

大直径薄壁铝合金封头剪切旋压成形缺陷分析

陈建华, 马飞, 任顺奎, 李志远, 王秀鹏
(中国航天科技集团公司 长征机械厂, 成都 610100)

摘要: **目的** 掌握大直径薄壁铝合金封头剪切旋压成形过程中不贴模、局部隆起、局部减薄等缺陷的形成机理。**方法** 基于ABAQUS/Explicit软件平台,建立了大直径薄壁铝合金封头剪切旋压成形有限元数值模型,采用该模型研究了该成形过程中缺陷的形成机理。**结果** 发现局部卸载回弹是导致旋压不贴模的主要原因,且回弹越大,局部减薄越严重。**结论** 通过工艺参数的合理取值,可有效抑制缺陷的产生,在试验中获得合格的工艺样件。**关键词:** 大直径; 薄壁; 铝合金封头; 剪切旋压; 缺陷分析

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2016.02.014

中图分类号: TG376

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2016)02-0064-04

Defect Analysis of Shear Spinning of Aluminum Alloy Thin-walled Head with Large Diameter

CHEN Jian-hua, MA Fei, REN Shun-kui, LI Zhi-yuan, WANG Xiu-peng

(China Aerospace Science and Technology Corporation, Changzheng Machinery Factory, Chengdu 610100, China)

ABSTRACT: The aim of this study was to master the formation mechanism of defects such as non-stickness on the die, local bulge and local thinning in shear spinning of aluminum alloy thin-walled head with large diameter. A finite element model for shear spinning of aluminum alloy thin-walled head with large diameter was established based on ABAQUS/Explicit, and the formation mechanism of defects in shear spinning was analyzed using the model. The local discharge springback was the main cause for non-stickness on the die, and the defect of local thinning was more serious with greater springback. Through selection of the reasonable technological parameters, the defects were suppressed effectively and the qualified part was obtained in the spinning experiment.

KEY WORDS: large diameter; thin-walled; aluminum alloy head; shear spinning; defect analysis

采用旋压工艺制造薄壁容器封头,具有经济、快捷、灵活等特点,目前已成为封头加工的主要方法^[1]。旋压成形是多因素耦合作用下的复杂的连续局部加载成形过程,影响因素众多,包括材料、几何、工模具等。加之,用于大直径薄壁封头成形的毛坯直径大、相对厚度小,因此板料成形的难度也相应增加。在大直径薄壁封头旋压成形过程中,极易产生局部减薄甚至破裂、凸缘失稳起皱,导致旋压过程难以顺利进行、贴模性差和回弹大等缺陷,造成零件形状尺寸精度低,进而制约封头零件成形质量和成形极限的提高。

针对旋压缺陷,国内外相关学者开展了部分研究。张晋辉等人^[2-3]建立了变壁厚椭圆封头强力旋压的三维有限元模型,分析了旋轮进给比、旋轮圆角半径、旋轮安装角等参数对旋压件贴模性及圆度的影响规律;詹梅等人^[4-7]建立了多道次旋压模型,研究了锥形件旋压过程中应力、应变场及厚度的变化情况,采用有限元分析法获得了旋轮进给速率对锥形件旋压过程中旋压力及成形件质量的影响规律;缪伟亮等人^[8]采用试验的方法,研究了薄壁铝合金曲母线形零件旋压成形过程中,旋压间隙、旋轮进给比和旋轮圆角半径等关

收稿日期: 2015-11-24

作者简介: 陈建华(1987—),男,陕西宝鸡人,硕士,工程师,主要从事精确塑性成形及计算机建模仿真研究。

键参数对成形件质量的影响规律;曾向东^[9]采用理论分析与试验研究相结合的方法,研究了铌合金锥形件及曲母线形件旋压成形的可行性及关键控制点;白倩等人^[10]研究了带横向内筋薄壁壳体强力旋压的有限元建模方法;李文平等人^[11]建立了碟形封头冷旋压的三维有限元数学模型,分析了封头在冷旋压成形过程中应力应变的分布规律,计算了旋压力并分析了其变化的原因;张涛等人^[12]对碟形封头旋压成形过程进行三维数值模拟,分析了板坯收边时出现翘曲、弹复、起皱的起因及对成形性及尺寸控制的影响。以上研究对本文在有限元建模仿真及研究思路方面有一定的借鉴意义,但研究对象的直径相对较小。本文采用有限元数值模拟手段,模拟分析了直径为 $\Phi 2600$ mm,板坯厚度为12 mm的大直径薄壁铝合金封头剪切旋压成形过程,探明了该过程中不贴模、局部减薄、失稳起皱等缺陷的形成机理,研究结果可为调整相关影响因素,保证封头成形后的尺寸及形状,提高封头旋压成形质量,提供相关依据。

