for 2024 aluminum alloy thin-walled saddle-shaped upper wall plate half-pipe skin part for tail vertebra was simulated numerically. Furthermore, through the simulation analysis, combined with the requirements of auxiliary sheet in the process of double-layer plate hydraulic deep drawing, the yield strength range of auxiliary plate was determined, and according to the deformation ability of materials and the structural shape of part, the maximum liquid chamber pressure of liquid filling was optimized. The optimal simulation results show that the yield strength of the auxiliary plate should be above 174 MPa, and the maximum liquid chamber pressure is 15 MPa. Finally, the simulation results are verified by experiments, and the qualified saddle-shaped upper wall plate half-pipe parts for tail vertebra are produced, which provides a set of process methods in line with industrial production requirement and has great reference significance for the forming of such shaped parts.

Key words: 2024 aluminum alloy; double-layer plate; hydraulic deep drawing; bending; liquid chamber pressure

2024 为铝-铜-镁系中的典型硬铝合金,其综合

性能较好。该合金的特点为:强度高,有一定的耐热性。其原始 O 状态和新淬火状态下的成形性能均很好,热处理固溶强化效果明显,热处理工艺要求比较严格。2024 铝合金由于具有较高强度和优秀的切削加工性能,被广泛应用于蒙皮、骨架、肋梁等飞机结构以及铆钉、导弹及其他结构^[1]。

收稿日期: 2021-11-08; 修订日期: 2022-02-11

作者简介: 魏 来 (1980-), 男, 学士, 工程师

E-mail: 28775147@qq.com

通信作者: 马江泽 (1989-), 男, 硕士, 工程师

E-mail: 445791011@qq.com

尾椎上壁板零件的材料为 2024 铝合金, 热处理状态为 T42, 为某国产飞机尾椎上一个重要的外蒙皮零件, 目前普遍采用落压成形配合人工敲修的方式进行生产。这种方式生产效率低、零件质量差、人工参与度高、零件互换性差, 无法满足现代飞机制造的要求。

对于双层板液压拉深成形技术, 董浩^[2]利用双层板充液拉深成形方法研究了此类超大尺寸以及超薄壁厚复杂曲面成形的破裂、起皱难题。徐永超等^[3]通过单层板和双层板成形的对比实验研究发现, 外层板的存在能够使板材的极限应变增加, 同时使壁厚分布更加均匀。两层板之间存在一定的界面摩擦, 可以提高内层板的成形极限、优化壁厚分布。

为了使尾椎上壁板零件的表面质量得到显著提高, 采用了液压拉深成形工艺, 零件在成形过程中优化了零件坯料变形方式, 使其变形更加均匀。

但是, 由于受限于此零件特殊的马鞍形脊线, 液压拉深成形时零件大头端的减薄较大, 容易导致零件破裂^[4]。本文针对此类问题, 利用分析软件数值模拟此零件的双层板压弯+液压拉深成形过程, 并通过现场实验进行验证, 有效地解决了尾椎上壁板零件的起皱、回弹、破裂和表面质量问题。目前, 该零件已经按此工艺井然有序地开展批量生产, 且产品性能满足工艺要求。

1 零件特征分析和工艺路线制定

尾椎上壁板零件三视图如图 1 所示。该零件为某国产飞机尾椎上的上壁板蒙皮零件。零件脊线呈马鞍形, 前后呈锥形。零件长度方向的最大尺寸为 1150 mm, 锥形大头端的最大宽度为 774 mm、小头端的最大宽度为 40 mm, 大头端的最大半径为 400 mm, 小头端的半径为 40 mm。

