

尾翼架模锻成形工艺优化分析

王珊, 郭为民, 贺锐, 兰志强

(晋西工业集团有限责任公司, 太原 030027)

摘要: **目的** 对尾翼架生产试验过程中出现的问题进行总结分析, 确定最优工艺。**方法** 试验所用材料为 2A12 硬铝合金, 使用 VPA1250 模锻压力机成形, 成形过程中, 铝合金料温为 430 ℃, 成形速度为 15 mm/s, 使用水基石墨和石墨煤油 2 种润滑剂进行对比。**结果** 产品试制过程中发现, 尾翼架底部未能完全填充, 对顶板进行改造后改善。工件成形中偏心倾斜导致壁厚超差, 模垫淬火后, 壁厚差超差情况有所改善。**结论** 对于薄壁零件, 壁厚尺寸较难控制, 影响壁厚差的主要因素包括模具同轴度、压力机精度、坯料质量、润滑等方面。可从金属流动的角度进一步分析工件壁厚差过大的影响因素。

关键词: 铝合金; 尾翼架; 模锻; 壁厚差; 金属流动

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2017.04.011

中图分类号: TG386.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2017)04-0064-05

Optimization of Die Forging Forming Process of Tail

WANG Shan, GUO Wei-min, HE Rui, LAN Zhi-qiang

(Jinxi Industry Group Co., Ltd., Taiyuan 030027, China)

ABSTRACT: The paper aims to confirm the optimum process by summarizing and analyzing problems in trial production. Testing material 2A12 Aluminum Alloy was extruded by VPA1250 die forging press. The material temperature in shaping was 430 ℃ and the forming speed was 15 mm/s. Water-based graphite and graphite kerosene were compared. The tail bottom was not fully filled in the trial production. It was better after the roof panel was reconstructed. Eccentricity and incline in forming caused excessive wall thickness difference. The problem was solved by quenching the die cushion. The wall thickness of thin-walled parts is hard to be controlled. Main influencing factors of wall thickness include: coaxiality of die, precision of press, quality of blank, lubrication, etc. Influencing factors of excessive wall thickness difference of workpiece might be analyzed further from the aspect of metal flow.

KEY WORDS: aluminum alloy; empennage cylinder; forging; thickness difference; metal flow

随着国防科技的发展和未来战争的需要, 弹箭武器装备的轻量化成为发展的必然趋势^[1-2]。铝合金因其低密度、高强度以及良好的塑性成为了理想的结构材料, 广泛应用于航空航天、汽车等机械制造领域。某铝合金尾翼架是某弹箭的重要零部件, 目前采用的加工方法主要包括型材机加、精密铸造等^[3]。型材机加工工艺方便、简单, 但是材料利用率低、成本高。若零件外部形状较复杂, 加工过程中则会切断原有的金

属流线, 使金属流线的完整性破坏, 强度降低、对零件的机械性能造成影响, 不能满足服役条件的要求。精密铸造可直接成形几何外形复杂的零件, 但导致零件内部晶粒粗大, 组织疏松, 可能存在砂眼、裂纹等缺陷, 使综合性能及机械强度也无法达到服役条件。针对该零件加工中存在的问题, 找到综合性能高、成本低、材料利用率高的新工艺尤为重要, 因此, 文中提出铝合金尾翼架的模锻工艺。模锻成形是指在外界

收稿日期: 2017-05-15

作者简介: 王珊 (1989—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为金属模锻成形。

压力下,金属在模腔内挤压产生塑性成形,从而获得成品的方法。该方法不仅材料利用率高、制作精度高,生产效率高、适合批量生产,同时也避免了内部缺陷等问题,使工件有良好的服役条件^[3-4]。成形过程中合理挤压温度、挤压速度和润滑条件等工艺参数的设置,可以有效提高工件综合力学性能^[5-6]。文中就模锻生产试验过程中出现的问题进行总结分析,确定最优工艺,获得最佳性能。

1 铝合金尾翼架成形工艺制定

尾翼架以 2A12 硬铝合金作为原材料。零件中心为通孔的圆柱筒体,筒体外壁有固定安装叶片所使用的 6 道筋条,尾翼架的横截面见图 1。

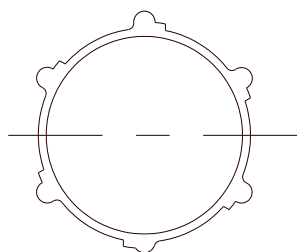


图 1 尾翼架截面

Fig.1 Section of empennage cylinder

1.1 模具整体结构介绍

使用 vpa1250 热模锻压力机进行铝合金尾翼架模锻成形。成形所需工装装配图见图 2,其中 3 为冲头,通过接杆 1 固定定位销定位在压力机滑块上,4 为模锻成形使用的凹模。凹模固定在模套内,模套通过定位螺栓固定在压力机底座上,凹模下部装有模垫 5。通过顶杆 6 完成模锻后顶料,使用退料插板 2 完成尾翼架退料。