1 大直径薄壁铝合金封头剪切旋压有限元建模

铝合金封头剪切旋压是封头的主要成形工艺:平板或预成形毛坯通过尾顶同心地固定在芯模的端面上,并随主轴一起旋转,旋轮沿芯模曲母线方向以一定轨迹进给运动,使材料逐点变形,成形为所需的工件。根据这一工艺特点,基于ABAQUS有限元仿真软件,建立了大直径薄壁铝合金封头剪切旋压有限元模型,如图1所示。本模型中采用tie方式将坯料与芯模固定在一起,实现坯料和芯模的完全同速转动,从而避免了尾顶的建模工作。模型中的坯料采用四边形减缩积分壳单元S4R进行离散。旋压间隙根据正弦规律进行设置,旋压轨迹如图2所示。

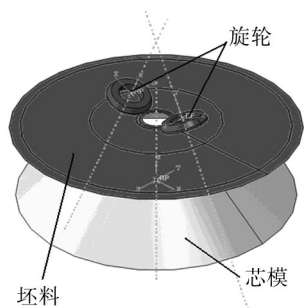


图1 大直径薄壁铝合金封头剪切旋压有限元模型
Fig.1 FE model of shear spinning of aluminum alloy thin-walled head with large diameter

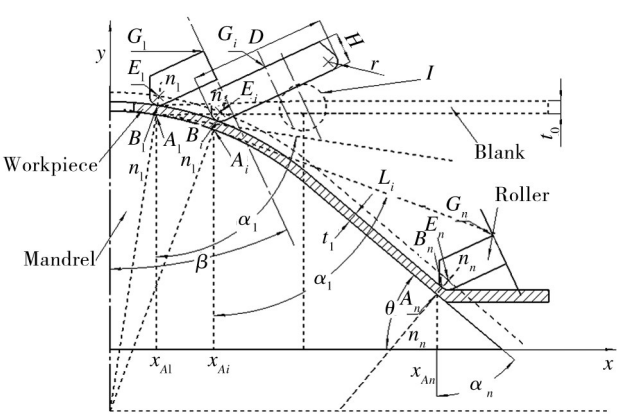


图2 大直径薄壁铝合金封头剪切旋压轨迹示意图
Fig.2 Spinning path diagram of aluminum alloy thin-walled head with large diameter

坯料材料为2219铝合金,通过拉伸试验确定其真实应力-应变关系,如图3所示。材料参数:弹性模量为75.311 GPa,泊松比为0.3,抗拉强度为157.912 MPa,硬化指数为0.1536。模拟工艺参数如下:板坯直径为2600 mm,板坯壁厚为12 mm,旋轮直径为440 mm,旋轮圆角半径为15°,旋轮厚度为80 mm,旋轮安装角为25°,芯模转速为100 r/min,旋轮进给比为1.2 mm/r。

