

# TU1 触头托冷精锻工艺及模具设计

姜智勇<sup>1</sup>, 董洪波<sup>1</sup>, 周盛武<sup>1</sup>, 刘伟利<sup>2</sup>

(1.南昌航空大学 航空制造工程学院,南昌 330063;2.江西欧迪铜业有限公司,江西 上饶 334400)

**摘要:** **目的** 针对 TU1 触头托零件工艺中加工效率低、生产成本低、加工后得到的零件表面质量难以达到要求等缺点,提出了一种新的冷精锻成形工艺方案。**方法** 利用 Deform-3D 软件对其成形过程进行数值模拟分析,得到变形挤压力及等效应力应变分布规律。**结果** 利用一次挤压能够完全成形斜边槽及端面台阶,并且在此基础上设计了触头托成形模具,通过实验方法成形出了尺寸精度和表面质量均符合要求的零件。**结论** 表明了该工艺方案和模具结构设计的可行性和实用性,为触头托零件的批量生产提供了一种更经济有效的方法。

**关键词:** TU1; 触头托; 精密成形; 数值模拟; 模具设计

**DOI:** 10.3969/j.issn.1674-6457.2017.04.019

**中图分类号:** TG376 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2017)04-0107-05

## Precisely Cold Forging Process and Mold Design of Contact Joe TU1

JIANG Zhi-yong<sup>1</sup>, DONG Hong-bo<sup>1</sup>, ZHOU Sheng-wu<sup>1</sup>, LIU Wei-li<sup>2</sup>

(1.School of Aeronautical Manufacturing Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China;

2.Jiangxi Oudi Copper Industry Co., Ltd., Shangrao 334400, China)

**ABSTRACT:** The paper aims to propose a new cold forging process scheme to solve shortcomings such as low processing efficiency, high production cost and poor surface quality of the part obtained in the process of TU1 contact joe. The forming process was simulated by Deform-3D software, the deformation force and the equivalent stress and strain distribution rule were obtained. A single extrusion could be able to fully shape the hypotenuse groove and the end step, and on this basis, the forming die of contact joe was designed. Parts of size accuracy and surface quality in line with the requirements were formed through experiment. The process program and die structure design have feasibility and practicability and provide a more economical and effective method for mass production of contact joe.

**KEY WORDS:** TU1; contact joe; precision forming; numerical simulation; die design

触头托是高压输变电设备断路器或开关的重要零件之一,不仅要求其具有较好的导电性,而且对表面质量和尺寸精度均有较高要求<sup>[1]</sup>,因此需要选择合适的加工工艺进行成形。触头托的零件图见图1,零件所用材料为 TU1 无氧铜。现有的加工方式是利用车、铣等传统方法分别加工出该零件的斜边槽、贯穿

槽和端面台阶,但是该种生产方法工序繁琐,从而导致生产效率低下难以大批量生产,而且加工后的斜边槽和贯穿槽容易出现毛刺,表面质量和尺寸精度均达不到要求<sup>[2]</sup>。根据该零件的结构特点,文中提出了 TU1 触头托的冷精锻成形新工艺<sup>[3]</sup>,借助 Deform-3D 软件对成形过程进行数值模拟<sup>[4-6]</sup>,根据模拟结果设

收稿日期: 2017-06-02

基金项目: 江西省科学计划 (2015BBE50042)

作者简介: 姜智勇 (1992—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为金属变形行为及数值分析技术。

通讯作者: 董洪波 (1972—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为金属变形行为及数值分析技术。

计了触头托精密成形模具<sup>[7-8]</sup>。最后通过实验成形出了符合要求的零件,验证了该工艺方案的可行性和模具的实用性,为工业大批量生产提供了一种更经济有效的方法。

### 1 工艺方案

触头托的零件图见图 1,该零件是一个带槽和台阶的圆饼状件。分析结构可将其分为 2 部分分别成形。首先是成形矩形斜边槽部分,由于该部分是 6 个倾斜角为 25°的槽均匀分布在零件上,从而导致成形困难,传统的机加工方法是利用车床分别车出 6 个斜边槽,结果发现利用该方法加工时,不仅效率低而且表面质量难以保证。由于零件所用材料为 TU1 无氧铜,其金属流动性好且变形抗力小,于是采用挤压工艺一次成形斜边槽部分,同时挤出 1.5 mm 台阶和底面 0.8 mm 凹槽部分;第 2 部分是成形贯穿槽部分,在完成第 1 道工序后贯穿槽可利用冲裁进行一次成形得到。在利用上述 2 道工序成形该零件时,必须考虑的一个问题是单工序工艺中的坯料如何进行定位<sup>[9-11]</sup>。在第 1 道工序中,将坯料直接加工出直径为  $\Phi 5$  的圆孔作为定位孔,与凹模上的定位杆进行

配合,从而达到定位的作用。在挤出斜边槽和端面台阶的同时,在坯料底面挤出 3 个小凸台,与第 2 道工序凹模上的孔进行配合,这样不仅解决了第 2 道工序中坯料的定位问题,而且在冲裁贯穿槽时将小凸台一起冲除,提高了效率、降低了成本。根据上述分析,触头托的成形工艺方案见图 2。