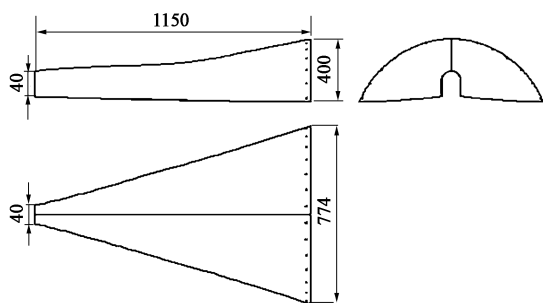


图 1 尾椎上壁板零件二维图

Fig. 1 Two-dimensional drawing of upper wall plate for tail vertebra

此零件在传统落压成形中存在起皱问题, 分析其原因为: 受限于零件特殊的马鞍形脊线, 马鞍形中部区域材料在落压过程中流料受限, 从而产生褶皱^[4]。而且传统落压成形过程中, 由于零件沿脊线方向的材料变形不均匀, 造成沿脊线方向的零件回弹量不一致: 两端变形量大、中间部位变形量小的分布态势, 导致零件回弹问题严重, 经手工敲修后, 表面质量差。

此零件若采用蒙拉成形工艺, 由于小头端半径小, 而零件锥度大, 导致小头端蒙拉机钳口无法靠近蒙拉胎, 只能蒙拉成形至大头端贴模, 而小头端有部分因为干涉原因不能成形到位, 需要手工敲修至贴模。而且由于马鞍形脊线的形状, 采用蒙拉工艺也存在由于两端变形量过大而导致破裂以及由于中间流料堆积导致起皱的风险。

而压弯+液压拉深工艺可以利用压弯凸模的形状, 合理布置板料的变形量^[5]。为了减少零件回弹, 需要提高整个零件的变形量。这也势必会增大零件大头端的破裂风险。为消除此破裂风险, 使变形更均匀, 考虑通过让大头端的坯料更多地向里流动, 为变形量最大的部位补料。采用双层板液压拉深成形工艺, 零件坯料的大头端略短, 处于自由状态, 可以借助辅助板料托着正式板料一起成形^[6]。正式板料可以凭借有效地流动来进行补料, 辅助板料则起到支撑、密封液体的作用, 如图 2 所示。

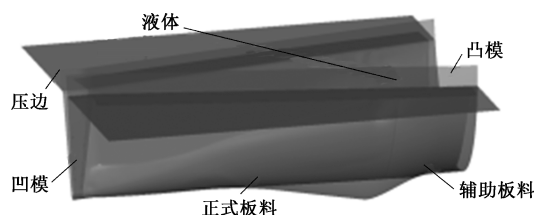


图 2 双层板液压拉深成形示意图

Fig. 2 Schematic diagram of hydraulic deep drawing with double-layer plate

鉴于以上分析, 本文研究了辅助板料选用的原则以及充液加载时的最大液室压强的优化过程。

2 压弯+双层板液压拉深的工作原理

主动式板材液压拉深成形, 根据液压拉深成形的液体作用方式, 运用流体作为主动加压方式, 对板料表面施加压力使其贴靠于凹模上, 这种板材成形方式即主动式液压拉深。上模与板材之间形成一个密封的型腔, 增压器通过上模的注水口向型腔里注射液体以及给液体加压^[7] (图 2)。

而对于非回转体零件,如果直接液压拉深,受限于零件自身形状特点,各处的变形量不一致,有的地方变形量变化急剧,即会导致起皱和破裂现象。而在液压拉深前进行坯料压弯,相当于一次预成形,减少液压拉深期间的难度。通过压弯工艺来提前合理分配坯料,使整体的变形量更加均匀^[8]。

双层板的应用进一步减少了破裂风险区的正式板料的流动阻力,使附近板料可以更加充分地向减薄较大的区域补料,缓解了此处变形量过大而引起的破裂风险。

3 压弯+双层板液压拉深的数值模拟

3.1 压弯+双层板液压拉深有限元模型建立

图 3 为在有限元分析软件中建立的尾椎上壁板零件的压弯+液压拉深模型。凹模、压边、板料以及凸模如图 3 所示。有效地对凹模、凸模、压边建立工具模型,默认为刚体,划分的单元网格大小为 10 mm,而为坯料建立压弯+双层板液压拉深的 Part 模型,划分的单元网格大小为 10 mm。