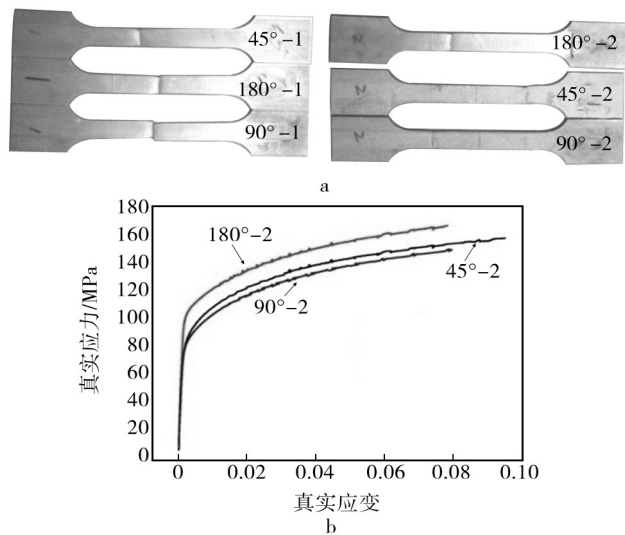


图3 2219铝合金拉伸实验数据
Fig.3 The tensile data of 2219 aluminum alloy

2 结果与讨论

2.1 不贴模

通过模拟分析发现,大直径薄壁封头旋压过程中易出现不贴模缺陷,如图4所示。这是因为该过程中存在较大的弹性变形,卸载后的弹性回复就会产生不

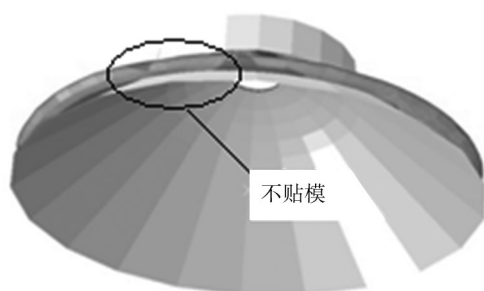


图4 旋压不贴模

Fig.4 Non-stickiness in spinning

同程度的回弹,工艺参数不合理时会加剧回弹和不贴模。过量的不贴模便会导致旋压封头的形状尺寸不符合要求,产生隆起,如图5所示。

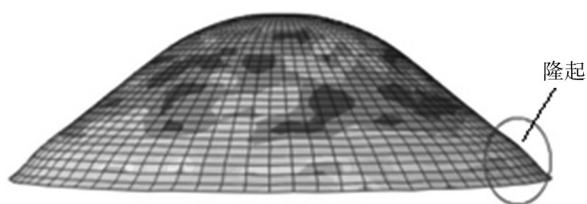


图5 旋压隆起

Fig.5 Local bulge in spinning

2.2 局部减薄

通过模拟分析发现,大直径薄壁封头旋压过程中工件易出现局部减薄缺陷,如图6所示。这是因为旋压过程中材料的变形量逐渐增大,回弹严重,同时凸缘越来越小,对已成形部分的约束作用越来越小,就会导致已成形区的变形不均,旋轮与芯模实际间隙变大,使得接触区受到剪切与拉伸的复合作用,进一步导致已成形区受到附加的拉伸变形。若拉伸应力超过材料成形极限导致母线方向上的厚度变薄,工件因失稳产生破坏,或导致局部变薄。



图6 旋压壁厚分布

Fig.6 The wall thickness distribution in spinning

2.3 失稳起皱

通过模拟分析发现,大直径薄壁封头旋压过程中

板坯易出现失稳起皱缺陷,如图7所示。这是因为变形失稳前,凸缘处于无扭矩应力状态,如果工艺参数选取不合理使变形偏离正弦率或者壁厚变形不均时,凸缘周围的金属纤维伸长,引起附件的圆周应力,出现有扭矩应力应变,就会产生第一个波形,接下来就会出现等分的波形,即起皱。

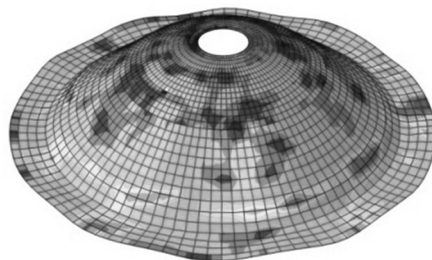
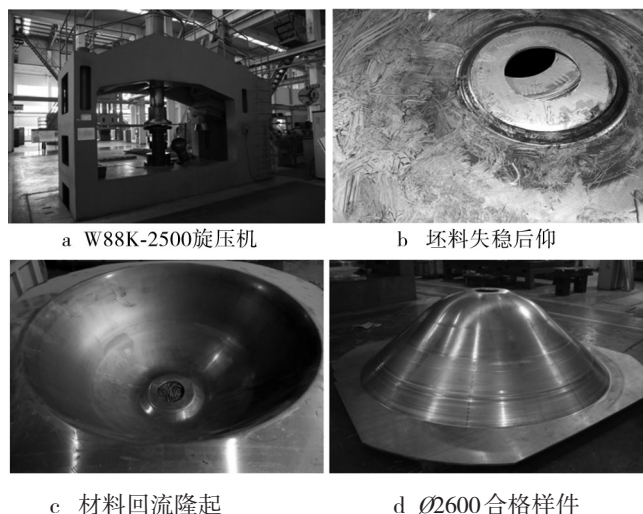


图7 旋压失稳起皱

Fig.7 Instability wrinkling in spinning

3 工艺试验验证

在上述研究的基础上,借助工厂W88K-2500数控旋压设备,进行了 $\Phi 2600$ mm铝合金封头剪切旋压工艺试验。试验初期,由于旋压间隙及工艺参数选取不合理,相继出现了坯料失稳后仰严重,与旋轮发生干涉,材料回流隆起等成形缺陷,通过工艺参数的反复优化,最终确定了一组工艺参数:旋轮直径为440 mm,旋轮圆角半径为 12° ,旋轮厚度为80 mm,旋轮安装角为 25° ,芯模转速为40 r/min,旋轮进给比为0.4~1.5 mm/r,间隙负偏离率为10%~15%,在试验中获得了形状尺寸精度满足要求的封头旋压件,其中,封头内部型面的最大误差在1 mm以内,旋压件厚度与正弦率计算厚度相差不超过0.2 mm。试验过程相关图片如图8所示。



a W88K-2500旋压机

b 坯料失稳后仰

c 材料回流隆起

d Ø2600合格样件

图8 工艺试验设备和样件

Fig.8 Technical test equipment and sample pieces in the actual production

4 结论

1) 研究探明了大直径薄壁铝合金封头剪切旋压过程中不贴模、局部减薄、失稳起皱等成形缺陷的形成机理。结果表明,局部卸载回弹是导致旋压不贴模的主要原因,且回弹越大,局部减薄越严重。

