

## 工艺优化设计

# 基于Deform的铝合金薄壁锥形件成形分析

陈锴<sup>1</sup>, 颜银标<sup>1</sup>, 徐跃<sup>1</sup>, 张博<sup>1</sup>, 翟盛才<sup>2</sup>, 任金勇<sup>2</sup>, 刘峰<sup>2</sup>, 李静臣<sup>2</sup>

(1. 南京理工大学材料与工程学院, 南京 210094; 2. 黑龙江北方工具有限有限公司, 黑龙江牡丹江 157013)

**摘要:** **目的** 某锥形薄壁零件服役条件恶劣, 对其性能要求较高。针对其成形, 设计用热挤压的方法代替传统工艺, 提高零件使用性能和生产效率。**方法** 基于Deform-3D软件平台, 对挤压过程进行了数值模拟, 对不同方案的上模载荷-行程曲线和坯料等效应变分布进行了分析比较。**结果** 结果表明方案1成形效果更优。**结论** 最终经实验试制证明了方案切实可行, 为实际生产提供了理论指导。

**关键词:** Deform-3D; 有限元模拟; 铝合金; 挤压成形

**DOI:** 10.3969/j.issn.1674-6457.2016.01.012

**中图分类号:** TG376.2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-6457(2016)01-0063-04

## Analysis of Extrusion Forming of Aluminum Alloy Cone Component Based on Deform

CHEN Kai<sup>1</sup>, YAN Yin-biao<sup>1</sup>, XU Yue<sup>1</sup>, ZHANG Bo<sup>1</sup>, ZHAI Sheng-cai<sup>2</sup>, REN Jin-yong<sup>2</sup>, LIU Feng<sup>2</sup>,  
LI Jing-chen<sup>2</sup>

(1. School of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 2. Heilongjiang North Tool Co., Ltd., Mudanjiang 157013, China)

**ABSTRACT:** The property requirements of a cone component with thin wall and centrosymmetric structure are high because of poor working conditions. In order to improve usability and production efficiency, extrusion was designed to replace traditional forming process. The extrusion programs were simulated based on the Deform-3D software. Load-stroke curves of the top die and Effective strain distribution of the blank for two schemes were analyzed and compared. The conclusion is that the scheme 1 is better. At last, the extrusion program is feasible to form cone component by practicable production. The results provided theoretical guidance for practical production.

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

某薄壁零件要求轻量化且服役条件恶劣, 对其性能要求高。该零件传统的加工方法是简单的机械加工, 生产效率低, 破坏了金属表面的完整性和流畅性, 达不到使用要求; 并且这种加工方法材料利用率低, 不符合当代环保节能的要求, 造成了大量的浪费。

铝合金具有高比强度和耐蚀性、易成形、热稳定性与再生性好等优点, 因此采用2024硬质铝合金作为薄壁零件的材料<sup>[1-4]</sup>。结合铝合金塑形好的优点, 提出采用热挤压近净成形工艺来代替传统的加工方法<sup>[5-6]</sup>。挤压成形后内部的纤维组织会随着金属的流动方向而

收稿日期: 2015-11-20

基金项目: 国家部委基金资助项目(C182100C001)

作者简介: 陈锴(1991—), 男, 福建龙岩人, 硕士, 主要从事有色金属塑性成形研究。

通讯作者: 徐跃(1970—), 男, 辽宁沈阳人, 博士, 讲师, 主要研究方向为有色金属成形加工。

沿着零件外形分布,不会破坏材料的力学性能,并且节约资源,无污染<sup>[7]</sup>。

本文基于 Deform-3D 软件平台,对加压成形过程进行数值模拟<sup>[8]</sup>。通过分析上模载荷-行程曲线和坯料等效应变分布,比较两种成形方案的模拟结果。

## 1. 有限元模型的建立和模拟前处理

### 1.1 有限元模型的建立

薄壁锥形零件如图1所示。由零件形状结构可以看出,零件锥形部分壁较薄,成形时要将壁厚压至此厚度所需载荷比较大。在挤压过程中,由于锥状壁与上端接触部分内外高度不一致,且圆环厚度比主体锥形壁大,容易出现金属流动不均匀填不满、成形不完全的现象。