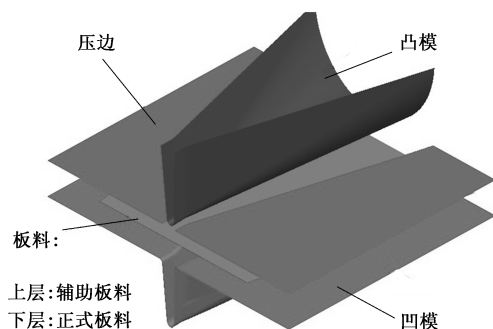


图 3 压弯+液压拉深有限元模型

Fig. 3 Finite element model of bending+hydraulic deep drawing

3.2 辅助板料的屈服强度的计算和优化

尾椎上壁板零件的双层板液压拉深成形工艺的独特之处在于正式板料和辅助板料长度不一致,正式板料的尾部较辅助板料短 340 mm,两层板料的摆放位置如图 4 所示。正式板料在下层,与凹模直接接触,辅助板料在上层,成形阶段先后与压边、凸模以及高压液体接触。在压弯结束后的液压拉深阶段,上层的辅助板料一方面负责密封高压液体,另一方面起支撑作用,抵消尾部胀形时单层辅助板料和双层板对高压液体的不同屈服反应,使上、下层板料尽可能地同步变形。这样下层的正式板料尾部不受约束,可以自由流料,能更充分地向尾部减薄较大、破裂风险较高的区域补料。

为了满足工艺动作,对辅助板料提出了一些要求:

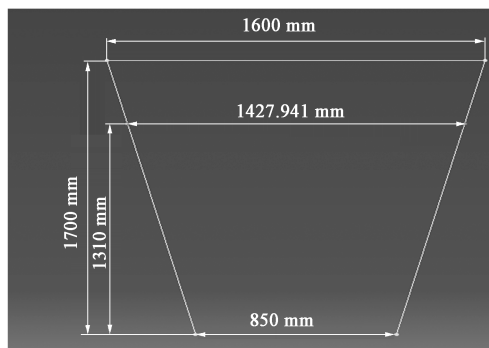


图 4 上、下层板料摆放示意图

Fig. 4 Schematic diagram of placement for upper and lower plates

(1) 辅助板料需要有较高的拉深性能,根据模拟计算此处减薄率为 22% 左右,这就要求辅助板料的塑性性能良好,保障材料减薄 22% 时不会发生破裂失效。辅助板料不破裂才能保障高压液体的密封性,使液压拉深顺利实现。

(2) 辅助板料相对于厚度为 0.8 mm 的正式板料要有较大的相对屈服强度,即在相同曲率半径下辅助板料发生屈服时的力要足够大,直到面对同样的高压液体,双层板能够与单层板基本同步发生屈服。

尾椎上壁板零件的材料为 2024 铝合金板材,板材厚度为 0.8 mm,在淬火出炉 20 min 内完成成形。根据实际测量其淬火出炉 10 min 时的材料参数如表 1 所示^[9]。

表 1 2024 铝合金新淬火态材料参数

Table 1 Material parameters of new quenched 2024 aluminum alloy

参数	屈服强度 R_{eL}/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	厚向异性 指数 r	断后伸长率 $A/\%$
数值	87	185	0.8	22