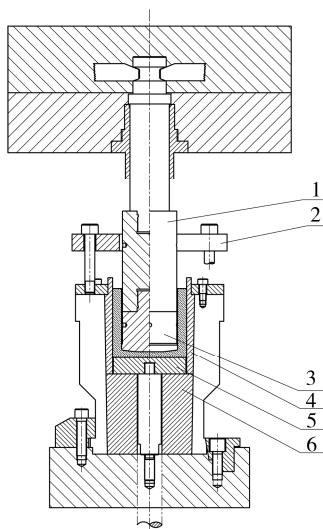


图 2 尾翼架工装装配图

Fig.2 Drawing of tooling assembly

1.2 成形温度

对于变形温度范围确定的原则:一般来说,合金材料的变形抗力随着挤压温度的升高而下降,挤压温度升高,材料塑性提高,有利于减小成形力,但过高的温度则易使金属坯料发生氧化,制品的表面质量下降,内部出现粗大晶粒,降低了制品综合力学性能^[7],而且过高温度会使冲头出现退火变形,降低冲头工作寿命^[8]。随着挤压温度升高,合金在挤压过程中更容易粘冲头。2A12 的过烧温度为 506 °C,成形温度范围为 400~450 °C^[9],综合上述因素,暂定成形温度为 430 °C。实际生产中根据工件表面质量等情况进行调整。

1.3 成形速度

在保证制品表面质量、不产生缺陷的前提下,成形速度越快越好。成形速度的提高可以缩短坯料变形时间,使金属更趋于均匀变形,减小材料变形抗力,降低挤压成形力^[10];但是,过快的变形速度使坯料和模具由于摩擦产生热效应,模具快速升温,增大成形力。同时,模具长期在此高温环境下工作,会降低其使用寿命^[11]。过快的成形速度导致工件的表面质量下降,金属变形不均匀出现缺陷。暂定挤压速度为 15 mm/s^[12],实际成形过程根据表面质量情况进行调整。

1.4 润滑剂

润滑剂的性能在成形中发挥重要的作用。反挤压成形过程中冲头和金属坯料之间强烈的相对移动产生摩擦力。摩擦力影响了金属的填充能力和成形力大小的同时,也影响冲头的磨损速度和升温速度^[13]。使用了水基石墨和石墨煤油进行试验。由于生产过程中润滑剂的涂抹为手动操作,因此均匀性较难保证。涂抹后不宜立刻成形,待润滑剂流动后形成润滑层方进行生产。

1.5 模具加热温度

生产前需对凹模和冲头进行加热,可以有效减小金属变形阻力,提高金属流动均匀性,从而获得几何外形及尺寸精确、组织性能良好的工件^[14]。模具加热温度不得小于 180 °C。

2 试验

原材料为 $\Phi 100 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}$ 的 2A12 铝合金棒料,含有质量分数为 3.8%~4.1% 的 Cu, 1.2%~1.6% 的 Mg, 1.2%~1.6% 的 Mn, 不大于 0.50% 的 Si, 不大于 0.50% 的 Fe, 不大于 0.30% 的 Zn, 不大于 0.15% 的 Ti, 不大于 0.10% 的 Ni, 余量为 Al。模锻成形工艺路线为:下料—加热—热挤压成形—后处理。

试验中所使用的设备有锯床, 车床, 热风循环加热电炉, vpa1250 压力机, 热电偶测温仪及超声波测厚仪。为了保证坯料在炉箱内均匀受热, 将电阻炉加热到预设温度, 然后将铝合金毛坯置于炉中加热架上, 坯料之间保持均匀的距离。加热时间从炉温升高的预设温度开始计算。试验确定成形温度为 430°C , 考虑温度损耗, 将坯料预热到 450°C , 保温 2 h。根据润滑剂不同, 确定 2 种不同试验方案, 其坯料温度均为 450°C , 成形速度均为 15 mm/s , 方案 1 的润滑剂采用水基石墨, 方案 2 的润滑剂采用石墨煤油。

