

铝合金翼座热塑性挤压成形模拟分析

许小云¹, 王云鹏¹, 胡嘉玮¹, 申小平¹, 张振兴¹, 刘道坤²,
蒋洪章², 王晓勇², 任建荣³, 颜银标¹

(1. 南京理工大学 材料科学与工程学院, 南京 210094;

2. 国营第一二一厂, 黑龙江 牡丹江 157000; 3. 沈阳工业集团有限公司, 沈阳 110045)

摘要: **目的** 采用热塑性挤压法进行近净成形, 以克服铝合金切削法工序多、加工余量大、材料利用率低的缺点。**方法** 利用 Deform-3D 软件对翼座热塑性成形过程进行数值模拟, 分析比较了单向挤压、双向挤压过程的特点、成形效果及所需加载载荷大小。**结果** 在模拟过程中, 单向挤压方案与双向挤压方案均出现了挤压缺陷, 通过增加压余厚度成功解决了双向挤压方案的挤压缺陷, 且双向挤压所需最大载荷要小于单向挤压。**结论** 双向挤压方案要优于单向挤压方案。对双向挤压方案进行试验试制, 获得了健全的铝合金翼座, 为零件大批量生产提供了有力支持。

关键词: Deform-3D; 有限元模拟; 挤压成形; 铝合金

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2018.04.013

中图分类号: TG376.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2018)04-0085-05

Thermoplastic Extrusion Forming Simulation of Aluminium Alloy Wing Seat

XU Xiao-yun¹, WANG Yun-peng¹, HU Jia-wei¹, SHEN Xiao-ping¹, ZHANG Zhen-xing¹,
LIU Dao-kun², JIANG Hong-zhang², WANG Xiao-yong², REN Jian-rong³, YAN Yin-biao¹

(1. School of Material Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2. State-owned No.121 Factory, Mudanjiang 157000, China; 3. Shenyang Industrial Group Co., Ltd., Shenyang 110045, China)

ABSTRACT: The paper aims to achieve near-net forming through thermoplastic extrusion to overcome the disadvantages of the cutting method for aluminum alloy such as many processes, large working allowance and low stock utilization. The Deform-3D software was used to numerically simulate the thermoplastic forming process of the wing seat. Characteristics of the unidirectional extrusion and biaxial extrusion process, the forming effect and the required loading load were analyzed and compared. In the simulation process, extrusion defects occurred in both the one-way extrusion scheme and the two-way extrusion scheme. The extrusion defect of the two-way extrusion scheme was successfully solved by increasing the thickness of the excess pressure. The maximum load required for the two-way extrusion was also less than one-way extrusion. The two-way extrusion scheme is superior to the one-way extrusion scheme. The pilot trial of a two-way extrusion program results in a sound aluminum alloy wing seat, which provides strong support for mass production of parts.

KEY WORDS: Deform-3D; FEM; extrusion forming; aluminum alloy

铝合金具有易成形、比强度高、耐蚀性强、导电导热性能好等优点, 可通过挤压制成各种形状的

收稿日期: 2018-04-20

基金项目: 国家部委基金 (C182100C001)

作者简介: 许小云 (1995—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为有色金属塑性成形。

通讯作者: 申小平 (1963—), 女, 高级工程师, 主要研究方向为粉末冶金新产品研究开发及模具设计。

材料用于各行各业^[1-4]。翼座有着较高的力学性能要求,其结构复杂,外形有细长沟槽,且底部有众多翼片,整体壁厚不均匀。采用切削法加工零件势必会破坏金属流线的连续性,从而降低了零件的力学性能,并且传统的机械加工成本高,资源浪费严重,生产效率低^[5]。若采用铸造法成形,零件的性能难以满足使用要求。

针对以上问题及 2A12 铝合金塑性好的特点,提出用近净挤压成形技术来替代传统的切削加工方法^[6]。与传统的机械加工相比,通过挤压成形得到的零件,其金属流线 with 零件外形轮廓相一致,有较好的机械性能,而且节约材料,提高了材料的利用率^[7]。文中通过 Deform-3D 软件对整个变形过程进行数值模拟,对单向挤压、双向挤压的成形结果、挤压过程的行程-载荷曲线进行了比较分析^[8],探讨近净挤压成形的可行性,避免了实际试验所造成的浪费。