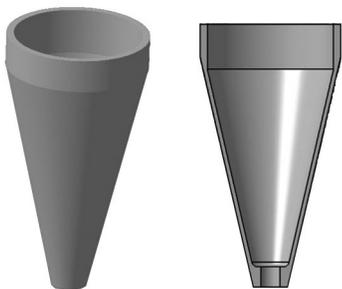


图1 薄壁零件示意图

Fig.1 Schematic diagram of cone component

在成形过程中,不同的坯料形状对工件应力应变分布情况和各方面使用性能有很大的影响<sup>[9]</sup>,因此根据成形件体积,确定两种坯料的方案。管状坯料内径半径 33 mm,外径半径 47 mm,高 78.2 mm;柱状坯料半径 47 mm,高 39.6 mm。通过 Catia 软件建立坯料和模具的几何模型,包括凸模、凹模和坯料。将建立的坯料和模具模型转换成 STL 文件,并导入 Deform 前处理模块<sup>[10-11]</sup>。为了减小运算量,选取模型的 1/6 为模拟对象。两种方案的最终建模效果图如图2所示,方案1为管状坯料,方案2为柱形坯料。

### 1.2 模拟前处理

将建立的几何模型导入 Deform 前处理模块,不考虑热传递,设定坯料和模具温度为 450 °C。上模具下压速度为 10 mm/s,摩擦因数为 0.2。对坯料进行网格划分,将最小单元尺寸设定为 0.9。由于选取模型的 1/6 进行模拟,所以在边界条件中要对坯料进行对称面设定,最后设定运算步数、步长、终止条件等软件运行

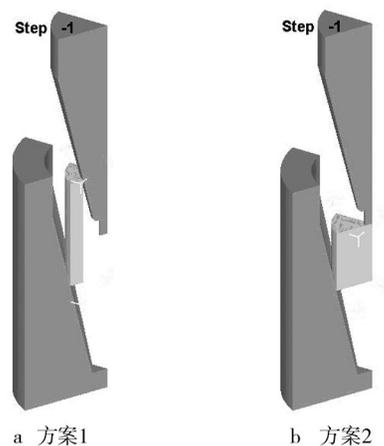


图2 挤压模具三维图

Fig.2 The three-dimensional drawing of Extrusion die parameters<sup>[12-13]</sup>。

## 2 模拟结果与分析

### 2.1 挤压力比较分析

图3为两种方案上模载荷随行程变化的曲线。从图3中可以看出,管状坯料挤压初始阶段的载荷明显小于柱状坯料,这是因为方案2坯料为实心柱体,上模前端挤入坯料中需要一定的力。随着上模的下行,坯料与上下模的接触面积不断增大,当增大到一定程度时,坯料金属的流动趋势在2个方向有了明显的分界线,此时载荷增大速度加快。当坯料与下模底部接触,此时金属开始大部分向上流动,底部空隙变小,因此载荷急剧增大并出现一定波动。最后当上端圆环开始成形时,载荷波动加剧,在挤压终了时载荷达到最大值。

管状坯料挤压初始阶段载荷较小,此时上端与上模接触的金属向外扩张,并与上模外表面逐渐接触,坯料厚度基本不变。随着上模下行,坯料与下模、上模表面逐渐互相贴合直至基本完全接触,此时继续下压,金属开始分别向上、向下流动,且由于受到挤压厚度开始减小,因此载荷迅速增大。随着挤压的进行,上端圆环部分首先开始成形,载荷出现波动。最后当金属运动到型腔底部,下端的空心圆台部分开始成形,直至载荷达到最大值。从图3中可以看出,柱状坯料最大载荷为 374 t,管状坯料为 324 t,管状坯料明显优于柱状坯料。