3 结果与讨论

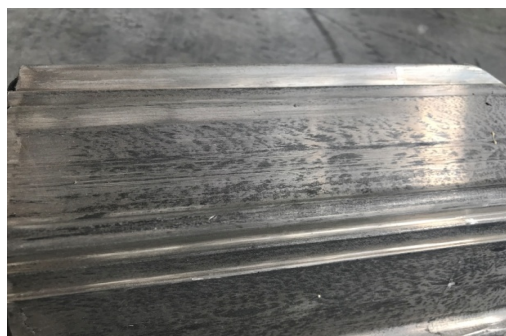
共计毛坯 20 件, 按照方案 1 挤压 2 件产品后发现, 制品无法成形, 筋条断裂现象严重, 剩余 18 件均使用方案 2 参数进行试验。试验中发现的问题主要有 3 类。

3.1 筋条断裂

使用 2 种不同的润滑剂进行试验, 获得工件见图 3。方案 1 的试验结果见图 3a, 该工件使用的是水基石墨润滑剂, 发现明显筋条断裂, 外表面质量较差; 方案 2 的试验结果见图 3b, 该工件使用的是石墨煤油作为润滑剂, 无筋条断裂, 外表面质量显著提高。由此可见, 对于铝合金而言, 水基石墨润滑剂的润滑能力明显劣于石墨煤油, 因此, 选择石墨煤油作为润滑剂。



a 方案 1



b 方案 2

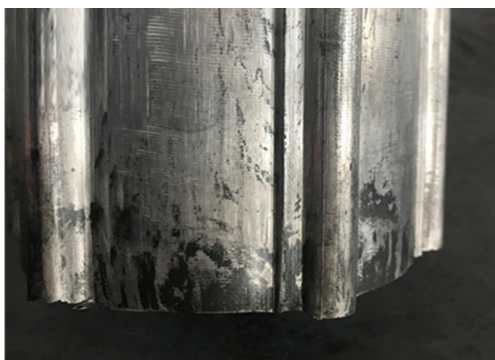
图 3 使用不同润滑剂后尾翼架筋条
Fig.3 Empennage cylinder fillets with different lubricants

3.2 底端缺陷

在某尾翼架底部发现底部未能完全填充, 尾翼架底部筋条见图 4。导致筋条底部未能完全填充主要是由于筋条底部型腔内缺乏金属空间, 再受侧壁变形抗力的影响, 使金属流动到筋底部所需的变形力急剧增大, 形成了金属流动死区。对顶板进行改造, 顶板上平面形成倒角, 为底部金属流动提供足够的空间, 同时减小了金属接触凹模筋腔内壁时增大的变形抗力, 改善了金属流动性。



a 顶板修改前



b 顶板修改后

图 4 尾翼架底部筋条
Fig.4 Empennage cylinder fillets

3.3 壁厚差超差原因

成形后工件壁厚情况是衡量尾翼架质量的主要指标之一。随机选取 3 件制品进行分析。尾翼架共 6 个面, 逆时针标记为 1—6。每个面测量 2 个点, A 点距离顶部 40 mm , B 点距离底部 40 mm 。同一高度相对面壁厚差值最大值即该产品壁厚差。工件 1 测量结果见图 5a。壁厚均匀情况下, A 面壁厚图和 B 面壁厚图应重合或相差较小。实际测量结果 A 面壁厚较均匀, B 平面上, 面 3 壁厚大于面 6 但壁厚相差较小, 壁厚差满足要求。工件 2 测量结果见图 5b, 可以发现, 工件 2 成形后倾斜, 表现为明显的偏心, 且随着挤压深度增加偏心更加明显。工件 3 测量结果见图 5c, 与工件 2 相似, 成形后倾斜, 但与工件 2 倾斜方向不同。

