

## 方形孔轴套冷挤压成形工艺研究及数值模拟分析

王姝俨, 夏华, 秦梁杰, 胡冬, 朱雄  
(重庆理工大学, 重庆 400054)

**摘要:** **目的** 通过对方形孔轴套的分析, 确定冷挤压工艺成形方形孔轴套的可行性, 为方形孔轴套的实际生产提供理论依据和支持。 **方法** 结合Deform软件, 对方形孔轴套的挤压成形过程进行了数值模拟, 重点分析了零件在冷挤压成形过程中的应力场、应变场的变化情况。 **结果** 通过模拟得出, 在成形难度大的区域没有出现折叠和破裂缺陷。 **结论** 确定了冷挤压工艺成形方形孔轴套的可行性。

**关键词:** 方形孔轴套; 冷挤压; 数值模拟; 塑性成形

**DOI:** 10.3969/j.issn.1674-6457.2016.02.010

**中图分类号:** TG376.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-6457(2016)02-0047-03

## Technology and Numerical Simulation of Cold Extruded Square-hole Shaft Sleeve

WANG Shu-yan, XIA Hua, QIN Liang-jie, HU Dong, ZHU Xiong  
(Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)

**ABSTRACT:** The aim of this study is to analysis the difficulty of forming the square-hole shaft sleeve, determine the feasibility of using forming the square-hole shaft sleeve of the cold extrusion technology, and provide the theory basis and the support for the practical production of it. The method of that was doing the extrusion process numerical simulation with DEFORM software. Focus on the analysis the change of stress field, strain field of the components in the preforming process. The result of that there was no folding and cracking did not appear in the molding difficult area by simulating The influences of that was finding the feasibility of using forming the square-hole shaft sleeve of the cold extrusion technology,

**KEY WORDS:** special-shaped shaft sleeve; cold extruded numerical simulation; top die forming load

轴套在长期运行过程中, 轴颈表面受到胀套的挤压力和复合机械力的作用, 将导致其永久性变形, 直径或缩减0.1~0.3 mm, 进而导致机械胀紧配合力度达不到要求的缩紧力, 轴套与主轴之间出现配合间隙, 引起轴套的磨损。作为汽车变速器中重要的零部件, 因其形状复杂、尺寸精度要求高使得其成形难度较大<sup>[1-2]</sup>。异形轴套的传统制造模式多以机械加工、特种加工等方式获得, 其材料的利用率、生产效率低, 产品力学性

能不高, 不能很好地满足产品的使用要求<sup>[3-5]</sup>。体积成形特别是冷挤压成形能够有效提高生产效率, 提高材料利用率, 获得表面质量好、尺寸精度高、力学性能好的产品零件, 被广泛应用于工业生产中<sup>[6]</sup>。本文采用冷挤压成形技术并基于DEFORM有限元模拟软件, 对异形轴套的成形过程进行了数值模拟分析, 根据模拟结果分析轴套的成形情况, 通过改善力学性能来提高模具的使用寿命<sup>[7]</sup>, 进而为此类零件的实际生产提供理论

收稿日期: 2015-12-21

作者简介: 王姝俨(1992—), 女, 重庆人, 硕士, 主要研究方向为精密体积成形工艺。

通讯作者: 夏华(1959—), 男, 重庆人, 教授, 主要研究方向为精密体积成形工艺及模具设计。

依据。

## 1 零件结构及工艺分析

### 1.1 结构分析

图1为方形孔轴套的零件图,材料为10钢,其外形是局部缩颈的对称回转体,内部有形状复杂的方形孔。分析零件的形状结构可知,该轴套的成形难度集中在方形孔的成形和底部缩颈。其外形尺寸为 $\Phi 39.8 \text{ mm} \times 53 \text{ mm}$ ,内孔尺寸为 $\Phi 26 \text{ mm} \times 31 \text{ mm}$ ,底部缩颈尺寸为 $\Phi 30 \text{ mm}$ 。采用冷挤压成形工艺来成形该零件,拟采用工艺路线为下料制坯和复合挤压一次成形,并在成形工序进行前增加软化处理和磷化皂化处理等辅助工序,消除毛坯的残余应力和改善坯料的润滑条件,提高模具的使用寿命<sup>[8]</sup>。