2) 优化获得了合理的成形参数,获得了直径达2600 mm,型面尺寸良好的旋压封头零件。

参考文献:

- [1] 张艳秋,徐文臣,单德彬,等.薄壁铝合金封头旋压成形工艺研究[J].锻压技术,2006,31(3):74—78.
ZHANG Yan-qiu, XU Wen-chen, SHAN De-bin, et al. Study on the Spinning Process of Thin-walled Aluminum Alloy Vessel Head[J]. Forging & Stamping Technology, 2006 (3):74—78.
- [2] ZHANG Jin-hui, ZHAN Mei, YANG He, et al. 3D-FE Modeling for Power Spinning of Large Ellipsoidal Heads with Variable Thicknesses[J]. Computational Materials Science, 2012,53(1):303—313.
- [3] 张晋辉,杨合,詹梅,等.旋轮参数对大型变壁厚椭圆封头强力旋压成形的影响[J].塑性工程学报,2011,18(2):114—119.
ZHANG Jin-hui, YANG He, ZHAN Mei, et al. Influences of Roller Parameters on Power Spinning of Large Ellipsoidal Heads with Variable Thickness[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2011,18(2):114—119.
- [4] ZHAN Mei, YANG He, ZHANG Jin-hui, et al. Establishment of 3D FEM Model of Multi-pass Spinning[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007,20(4):19—23.
- [5] ZHAN Mei, YANG He, ZHANG Jin-hui, et al. Research on the Variation of Stress and Strain Field and Wall Thickness during Cone Spinning[J]. Materials Science Forum. 2006, 532—533.
- [6] ZHAN Mei, YANG He, ZHANG Jin-hui, et al. 3D FEM Analysis of Influence of Roller Feed on Forming Force and Quality of Cone Spinning[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007,187—188:486—491.
- [7] 詹梅,褚强,石丰,等. TA15钛合金板材不贴模加热旋压成形规律研究[J].精密成形工程,2014,6(5):31—36.
ZHAN Mei, CHU Qiang, SHI Feng, et al. Forming Law of Flexible Hot Spinning of TA15 Titanium Alloy[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2014,6(5):31—36.
- [8] 缪伟亮,刘大海,邵雪明.工艺参数对薄壁件多道次旋压变形均匀性的影响[J].精密成形工程,2014,6(2):18—23
MIAO Wei-liang, LIU Da-hai, SHAO Xue-ming. Effects of Forming Parameters on Deformation Uniformity of Thin-walled Parts during Multi-pass Spinning[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2014,6(2):18—23.
- [9] 曾向东. 铝合金零件的强力旋压加工[J].精密成形工程, 2014,6(2):24—31.
ZENG Xiang-dong. Spinning Processing of Niobium Alloy Parts[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2014, 6 (2):24—31.
- [10] BAI Qian, YANG He, ZHAN Mei. Finite Element Modeling of Power Spinning of Thin-walled Shell with Hoop Inner Rib [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2008,18(1):6—13.
- [11] 李文平,张涛,林刚.碟形封头冷旋压成形时数值分析及旋压力计算[J].金属成形工艺,2003,21(1):7—9.
LI Wen-ping, ZHANG Tao, LIN Gang. Numerical Simulation & Force Calculation of Disc-Shape End Deformation in Spinning[J]. Metal Forming Technology, 2003,21(1):7—9.
- [12] 张涛,李孟光.碟形封头旋压成形的数值模拟及工艺分析[J].锻压技术,2012,37(5):67—69
ZHANG Tao, LI Meng-guang. Numerical Simulation and Process Analysis of Dished Heads by Spinning[J]. Forging & Stamping Technology, 2012,37(5):67—69.
- [13] 李孟光,张涛,林刚.碟形封头冷旋压成形时数值分析及旋压力计算[J].金属成形工艺,2003,21(1):7—9.
LI Meng-guang, ZHANG Tao, LIN Gang. Numerical Simulation & Force Calculation of Disc-Shape End Deformation in Spinning[J]. Metal Forming Technology, 2003,21(1):7—9.
- [14] SI Nai-chao. Cu-Zn-Al Shape Memory Alloy Refined With Composite Rare Earths La + Ce[J]. Journal of Rare Earths, 1999,17(4):275—279.
- [15] sIKAI Y, MURAKAMI K. Stability of the Shape Memory Effect—effect of Grain Size Refinement[J]. Journal de Physique, 1982,43(4):785—789.

(上接第63页)

on Foundry Equipment, 2001(5):12—20.