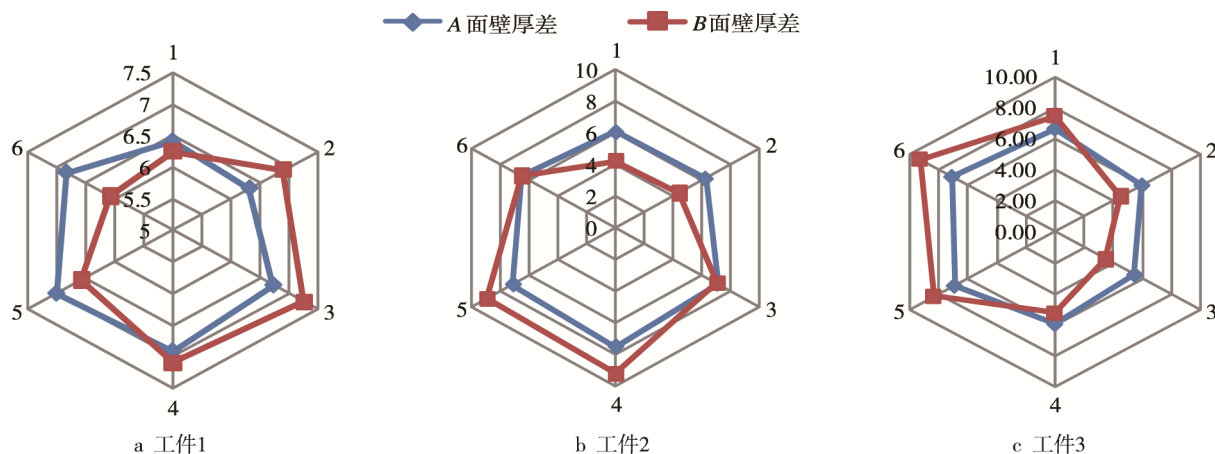


图5 壁厚测量结果
Fig.5 Measured thickness

3.3.1 模垫变形

根据工件2和工件3的壁厚差测量结果发现,工件口部壁厚差较小,底部壁厚差较大。倾斜表现出随机性。主要因为成形过程中凹模与冲头轴线错位,相对位置变化。具体原因是模垫硬度较低,在压力作用下会产生变形。观察到模垫上表面见图6所示的凹坑,靠近中心位置发生了严重变形。变形后的模垫上表面无法保证同一个平面,在受压状态下,凹模处于活动状态,无法保证与冲头运动方向垂直,导致壁厚超差。对模垫进行过热处理淬火后,尾翼架壁厚差明显减小。对于薄壁零件,壁厚尺寸较难控制,影响壁厚差的主要因素还包括压力机精度、坯料质量、润滑等方面。



图6 模垫受压后形貌
Fig.6 Die cushion after pressed

3.3.2 压力机精度

压力机影响因素是滑块与工作平台之间的垂直度应控制在前后 0.04~0.06 mm, 左右 0.03~0.05 mm, 滑块底部与工作台面的平行度应控制在 0.05~0.09 mm 之间。精度不够, 将造成模具不同心, 使零件壁厚超差^[15]。

3.3.3 坯料质量

若坯料直径过小, 在凹模中会出现一侧间隙大、一侧间隙小的现象, 甚至只贴在模具一侧, 坯料不居中, 产生不均匀的金属流动, 致使工件超差, 因此坯料的尺寸与凹模的间隙控制在 0.04 mm 之内^[16]。毛坯加热中温度不均, 温度较低的区域材料较硬, 温度较高的区域材料较软, 影响金属流动均匀性, 使冲头避硬就软, 因此, 毛坯对应面的温差应该越小越好, 最好不要超过 10 °C^[17]。

3.3.4 润滑的影响

润滑在深孔成行的过程中起着相当重要的作用。良好的润滑效果减小了冲头与工件之间的摩擦力, 减少变形过程中的变形阻力。若润滑不均匀, 导致毛坯变形过程中的阻力产生偏差, 金属不均匀流动, 造成壁厚超差。

4 结论

产品试制过程中发现, 在某尾翼架底部发现底部未能完全填充, 对顶板进行改造, 形成倒角后改善。使用 2 种不同的润滑剂进行试验, 使用石墨煤油润滑剂后制品表面质量明显提高, 润滑性能优于水基石墨润滑剂。有工件成形中偏心倾斜, 且随着挤压深度增加偏心更明显, 倾斜方向表现出随机性。分析原因是由于模垫硬度较低, 凹模处于活动状态, 导致壁厚超差, 模垫淬火后, 壁厚差超差情况有所改善。对于薄壁零件, 壁厚尺寸较难控制, 影响壁厚差的主要因素还包括压力机精度、坯料质量、润滑等方面。针对工件壁厚差过大原因的影响因素可以从金属流动的角度进一步的分析。

参考文献:

- [1] 张春雨. 铝合金筒体支架挤压成形技术研究[D]. 太原:

- 中北大学, 2012.
- ZHANG Chun-yu. Study on Forming of Extrusion for Aluminium Alloy Complex Cylinder Stents Technology [D]. Taiyuan: North University of China, 2012.
- [2] 王红宇, 张宝红, 张治民. 某复杂外形铝合金筒体挤压成形工艺[J]. 热加工工艺, 2011, 40(5): 128—129.
- WANG Hong-yu, ZHANG Bao-hong, ZHANG Zhi-min. Isothermal Extrusion Process for Alloy Special Shaped Cylinder[J]. Hot Working Technology, 2011, 40(5): 128—129.
- [3] 胡捷, 郭青苗, 李德富, 等. 大直径 5A02 铝合金薄壁管材生产工艺的研究[J]. 锻压技术, 2011, 36(1): 65—68.
- HU Jie, GUO Qing-miao, LI De-fu, et al. Research on Production Process of 5A02 Aluminum Alloy Pipe with Large Diameter and Thin-wall[J]. Forging & Stamping Technology, 2011, 36(1): 65—68.
- [4] 李落星, 周佳, 张辉. 车身用铝、镁合金先进挤压成形技术及应用[J]. 机械工程学报, 2012, 48(18): 35—43.
- LI Luo-xing, ZHOU Jia, ZHANG Hui. Advanced Extrusion Technology and Application of Aluminium, Magnesium Alloy for Vehicle Body[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(18): 35—43.
- [5] 刘静安, 谢永生. 铝合金材料的应用与技术开发[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004.
- LIU Jing-an, XIE Yong-sheng. Application and Technology Development of Aluminum Alloy Materials[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2004.
- [6] AVALLE M, BELINGARDI G, CAVATORTA M P. Casting Defects and Fatigue Strength of a Die Cast Aluminium Alloy: a Comparison Between Standard Specimens and Production Components[J]. International Journal of Fatigue, 2002, 24(1): 1—9.
- [7] 薛卫东, 张瑞明. 新型铝合金展望[J]. 机械工程与自动化, 2004(4): 90—91.
- XUE Wei-dong, ZHANG Rui-ming. Prospects for New Type Aluminum Alloy[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2004(4): 90—91.
- [8] 刘健. 铝合金叶片挤压工艺及模具设计[J]. 热加工工艺, 2009, 38(19): 105—107.
- LIU Jian. Extrusion Process and Moulds Design for Aluminum Alloy Fins[J]. Hot Working Technology, 2009, 38(19): 105—107.
- [9] 轻金属材料加工手册编写组. 轻金属材料加工手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1980.
- Compiling Group of Processing Manual of Light Metal Materials. Processing Manual of Light Metal Materials[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1980.
- [10] 贾佳佳. 镁合金扇形壳体成形工艺研究[D]. 太原: 中北大学, 2010.
- JIA Jia-jia. Research on Shaping Process of Magnesium Alloy Sector Shell[D]. Taiyuan: North University of China University, 2010.
- [11] 秦高科. 铝合金壳体异形件温挤压成形工艺优化[D]. 太原: 中北大学, 2009.
- QIN Gao-ke. Optimization of Warm Extrusion Forming Process for Shaped Parts of Aluminum Alloy Shell [D]. Taiyuan: North University of China University, 2009.
- [12] 郎利辉, 蔡高参, 刘康宁, 等. 铝合金典型件热介质成形工艺的数值模拟[J]. 锻压技术, 2011, 36(6): 129—132.
- LANG Li-hui, CAI Gao-shen, LIU Kang-ning, et al. Numerical Simulation Analysis of Warm Hydro-forming Process for Special Aluminum Alloy Part[J]. Forging & Stamping Technology, 2011, 36(6): 129—132.
- [13] PERTENCE A E M, CETLIN P R. Analysis of a New Model Material for the Physical Simulation of Metal Forming[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1998, 84(1/2/3): 261—267.
- [14] 曹安斋. 铝合金内腔带筋筒形挤压件成形工艺分析与试验研究[D]. 太原: 中北大学, 2008.
- CAO An-zhai. Analysis Test and Research on Forming Process of Extruded Aluminum Alloy Cylinder Parts with Internal Ribs[D]. Taiyuan: North University of China, 2008.
- [15] 刘红臣, 王秋菊. 冲压薄壁零件壁厚超差问题简析[J]. 科苑论坛, 2004(6): 243—243.
- LIU Hong-chen, WANG Qing-ju. Brief Analysis of Wall-thickness Overproof of Punching Thin-wall Parts[J]. Keyuan Forum, 2004(6): 243—243.
- [16] 樊刚. 热挤压模具设计与制造基础[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2001.
- FAN Gang. Design and Manufacturing Basis for Hot Extrusion Moulds[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2001.
- [17] 董新国, 孙金良. 冲压薄壁零件壁厚超差及控制[J]. 机械工人, 2005(2): 71—79.
- DONG Xin-guo, SUN Jin-liang. Wall Thickness Overproof and Control of Punching Thin-wall Parts[J]. Mechanist, 2005(2): 71—79.