1 模型的建立及模拟前处理

1.1 模型的建立

翼座零件示意图见图 1。该零件结构形状复杂、壁厚较薄,最薄处的壁厚只有 2 mm,故挤压时对金属流动的影响极大,因此成形所需挤压力和摩擦力会很大。翼座外壁有 8 个细长沟槽,尾端有 16 个翼片,这些结构使其在挤压时充模困难。由于此零件两端直径大于中间部分,为了方便挤压件的取模,将凹模设计成分瓣式。从图 1 可以看出,在翼座下部有一细长深孔,故模具上需要一个细长芯棒,但在挤压时很容易损坏,这对模具的要求非常高,因此决定先挤压成无空腔的挤压件,再通过机加工得到深孔。

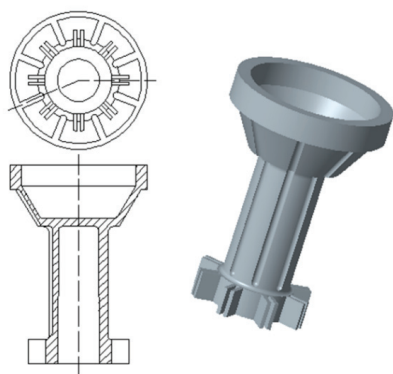
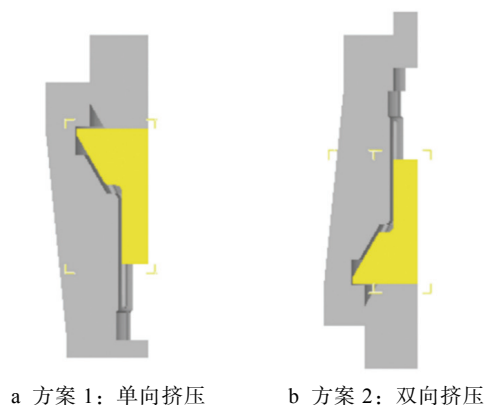


图 1 翼座零件
Fig.1 Parts of wing seat

根据其形状设计了两种挤压方案。方案 1 为单向挤压,只有一个凸模,方案 2 为双向挤压,有上下两个凸模。通过 Pro/E 软件建立模具和坯料的模型保存成 STL 格式,并导入到 Deform-3D 软件中^[9-10]。为减少划分网格的数量,选取工件的 1/8 进行模拟^[11]。

两种方案的挤压模具结构示意图见图 2。



a 方案 1: 单向挤压 b 方案 2: 双向挤压

图 2 模拟挤压模具结构

Fig.2 Structure of simulation extrusion die

1.2 模拟前处理

将模型导入 Deform 前处理模块中,不考虑热量的传递,设定成形温度为 450 °C,摩擦因数为 0.2,加载速度设为 5 mm/s,给坯料划分网格,划分网格数量为 5000,步长设置为 0.05 mm,对工件 1/8 进行模拟,此外应给坯料及模具设定对称性条件^[12]。

2 模拟结果与分析

2.1 成形结果比较分析

单向挤压金属流动速度矢量见图 3。当变形到 410 步即行程为 20.5 mm 时,坯料的下端开始接触到下模板,随着加载的继续进行,多余的坯料受压开始向底部的翼片模腔流动,产生径向挤压。变形到 480 步行程为 24 mm 时,出现了折叠这个严重的挤压缺陷。其形成原因如下:由于翼座外壁有细长沟槽,在变形过程中,用于形成沟槽的凹模模腔比底部翼片模腔先行充满,随着凸模的持续加载,变形继续进行,用于形成翼片的坯料外壁已经形成了沟槽。继续加载变形时,沟槽两侧坯料会挤向沟槽形成了折叠^[13]。

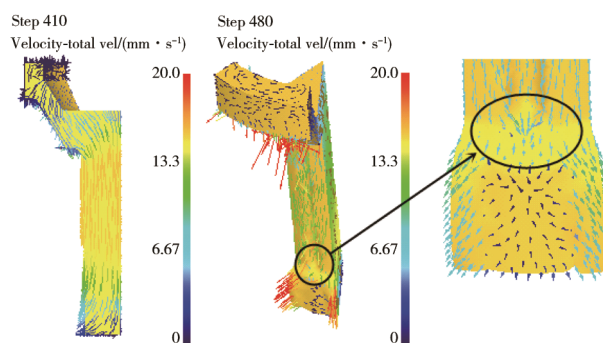


图 3 单向挤压金属流动速度矢量

Fig.3 Velocity vector of one-way extrusion metal flow

折叠是潜在的微裂纹,是严重的挤压缺陷,有这种缺陷的产品在使用时会产生应力集中,使裂纹进一步扩张,从而严重影响产品的质量^[14]。采用单向挤压方案时,由于零件结构复杂,由一端向另一端挤压成形时,会出现折叠缺陷。对于双向挤压方案,翼座底部翼片的成形是由上凸模挤压完成的,而上凸模挤压的这部分坯料是没有沟槽产生的,故双向挤压中不会出现因沟槽挤出而形成折叠的问题。