### 2.2 等效应变对比分析

图4为2种形状坯料挤压终了时的等效应变分布

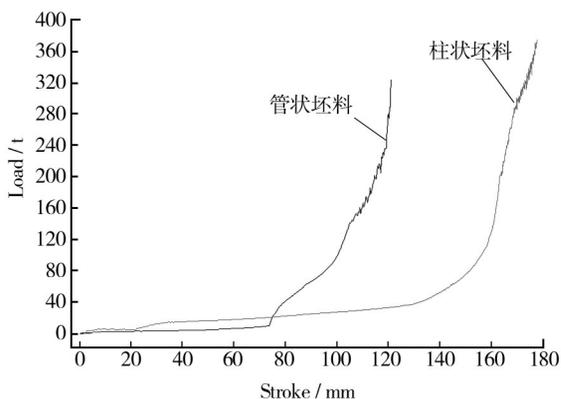


图3 上模载荷随行程的变化规律  
Fig.3 Curves of stroke-load of top die

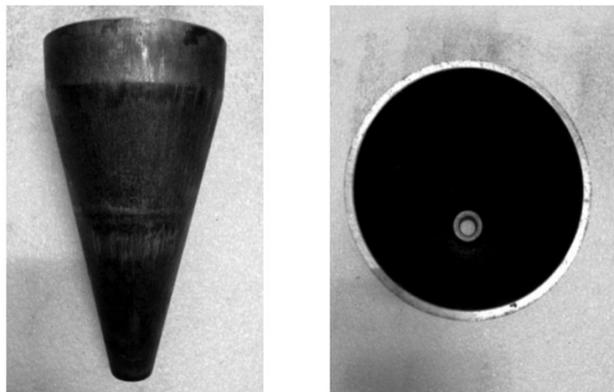


图5 试制的薄壁锥形零件  
Fig.5 The trial-experimental of cone component

图。可以看出在前端空心圆台、空心柱上部边缘以及下部的金属部分应变较大。由图4可知,采用管状坯料时,挤压件整体等效应变分布均匀且较小,最小值为0.8;上部的大部分金属不超过2,空心圆台空心柱的上部边缘部分应变值最大,为5左右。而采用柱状坯料整体等效应变较大,最小值为1.19;上部最小值为2,空心柱的上部边缘部分应变值最大,超过12。由此可知方案2的成形件各部分应变分布明显大于方案1,由柱状坯料挤压得到的成形件不但组织均匀性差,影响力学性能,更有可能产生各种加工缺陷,即方案1优于方案2<sup>[14]</sup>。

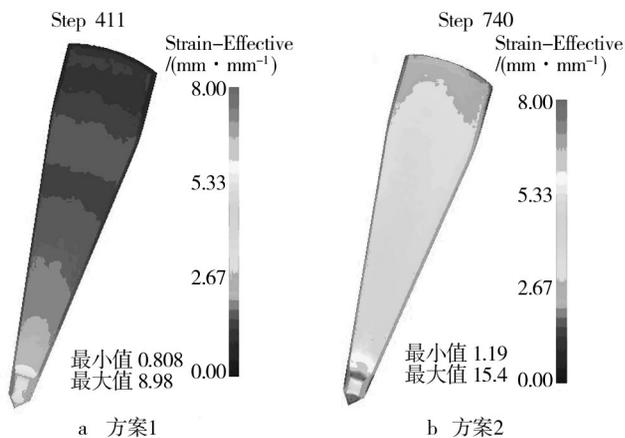


图4 挤压完成时工件的等效应变分布  
Fig.4 The distribution of effective strain of the component

### 3 制件试制

对2A12铝合金薄壁锥形零件进行试验试制,采用方案1的管状坯料,选择4Cr5MoSiV钢为模具材料<sup>[15]</sup>,在400 t的压机下进行试制。最终成形零件如图5所示,可以看出成形件经过后续的机加工后表面平整,形

状尺寸与模拟结果基本一致,证明了方案切实可行。

### 4 结论

1) 分析了传统工艺加工该薄壁锥形零件的缺点,提出了采用挤压成形的方案,分析其优点,设计了2种不同坯料的成形方案。

2) 利用Catia软件建立模型,通过Deform-3D软件平台,对两种方案进行了数值模拟计算,得到模拟结果并对其进行了分析比较。结果表明,采用方案1时,最大挤压载荷明显小于方案2;方案2在变形过程中的变形均匀性较方案2差,所得挤压件各部分的等效应变值相对于管状坯料都明显较大,影响了成形件性能。

3) 综合比较两种方案,方案1明显优于方案2,并通过制件试制验证了方案1的可行性。

#### 参考文献:

[1] 罗兵辉,柏振海. 高性能铝合金研究进展[J]. 兵器材料科学与工程,2002,20(5):59—62.  
LUO Bing-hui, BAI Zhen-hai. Development of High-performance Aluminum Alloys[J]. Ordnance Material Science and Engineering,2002,20(5):59—62.

[2] 潘复生,张丁非. 铝合金及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2006:57—59.  
PAN Fu-sheng, ZHANG Ding-fei. Aluminum Alloy and Its Application[M]. Beijing: Chemical Industry Press,2006:57—59.