分别选取辅助板料与正式板料的屈服强度比为 1、2 和 3,如表 2 所示,模拟变形情况如图 5 所示。

表 2 辅助板料的屈服强度选择

Table 2 Selection of yield strength for auxiliary plates

序号	屈服强度 R_{eL}/MPa	辅助板料与正式板料的屈服强度比值	断后伸长率 $A/\%$
1	87	1	30
2	174	2	30
3	261	3	30

从图 5 中可以看出:当辅助板料与正式板料的屈服强度比为 1 时,辅助板料尾部率先屈服,直接变形至正式板料下边形成堆叠,未能完成辅助

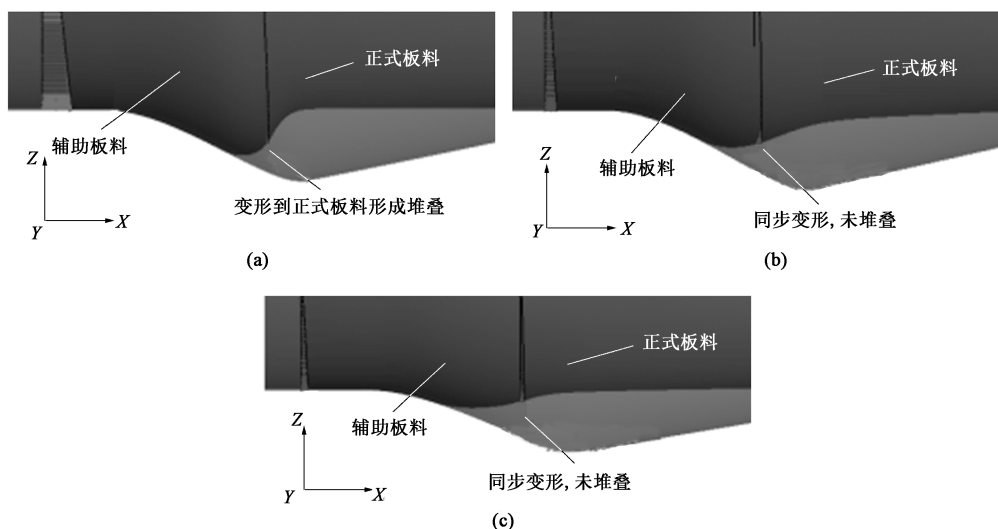


图 5 不同辅助板料与正式板料屈服强度比下的整体变形情况

(a) 1 (b) 2 (c) 3

Fig. 5 Overall deformation situations under different yield strength ratios of auxiliary plates to normal plates

板料与正式板料一起变形的目的; 当辅助板料与正式板料的屈服强度比为 2 和 3 时, 辅助板料能够辅助正式板料一起变形, 达到增强正式板料补料能力的效果。所以, 辅助板料的屈服强度应大于 174 MPa。实验研究中选用厚度为 1 mm 的 DC04 碳钢板, 屈服强度为 210 MPa, 满足工艺对辅助板料的要求。

3.3 最大液室压强的计算和优化

主动式液压拉深的最大液室压强是指保证材料在有效范围内最小圆角处屈服所需要的最大压强。假设板料在有效范围内最小圆角处为圆柱壳体, 设轴向应力 σ_z 与环向应力 σ_θ 的比值 σ_z/σ_θ 为 ε , 由 Tresca 屈服准则推算出屈服压强 p_s 的计算公式为:

$$p_s = \frac{1}{1 - \varepsilon} \cdot \frac{t}{r_c} \cdot R_{eL} \quad (1)$$

式中: r_c 为有效范围内最小过渡圆角半径, mm; t 为圆角处的平均厚度, mm; R_{eL} 为成形时零件材料的屈服强度, MPa。

ε 的取值范围为 $-1 \leq \varepsilon \leq 0^{[8]}$ 。当 $\varepsilon = -1$ 时, 屈服压强为:

$$p_s = \frac{t}{2r_c} R_{eL} \quad (2)$$

假设此处的轴向应力为 0, 即 $\varepsilon = 0$, 则液压拉深时的屈服压强简化为:

$$p_s = \frac{t}{r_c} R_{eL} \quad (3)$$

双层板液压拉深成形的总屈服压强 P 为:

$$P = P_{zs} + P_{fz} \quad (4)$$

式中: P_{zs} 为正式板料屈服压强; P_{fz} 为辅助板料屈服压强。

本零件中最小过渡圆角半径 r_c 为 22 mm, 正式板料厚度 t_{zs} 为 0.8 mm, 辅助板料厚度 t_{fz} 为 1 mm, 正式板料的屈服强度为 87 MPa, 辅助板料的屈服强度为 210 MPa, 代入以上数据得到最大液室压强估算值为 12.6 MPa。