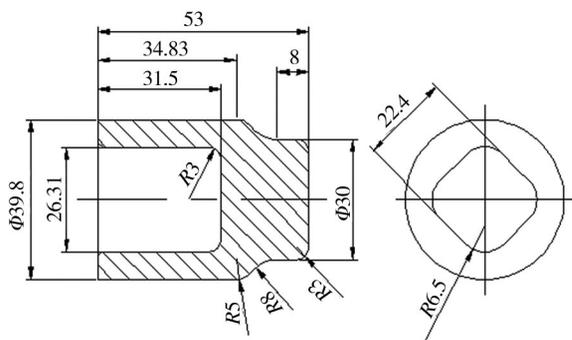
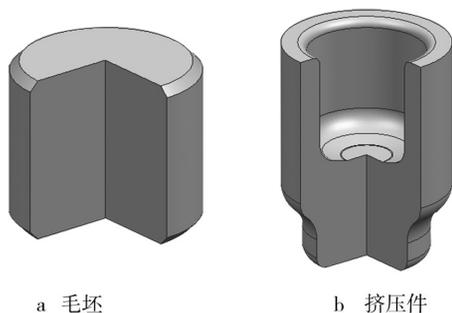


图1 方形孔轴套零件

Fig. 1 Part drawing of square hole sleeve

### 1.2 工艺分析

方形孔轴套冷挤压成形工艺方案如图2所示,其工艺路线为:下料→复合挤压<sup>[9-11]</sup>。图2a为挤压毛坯形状,经软化退火处理后,采用机械加工的方法去掉表面脱碳氧化层并两端倒角进行制坯,制坯尺寸为: $\Phi 39.6 \text{ mm} \times 34.5 \text{ mm}$ ,倒角值为2 mm。图2b为复合



a 毛坯

b 挤压件

图2 成形工艺方案工序

Fig.2 Process drawing of forming process scheme

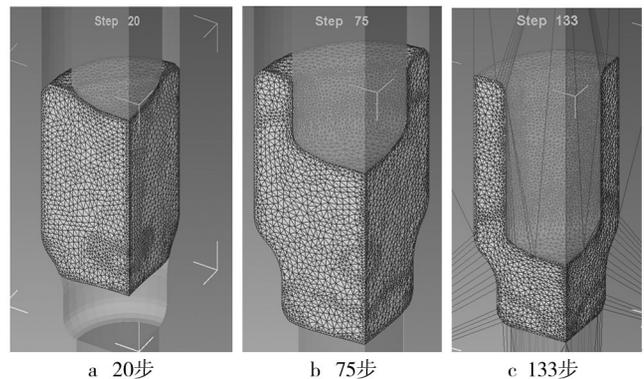
挤压方形孔轴套的挤压件,方形孔轴套的外形和内形直接挤压成形,不需要后续机械加工,轴套上端和底部预留机加余量为1 mm;挤压件外形尺寸为 $\Phi 39.8 \text{ mm} \times 55 \text{ mm}$ 。

## 2 数值模拟

通过DEFORM软件<sup>[12-16]</sup>建立有限元模型,对方形孔轴套的复合成形过程进行数值模拟,分析成形过程中坯料的等效应力、等效应变等,验证采用冷挤压成形工艺来成形异形轴套的可行性。

### 2.1 成形过程分析

在方形孔轴套冷挤压成形过程中,关键是复合挤压成形工序。由图3可知,在成形过程中凸模和坯料接触,正挤压缩颈成形轴套下端,凸模继续下行,金属材料向上流动反挤压成形内部方形孔,直到方形孔成形结束金属材料充满整个模具型腔。



a 20步

b 75步

c 133步

图3 方形孔轴套成形过程中的典型轮廓截面

Fig.3 A typical outline sectional view of the forming process of square hole sleeve

### 2.2 等效应力分析

方形孔轴套冷挤压成形过程等效应力分布如图4所示,由图4可知其成形过程中等效应力随着变形的进行不断增加。图4a为方形孔轴套成形第20步时的等效应力分布,凸模和坯料接触成形方形孔,坯料与凹模接触正挤压成形下端缩颈部分,中心位置有很小一部分区域等效应力较小,等效应力最大值为666 MPa。图4b为方形孔轴套冷挤压成形第75步时等效应力分布,此时坯料与凹模底部完全接触正挤压缩颈变形完成,主要变形过程为反挤压成形方形孔。下端中心区域及上端等效应力较小,凸模和坯料接触区域等效应力较大,最大值为670 MPa。图4c为预制坯工序成形结束时的等效应力分布,坯料与凸模、凹模完