2.2 挤压力比较分析

单向挤压、双向挤压模拟时挤压载荷随行程的变化曲线见图4。可知前12 mm的行程两方案的曲线几乎一致。在行程5~12 mm间载荷增加平缓,这是由于坯料的再结晶软化和加工硬化速度相当,变形抗力趋向稳定。当行程达到12 mm后,坯料向模腔中部涌入,阻力较大,两方案载荷曲线又有了明显上升,且双向挤压明显比单向挤压增加得快。这是由于两方案进入中部模腔的方式不同,双向挤压的挤压方式为反挤压,而单向挤压为正挤压,相同情况下反挤压所需要的力大于正挤压。

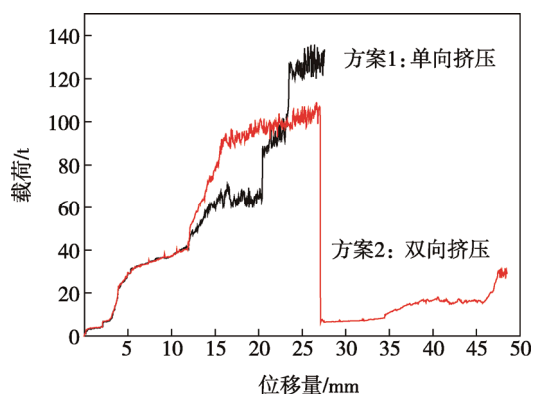


图4 挤压载荷随变形位移的变化曲线
Fig.4 Change curve of extrusion load with the displacement

单向挤压在行程为20.5 mm时,由于坯料开始与下模板相接触,载荷再一次增加,在行程为24 mm时坯料进入底部翼片模腔部分,载荷又再一次增加。而双向挤压在第二部分翼片的成形所需的载荷非常小,由上凸模挤压完成,只需对少量坯料变形,摩擦力与变形抗力都比较小。单向挤压所需的最大载荷约为130 t,而双向挤压所需最大载荷为110 t,从所需载荷看,双向挤压也要优于单向挤压。

2.3 中心缩尾及解决方案

2.3.1 中心缩尾的形成

在最初使用双向挤压模拟计算时,在下凸模挤压完成后,在其正上方出现了中心缩尾缺陷,这将

严重影响零件的性能。双向挤压方案挤压时速度大小分布见图5。由图5a—c可知,由径向变形而来的坯料随着加载的进行,逐渐变成沿竖直方向运动,从而影响到 P_1 点附近坯料的运动。随着加载的继续进行,下凸模附近坯料的径向流动速度变得越来越大,影响到 P_1 点附近的坯料,使其逐渐形成竖直向上的速度,产生如图5d所示的变形。模拟过程中 P_1 点坯料的运动速度变化曲线见图6,可以看出,在520步之前, P_1 处坯料的速度为0,没有发生变化,而在520步后, P_1 点速度明显增大,由此逐渐产生了中心缩尾。