为了评估最大液室压强对尾椎上壁板零件成形贴模度的影响, 制定了如表 3 所示的工艺研究方案。工艺参数包括正式板料与凹模间的摩擦因数 $\mu_1 = 0.125$, 辅助板料与凸模间的摩擦因数 $\mu_2 = 0.125$, 辅助板料与压边之间的摩擦因数 $\mu_3 = 0.125$, 正式板料与辅助板料之间的摩擦因数 $\mu_4 = 0.15$ 。工艺方案的数值模拟结果如表 4 所示。

表 3 各工艺方案的参数取值

Table 3 Parameter values for various process schemes

参数	方案 1	方案 2	方案 3
最大液室压强 Q/MPa	12	15	17
合模吨位 F/kN	22000	22000	22000

表 4 各工艺方案的数值模拟结果

Table 4 Numerical simulation results of various process schemes

参数	方案 1	方案 2	方案 3
零件与凹模的贴膜情况	未贴合	贴合较好	贴合较好
最大变形量/%	3.3	9.9	10.0

图 6 为不同的最大液室压强下, 尾椎上壁板零件与凹模贴模度情况。图 6 中, 3 种工艺方案的合模吨位均为 22000 kN, 最大液室压强分别为 10、15 和 17 MPa。从图 6a 中可以看出, 成形零件与凹模还未贴合, 软件测量显示有 4 mm 间隙, 而此时零件截面范围最大变形量为 3.3%。从图 6b 中可以看出, 成形零件与凹模已经贴合, 此时零件截面范围内的最大变形量为 9.9%。从图 6c 中可以看出, 成形零件与凹模也已经贴合, 此时零件截面范围内的最大变形量为 10.0%。零件截面范围内的最大变形量随最大液室压强变化的曲线如图 7 所示, 最大液室压强大于 15 MPa 后, 零件截面范围内的最大变形量几乎不变。综合考虑, 15 MPa 为最佳的最大液室压强值。

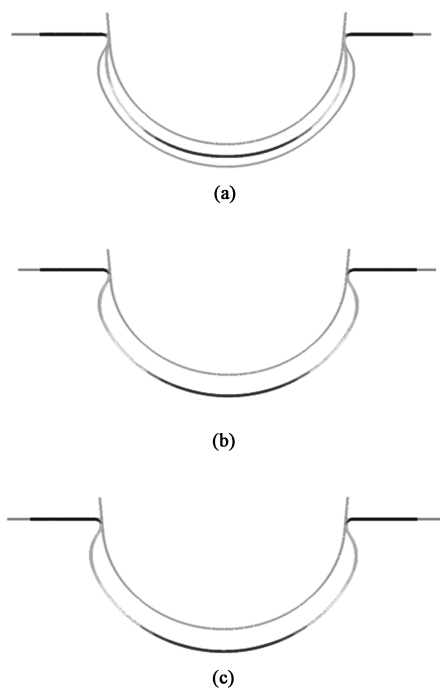


图 6 不同的最大液室压强下零件与凹模贴模度

(a) 10 MPa (b) 15 MPa (c) 17 MPa

Fig. 6 Mold fit degrees between parts and dies under different maximum liquid chamber pressures