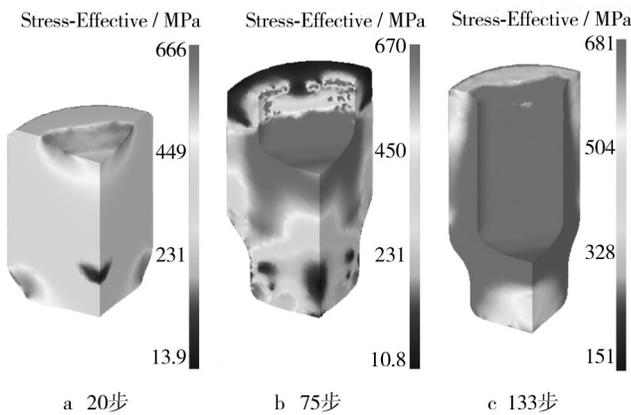


图4 方形孔轴套冷挤压成形过程中的等效应力分布

Fig.4 The cold extrusion forming process of the equivalent stress distribution of square hole sleeve

全接触,整个坯料的等效应力分布处于均匀状态,同时坯料的最大等效应力达到681 MPa。

### 2.3 等效应变分析

方形孔轴套冷挤压成形过程等效应变分布如图5所示。图5a为方形孔轴套冷挤压成形第20步时的等效应变分布情况,坯料随着凸模的下行成形缩颈部分,变形集中在凸模和坯料接触区域及缩颈区域,此阶段为稳定的正挤压变形,等效应变最大值为2.53。图5b为正挤压成形缩颈结束时的等效应变分布情况,应变主要集中在凸模和坯料接触成形方形孔的区域。图5c为成形结束时等效应变分布情况,坯料的变形为反挤压成形方形孔,变形主要在凸模和坯料接触的表面,等效应变有所增加,其值为5.98。

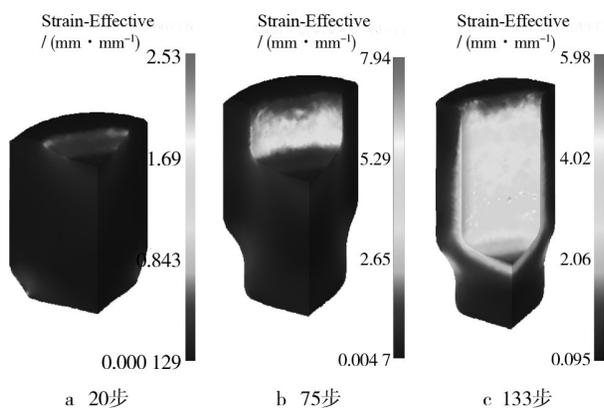


图5 方形孔轴套冷挤压成形过程中的等效应变分布

Fig.5 The equivalent strain distribution drawing process of forming process of cold extrusion sleeve square hole

## 3 结论

通过对异形轴套的预成形过程的数值模拟,分析

了其在成形过程中等效应力、等效应变的变化及分布情况,可知在成形难度大的区域没有出现折叠和破裂缺陷,即采用冷挤压成形工艺来成形异形轴套是可行的。

### 参考文献:

- [1] 吕炎. 精密塑性体积成形技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2003: 12—13.  
LYU Yan. Precision Plastic Volume Forming Technology[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2003: 12—13.
- [2] 张水忠. 挤压工艺及模具设计[M]. 北京:化学工业出版社, 2009.  
ZHANG Shui-zhong. Extrusion Technology and Die Design [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009.
- [3] 赵震. 冷温热挤压技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2008.7.  
ZHAO Zhen. Cold Warm Extrusion Technology[M]. Beijing: Electronic and Electrical Press, 2008.
- [4] 杨煜. 国内外冷挤压技术发展综述[J]. 锻压机械, 2001(1): 3—5.  
YANG Yu. Domestic and International Review of Development of Cold Extrusion[J]. Forging Machinery, 2001(1): 3—5.
- [5] 罗晴岚. 汽车工业“九五”对国内外锻压技术装备的要求[J]. 锻压机械, 1996(3): 5—7.  
LUO Qing-lan. "Ninety Five" Automobile Industry to Domestic and Abroad on Forging Technology and Equipment Requirements[J]. Forging Machinery, 1996(3): 5—7.
- [6] Yilmaz CAN, Cenk MISIRLI. Analysis of Spur Gear Forms with Tapered Tooth Profile[J]. Materials and Design, 2008, 29: 829—838.
- [7] 洪慎章. 挤压工艺及模具设计[M]. 北京:机械工业出版社, 1995.  
HONG Shen-zhang. Extrusion Process and Die Design[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 1995.
- [8] 夏巨湛. 金属材料精密塑性加工方法[M]. 北京:国防工业出版社, 2007.  
XIA Ju-chen. Metal Materials and Precision Plastic Processing Method[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007.
- [9] S O ONUH, M EKOJA, M B ADEYEMI. Effects of Die Geometry and Extrusion Speed on The Cold Extrusion of Aluminum and Lead Alloys[J]. Journal of Material Processing Technology, 2003(132): 274—285.
- [10] 万亚飞, 吴淑芳. 球头销冷挤压工艺及模具设计[J]. 模具制造, 2014(2): 23—26.  
WAN Ya-fei, WU Shu-fang. Technology and Die Design of Cold Extrusion Die Manufacturing[J]. Ball Pin, 2014(2): 23—26.
- [11] 朱伟成. 汽车零部件精密锻造技术[M]. 北京:北京理工大学