[3] 刘静安. 铝合金挤压及其新材料的研发概况与应用前景[J]. 中国材料进展,2013(5):269—275.  
LIU Jing-an. Research Development and Application Prospects of New Aluminum Alloy Extruded-Materials[J]. Rare Metals Letters,2013(5):269—275.

- [4] DAVIS, JOSEPH R. Aluminum and Aluminum Alloys[M]. ASM International, 1993:3—18.
- [5] MA Yun-zhu, CAI Q S, LIU W S. Status of Near Net-Shape Technology of Powder Metallurgy[J]. Powder Metallurgy Industry, 2011.
- [6] COMINOTTI R, GENTILI E. Near Net Shape Technology: An Innovative Opportunity for the Automotive Industry[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2008, 24(6):722—727.
- [7] 李平, 陈丹圀. 铝合金车轮生产与性能[J]. 轻合金加工技术, 2012, 39(11):1—20.  
LI Ping, CHENG Dan-jian. Production and Performance of Aluminum Alloy Wheel[J]. Light Alloy Processing Technology, 2012, 39(11):1—20.
- [8] PANDIT M. Integrated Extruder Plant Automation with Learning Control[J]. Key Engineering Materials, 2010, 424:273—280.
- [9] 白彦超, 黄放. 基于 DEFORM 的某锻件数值模拟及毛坯优化[J]. 热加工工艺, 2012, 41(21):113—114.  
BAI Yan-chao, HUANG Fang. Numerical Simulation and Blank Optimization of Forging Based on DEFORM[J]. Hot Working Technology, 2012, 41(21):113—114.
- [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. Analysis of Extrusion Forming of Aluminum Alloy Bracket Based on DEFORM-3D[J]. Hot Working Technology, 2015, 44(7):167—168.
- [11] 李大乔. 7075 铝合金瞄准镜座热塑性成形数值模拟及成形工艺研究[D]. 南京:南京理工大学, 2014.  
LI Da-qiao. Numerical Simulation and The Forming Process Research for Thermoplastic Deformation of 7075 Aluminum Alloy Sight[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2014.
- [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. Numerical Simulation and the Plastic Forming Application Tutorial by DEFORM-3D[M]. Beijing: Peking University Press, 2011.
- [13] SATISHA G D, SINGHB N K, OHDARB R K. Pre-form Optimization of Pad Section of Front Axle Beam Using DEFORM[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 20(3):102—106.
- [14] 蒋晓英, 马力, 陈刚. 轴盖温挤压成形工艺及坯料结构优化数值模拟研究[J]. 热加工工艺, 2012, 41(5):87—88.  
JIANG Xiao-ying, MA Li, CHEN Gang. Numerical Simulation on Optimized Warm Extrusion Process of Shaft Cover and Billet Structure[J]. Hot Working Technology, 2012, 41(5):87—88.
- [15] OKAHARA H, OHARA M, TAKIGAWA Y, et al. Optimization of Die Material and Its Surface Coating for Press Forming Magnesium Alloy[J]. Materials Transactions, 2006, 47(4):954.

(上接第 53 页)

- LIU Lu, CHEN Jiang-hua, XIA Shen-lin, et al. Effect of Element V on Microstructure and Mechanical Properties of 2519 Alloy[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2014, 5(4):78—83.
- [12] 刘友良. V 含量对高铜 Al-Cu 合金组织和性能的影响[D]. 长沙:中南大学, 2006.  
LIU You-liang. Effect of V Content on the Microstructure and Properties of High Cu Al-Cu Alloy[D]. Changsha: Central South University, 2006.
- [13] DANIELE C, THOMAS H, MATTIA Me, et al. The Effect of Ni and V Trace Elements on the Mechanical Properties of A356 Aluminium Foundry Alloy in As-cast and T6 Heat Treated Conditions[J]. Materials Science & Engineering A, 2014, 610:414—426.
- [14] WANG Feng, LIU Zhi-lin, QIU Dong, et al. Revisiting the Role of Peritectics in Grain Refinement of Al Alloys[J]. Acta Materialia, 2013, 61:360—370.
- [15] 崔忠圻, 谭耀春. 金属学与热处理[M]. 北京:机械工业出版社, 2011.  
CUI Zhong-qi, TAN Yao-chun. Metal Science and Heat Treatment[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2011.