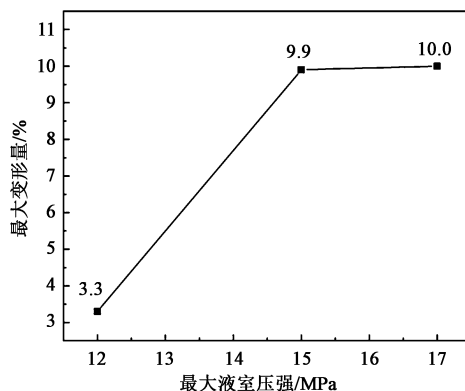


图 7 零件截面范围内的最大变形量

Fig. 7 Maximum deformation amounts within cross-section range of part

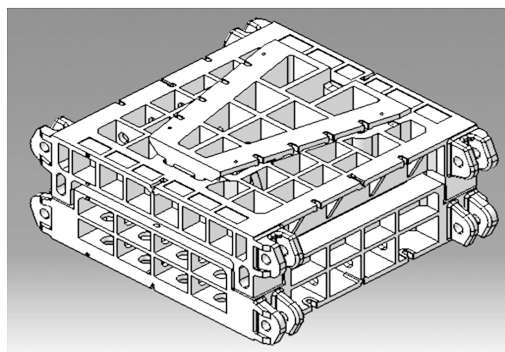


图 8 液压拉深成形模具

Fig. 8 Hydraulic deep drawing mold

模、压边座、压边、凸模连接、凸模, 以及一些配套的导向装置、起吊装置、凹模芯固定装置等。压弯+液压拉深工艺决定了零件型面布置在凹模上, 凸模和压弯后的板料之间形成封闭的型腔, 而高压液体通过作用在板料上, 使板料产生拉伸变形, 直至板料完全贴在凹模上。整个模具的导向系统由两部分组成: (1) 压边座与凹模座用导板导向, 布置在模具的四角上; (2) 凸模与压边之间也用导板导向, 根据凸模形状随型布置。

实验环境为天津天锻航空科技有限公司钣金车间, 试模设备为天津天锻航空科技有限公司 4000 t 的液压拉深成形专用液压机^[10-11], 实验板料由某客户公司提供。实验压机可提供最大 40000 kN 的合模压力, 额定工作台面尺寸为 4000 mm×3000 mm, 额定工作行程为 3080 mm。与此配套的液压拉深成形系统的增压器水容量为 40 L, 提供的最大液压为 250 MPa。图 9 为车间实验成形后的半成品零件和按工艺要求净边后的零件。

4 实验研究

经反复数值模拟优化后, 车间实验中凸、凹模合模力取 22000 kN, 压弯阶段的压边力为 500 kN, 充液系统提供的液室压强为 15 MPa, 进行试模。模具三维图如图 8 所示。整个模具外围尺寸为 2600 mm×2320 mm×1220 mm, 主要零部件包括凹模座、凹

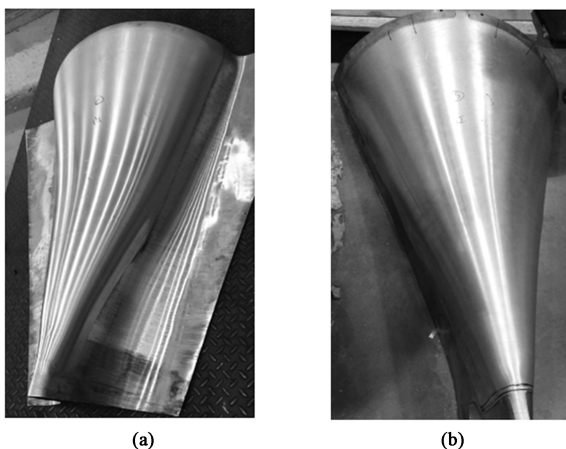
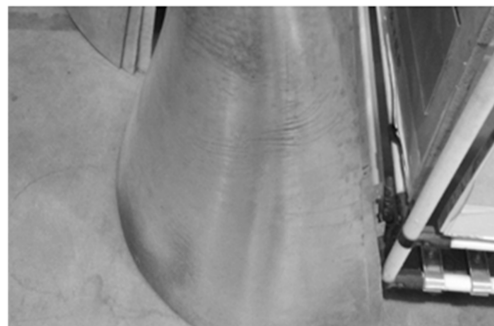


图 9 液压拉深零件
(a) 成形后 (b) 切边后
Fig. 9 Hydraulic deep drawing parts
(a) After forming (b) After trimming