(下转第75页)

- New Cast Spinning Process for Light Weight Aluminum Alloy Wheels[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2012, 36(4): 630—635.
- [7] 张庆玲. 铝合金轮毂强力旋压数值模拟技术研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2008, 205(8): 31—33.  
ZHANG Qing-ling. Study on Numerical Simulation of Aluminum Alloy Wheel Spinning[J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2008, 205(8): 31—33.
- [8] 孙丽丽. 汽车轮毂旋压过程的数值模拟[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2008.  
SUN Li-li. Numerical Simulation of Spinning Process of Automobile Wheel[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2008.
- [9] HUANG Long-hui, YANG Yi-tao, LIU Li-kun, et al. Effects of Hot Deformation on Microstructure and Properties of Permanent Mold A356 Aluminum Alloy Castings[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2009, 29(4): 381.
- [10] 赵敏. 45钢坯锻前感应加热的有限元模拟分析[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2006.  
ZHAO Min. Finite Element Stimulation of Induction Heating of 45 Steel Rough Cast Before Forging[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2006.
- [11] 王旭阳. 钢板感应加热及热弹塑性变形的数值模拟研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2004.  
WANG Xu-yang. Numerical Simulation of Induction Heating and Thermo Elastic Plastic Deformation of Steel Plate[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2004.
- [12] 刘继全. 感应加热的热计算模型[J]. 大型铸锻件, 2003(3): 16—20.  
LIU Ji-quan. Thermal Calculation Model of Induction Heating[J]. Heavy Castings and Forgings, 2003(3): 16—20.
- [13] 张恒华, 许珞萍, 邵光杰. 铝合金半固态感应加热的计算机模拟[J]. 中国有色金属学报, 2001(11): 221—225.  
ZHANG Heng-hua, XU Luo-ping, SHAO Guang-jie. Simulation on Induction Heating of Aluminum Billets in Semi-solid[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2001(11): 221—225.
- [14] 崔成林. 感应加热对半固态 AlSi7Mg 合金连铸坯温度场和组织的影响[J]. 中国有色金属学报, 2000(10): 809—814.  
CUI Cheng-lin. Effect of Induction Heating on the Temperature Field and Microstructure of Semi Solid AlSi7Mg Alloy[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2000(10): 809—814.
- [15] 张立娟, 常海平, 凌绍华, 等. 铸旋铝合金车轮短流程制造工艺的试验研究[J]. 锻压技术, 2014, 39(5): 111—115.  
ZHANG Li-juan, CHANG Hai-ping, LING Shao-hua, et al. Experimental Study of Short Process Manufacturing Technology for Spin Casting Aluminum Alloy Wheel[J]. Forging & Stamping Technology, 2014, 39(5): 111—115.
- 
- (上接第 49 页)
- 出版社, 1999.  
ZHU Wei-cheng. Precision Forging Technology of Automobile Parts[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1999.
- [12] 刘建生. 塑性成形数值模拟[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.  
LIU Jian-sheng. Numerical Simulation of Plastic Forming[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2014.
- [13] 胡建军, 李小平. 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, LI Xiao-ping. DEFORM-3D Plastic Molding and CAE Application Tutorial[M]. Beijing: Peking University Press, 2011.
- [14] 李尧. 金属塑性成形原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.  
LI Yao. Forming Principle of Metal Plastic[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2013.
- [15] SHINICHIRO Fujikawa. Cold and Warm-forging Applications in the Automotive Industry[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1992, 35: 323—338.
- [16] S SYAHRULLAIL, B M ZUBIL. Experimental Evaluation of Palm Oil as Lubricant in Cold Forward Extrusion Process[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2011(53): 549—555.