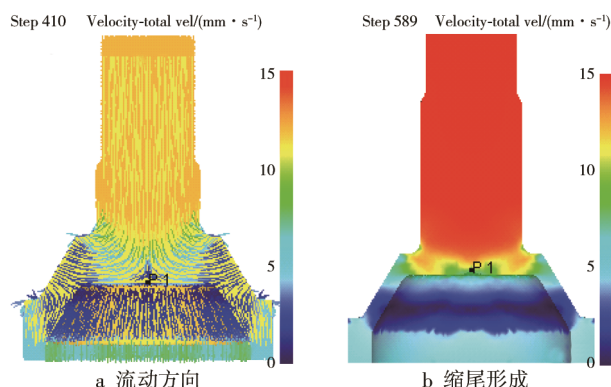


图5 挤压过程中速度分布
Fig.5 Speed profile during extrusion

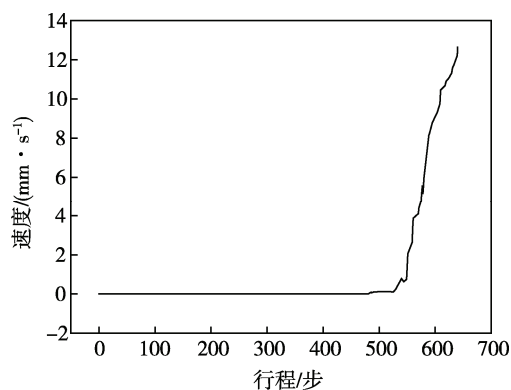


图6 P_1 点坯料速度变化曲线
Fig.6 P_1 point blank speed curve

2.3.2 中心缩尾解决方案

在后续的模拟分析中发现,压余厚度直接影响中心缩尾的程度,选择在缩尾的上方增加一定量的压余厚度,变形结束后再通过机械的方法去除,为了避免浪费材料,选择合适的压余厚度尤为重要。压余厚度对中心缩尾的影响程度见图7,其中 Δt 为所增加的压余厚度, L 为缩尾的深度。从图7可以看出,随着压余厚度的增加,缩尾深度也随之减少,当压余厚度为5 mm时中心缩尾消失。

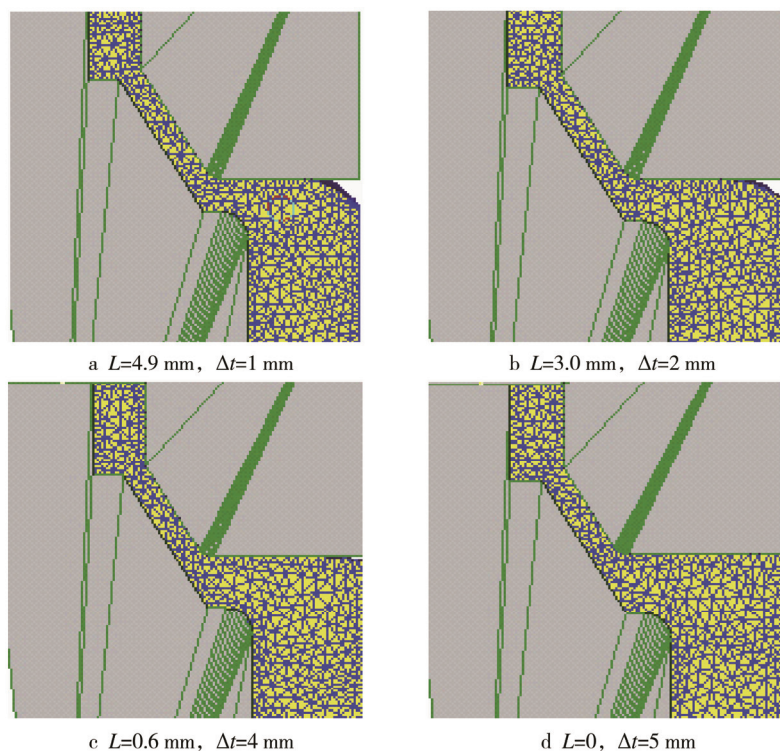


图7 所增加压余厚度对中心缩尾的影响

Fig.7 Effect of increased residual thickness on center shrinkage

3 成形试验

采用双向挤压方案对 2A12 铝合金翼座进行试验试制, 选择 4Cr5MoSiV1 热作模具钢作为模具的材料^[15], 由于双向挤压的最大载荷为 110 t, 故选用 160 t 的液压机进行试制。最终制得的挤压件见图 8, 可以看出, 所制零件整体光洁, 底部翼片及沟槽充型饱满, 证明了双向挤压方案的可行性。



图8 试制的翼座零件

Fig.8 Trial-experimental of wing seat

4 结论

1) 翼座零件的结构形状复杂, 分析了传统工艺加工此零件的缺点, 提出了挤压成形的方案替代传统加工工艺, 并设计了单向挤压、双向挤压两种挤压方

案。

2) 模拟结果表明, 单向挤压方案在挤压后期出现了折叠缺陷, 而双向挤压方案则避免了此缺陷的产生, 且双向挤压所需最大载荷也要小于单向挤压; 虽然双向挤压后期出现了中心缩尾缺陷, 但通过增加压余厚度成功解决了此问题, 因此, 双向挤压方案要优于单向挤压方案。最终实际成形试验表明, 采用双向挤压可获得健全的铝合金翼座零件。

参考文献:

- [1] 席鹏翀. 7A04 铝合金轮毂挤压成形工艺与实验研究[D]. 太原: 中北大学, 2008.
XI Peng-chong. 7A04 Aluminum Alloy Wheel Extrusion Process and Experimental Research[D]. Taiyuan: North University of China, 2008.
- [2] 刘静安. 当代铝合金挤压新材料的发展特点及市场分析[J]. 资源再生, 2014(3): 19—22.
LIU Jing-an. Development Characteristics and Market Analysis of Contemporary Aluminum Alloy Extrusion Materials[J]. Resources Regeneration, 2014(3): 19—22.
- [3] 刘静安, 盛春磊. 铝及铝合金加工材料的研制与开发趋向[J]. 铝加工, 2005(4): 37—40.
LIU Jing-an, SHENG Chun-lei. Aluminum and Aluminum Alloy Processing Materials Research and Development Trends[J]. Aluminum Processing, 2005(4): 37—40.
- [4] 杜云嵩, 梅冬健, 孙鹏. 机械工程铝及铝合金的应用[J]. 科技创业家, 2012(20): 79—80.

- DU Yun-song, MEI Dong-jian, SUN Peng. Application of Mechanical Engineering Aluminum and Aluminum Alloy[J]. Science and Technology Entrepreneur, 2012(20): 79—80.
- [5] PAN J, CHEN W B, MENG B, et al. Numerical Simulation Analysis of Cold Extrusion Forming for Bevel Gear[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2012(4): 39—44.
- [6] 刘小旦, 李萍, 薛克敏. 精密塑性成形技术发展状况和趋势[C]// 华东六省一市塑性工程学术年会, 2005.
LIU Xiao-dan, LI Ping, XUE Ke-min. Precision Plastic Forming Technology Development and Trend[C]// East China Six Provinces and One City of Plastic Engineering Academic Annual Meeting, 2005.
- [7] SHETH D, DAS S, CHATTERJEE A, et al. Modeling of Closed-Die Forging for Estimating Forging Load[J]. Journal of the Institution of Engineers, 2017, 98(1): 1—9.
- [8] 郭肖肖, 付建华, 刘志奇, 等. 内花键轴热挤压成形的数值模拟分析[J]. 锻压装备与制造技术, 2016, 51(4): 105—109.
GUO Xiao-xiao, FU Jian-hua, LIU Zhi-qi, et al. Numerical Simulation of Hot Extrusion Forming of Internal Spline Shaft[J]. Forging Press and Manufacturing Technology, 2016, 51(4): 105—109.
- [9] 何巧. 石油管道阀体热锻变形机理和工艺优化的研究[D]. 重庆: 重庆理工大学, 2014.
HE Qiao. Research on Mechanism and Optimization of Hot Forging and Deformation of Oil Pipeline Valve Body [D]. China Polytechnic University, 2014.
- [10] 张博, 颜银标. 基于 DEFORM-3D 的铝合金支架挤压成形分析[J]. 热加工工艺, 2015, 44(7): 167—168.
- ZHANG Bo, YAN Yin-biao. Extrusion Analysis of Aluminum Alloy Brackets Based on DEFORM-3D[J]. Process Processing of Thermal Processes, 2015, 44(7): 167—168.
- [11] 陈锴, 颜银标, 徐跃, 等. 基于 Deform 的铝合金薄壁锥形件成形分析[J]. 精密成形工程, 2016, 8(1): 63—66.
CHEN Kai, YAN Yin-biao, XU Yue, et al. Deform-Based Analysis of Aluminum Alloy Thin-walled Conical Parts [J]. Precision Forming Engineering, 2016, 8(1): 63—66.
- [12] 胡建军. DEFORM-3D 塑性成形 CAE 应用教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 2011.
HU Jian-jun. DEFORM-3D Plastic Forming CAE Application Tutorial[M]. Beijing: Peking University Press, 2011.
- [13] 刘翠侠, 张治民, 李国俊, 等. 铝合金框体挤压件折叠缺陷改进方案的研究[J]. 热加工工艺, 2015, 44(7): 157—160.
LIU Cui-xia, ZHANG Zhi-min, LI Guo-jun, et al. An Improved Scheme of Folding Defect of Aluminum Alloy Frame Extrusion[J]. Processing of Hot Processes, 2015, 44(7): 157—160.
- [14] 姜春艳, 梁丽娟, 姜春雷, 等. 铝合金某种模锻件折叠缺陷产生原因及改进措施[J]. 铝加工, 2011(4): 30—32.
JIANG Chun-yan, LIANG Li-juan, JIANG Chun-lei, et al. Analysis on the Causes of Folding Defects in a Forging Die of Aluminum Alloy and the Improvement Measures [J]. Aluminum Processing, 2011(4): 30—32.
- [15] 彭建声. 模具设计与加工速查手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
PENG Jian-sheng. Mold Design and Processing Manual [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2012.