(a)



(b)

图 10 液压拉深成形零件 (a) 和落压成形零件 (b) 外观对比
Fig. 10 Comparison of appearance between hydraulic deep drawing part (a) and drop forming part (b)

5 结论

(1) 与落压以及蒙拉相比, 压弯+液压拉深成形工艺可以更加灵活地布置尾椎上壁板半管蒙皮件成形过程中的变形量, 压弯阶段为液压拉深阶段留出合理的胀形变形量, 使零件均匀地达到塑性变形, 可以有效地减缓零件回弹和显著提高零件表面质量。

(2) 针对马鞍形脊线蒙皮, 双层板液压拉深成形工艺可以解放正式板料大头端的束缚, 补料更加自由, 解决了零件由于此处减薄过大从而导致破裂的问题。

(3) 2024 铝合金薄壁马鞍形尾椎上壁板半管蒙皮件可采用压弯+双层板液压拉深成形, 合理的辅助板料的屈服强度应大于 174 MPa, 生产中选用厚度为 1 mm 的 DC04 碳钢板, 最大液室压强为 15 MPa。

落压零件与液压拉深零件的外观和贴模度对比如图 10 所示。经检测, 落压零件的贴模度间隙最大为 0.7 mm 左右, 而液压拉深零件的贴模度间隙最大为 0.3 mm 左右, 零件装配无应力, 符合装配要求。

零件无起皱和破裂问题, 表面光洁无划痕。在零件表面取样进行硬度和电导率测试, 均符合行业以及客户的技术要求^[12]。车间实验结果与软件数值模拟情况基本吻合, 表明对 2024 铝合金马鞍形尾椎上壁板半管零件而言, 双层板压弯+液压拉深工艺稳定、高效。

目前, 尾椎上壁板零件在此工艺指导下在天锻航空科技有限公司车间稳定生产, 零件合格率为 90% 以上。零件的日产能达到 4 件, 成形效率也大大提高。尾椎上壁板零件的表面质量、成形效率以及批产稳定性均达到了工业生产要求。

参考文献:

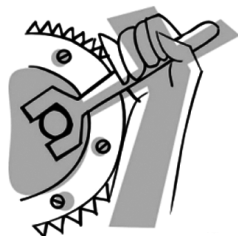
- [1] 关军. 大曲面盒形零件充液成形工艺研究 [J]. 机械设计, 2018, 35 (S1): 193-196.
Guan J. Study on filling forming technology of large curved box parts [J]. Journal of Machine Design, 2018, 35 (S1): 193-196.
- [2] 董浩. 5A06 铝合金双层板充液拉深变形规律研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
Dong H. Investigation on Hydro-forming of 5A06 Aluminum Alloy Double-layer Sheets [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2015.
- [3] 徐永超, 周斌军, 周久红. 不锈钢外板对 2219 铝合金拼焊板胀形性能的影响 [J]. 精密成形工程, 2016, 8 (5): 65-70.
Xu Y C, Zhou B J, Zhou J H. Effects of outside sheet on the bulging properties of inside 2219 aluminum FSW sheet [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2016, 8 (5): 65-70.

- [4] 孙志莹, 郎利辉, 孔德帅. 铝合金马鞍形件充液成形工艺模拟分析 [J]. 精密成形工程, 2015, 7 (1): 46-50, 65.
Sun Z Y, Lang L H, Kong D S. Simulation analysis of hydroforming process for aluminum alloy saddle parts [J]. Journal of Net-shape Forming Engineering, 2015, 7 (1): 46-50, 65.
- [5] 胡成武, 李光, 毛远征, 等. 圆筒形件的拉深变形与应力分析 [J]. 塑性工程学报, 2020, 27 (3): 130-136.
Hu C W, Li G, Mao Y Z, et al. Stress analysis and deformation of deep drawing for cylindrical part [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2020, 27 (3): 130-136.
- [6] 周久红. 2219 铝合金拼焊内层板的双板液压成形工艺研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
Zhou J H. Research on Hydroforming of Double Layered Sheet of Inner Tallow-welded Blank of 2219 Aluminum Alloy [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
- [7] 王朝鸣, 马江泽, 张建民, 等. 2024 铝合金长半管类零件充液成形技术研究 [J]. 机械设计, 2020, 37 (6): 82-86.
Wang C M, Ma J Z, Zhang J M, et al. Research on hydro-forming technology for long semi-pipe parts of 2024 aluminum alloy [J]. Journal of Machine Design, 2020, 37 (6): 82-86.
- [8] 吴娜, 刘超, 王晓迪. 小型汽车桥壳液压胀形加工方法的研究现状 [J]. 塑性工程学报, 2020, 27 (9): 12-19.
Wu N, Liu C, Wang X D. Research status on hydro-bulging processing method of small automobile axle-housing [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2020, 27 (9): 12-19.
- [9] 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].
- [10] 杨莎. 管材充液成形自动化生产线控制技术 [J]. 机械设计, 2018, 35 (S1): 362-365.
Yang S. Tubular hydroforming automatic production line control technology [J]. Journal of Machine Design, 2018, 35 (S1): 362-365.
- [11] 陈超, 秦登林, 赵升吨, 等. 1600 kN 精压机工作机构的力学分析 [J]. 塑性工程学报, 2021, 28 (5): 53-61.
Chen C, Qin D L, Zhao S D, et al. Mechanical analysis of working mechanisms of 1600 kN precision press [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2021, 28 (5): 53-61.
- [12] 刘佳琪, 陈学文, 皇涛, 等. 2A12 铝合金临界损伤值测定及试验验证 [J]. 塑性工程学报, 2020, 27 (1): 131-137.
Liu J Q, Chen X W, Huang T, et al. Measurement and experimental validation of critical damage value for 2A12 aluminum alloy [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2020, 27 (1): 131-137.

《电加工与模具》征订启事

《电加工与模具》是我国特种加工和模具制造领域国内外公开发行的专业性技术刊物, 以促进特种加工和模具制造领域科研、生产、教学的发展, 推动行业的技术进步, 提高广大读者的理论和业务水平为宗旨。

《电加工与模具》主要报道内容为: 特种加工 (包括电火花加工、电化学/电解加工、超声加工、激光与高能束流加工、增材制造) 和模具制造领域的设计研究成果、工艺应用技术、使用维修经验、产品开发信息和行业发展动态。



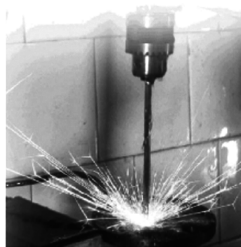
本刊信息广泛丰富、内容先进实用、文字准确清晰、广告真实可靠、装帧美观大方, 是广大读者的忠实朋友, 是专家学者交流学术成果的园地, 是科技人员展示新技术、新工艺的舞台, 是企业宣传产品、拓展市场、提高知名度的窗口。

欢迎特种加工和模具行业的广大科技人员、管理干部、技术工人和院校师生订阅, 欢迎广大作者赐稿, 欢迎企事业单位刊登广告。

全国各地邮局均可订阅, 也可直接向编辑部订阅。每期定价10元, 全年60元。

编辑部地址: 江苏省苏州高新区金山路180号 邮编: 215011

电话: 0512-67274541 <http://www.djgu.cbpt.cnki.net> E-mail: djgymj66@163.com



邮发代号: 28-36

双月刊 1966年创刊

中国标准连续出版物号

ISSN 1009-279X

CN 32-1589/TH

- ☆ 中国科技论文统计源期刊
- ☆ 中国科学引文数据库来源期刊
- ☆ 中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊
- ☆ 中国核心期刊 (遴选) 数据库收录期刊
- ☆ 中国期刊全文数据库、中国学术期 (光盘版)、中国知网、万方数据、维普网全文收录期刊