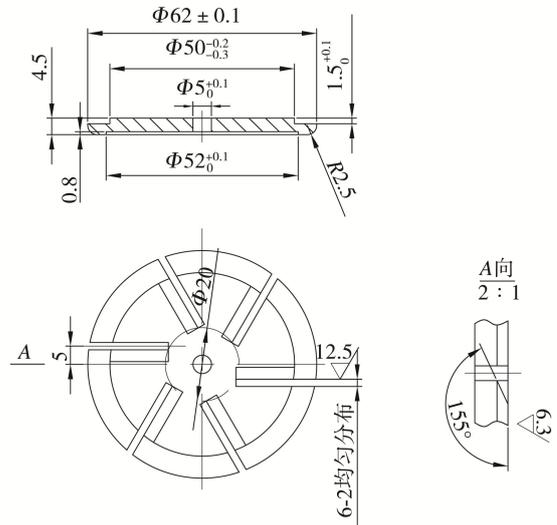


图 1 触头托零件图  
Fig.1 Part drawing of contact joe

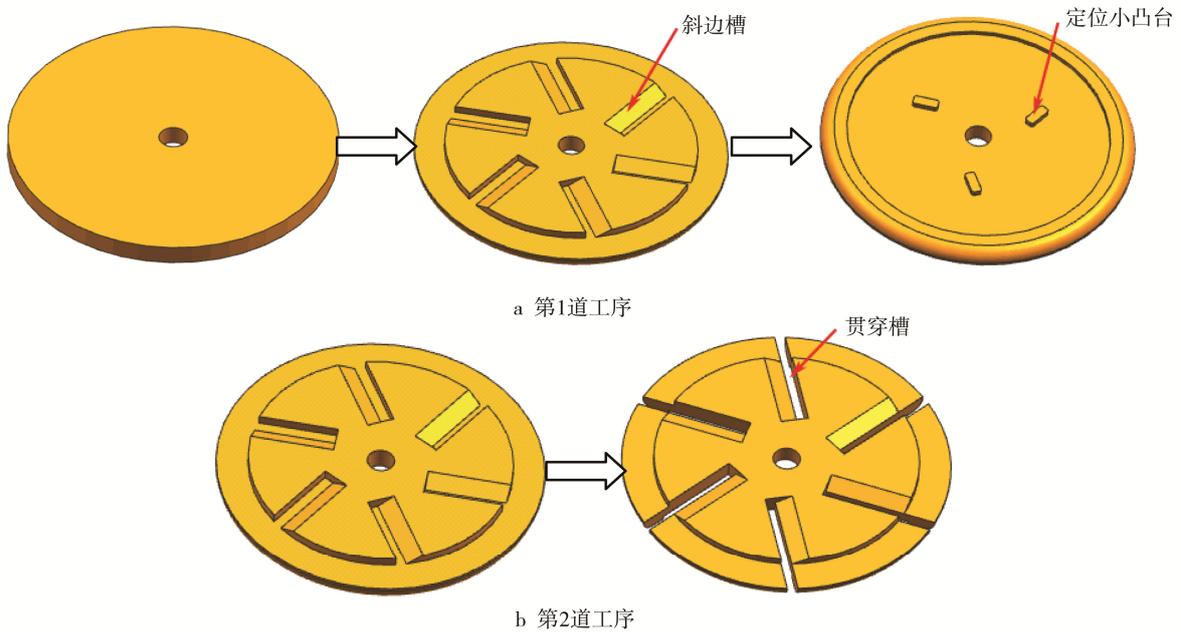


图 2 零件成形工艺方案  
Fig.2 Forming process of parts

### 2 数值模拟分析

#### 2.1 模型建立及模拟参数设置

根据前述触头托成形工艺方案的分析,在挤出斜边槽和端面台阶等的第 1 道工序可以采用闭式模锻进行成形。通过 UG8.0 三维软件进行物理建模并导出

STL 格式的装配文件,建立的有限元模型见图 3。将建立好的模型导入到 Deform-3D 中,选取的坯料尺寸为直径 60 mm,厚度为 3.6 mm,材料为 TU1 无氧铜。模拟时,视坯料为理想塑性体,模具为刚性体,模拟温度为常温 20 °C。模拟采用 Deform 软件默认的四面体单元网格划分方式,网格数设置为 100 000,并对坯料进行体积补偿。模具与坯料之间采用剪切摩

擦模型，取摩擦系数为 0.12<sup>[12-13]</sup>。凸模的挤压速度设置为 0.1 mm/s，并将凸模位移作为运动终止条件。

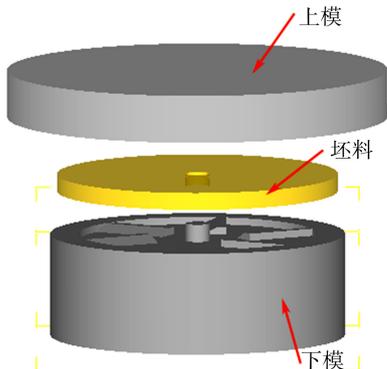


图3 有限元模型  
Fig.3 FEM model

### 2.2 模拟结果分析

在完成模型导入和参数设置之后，经过 Deform 运算得到了凸模行程载荷曲线，见图 4。可以看出，完成触头托整个成形所需的挤压力是 89.5 t，为选择实验设备提供了参考。触头托的整个成形过程见图 5，可将此过程分为 3 个阶段。首先是镦粗成形阶段，通过坯料上的圆孔定位将其放在下模上，锻造开始时上

模下行，坯料在下模是先产生镦粗变形（见图 5a），这个阶段的特点是所需的载荷较小，在行程载荷曲线上看，镦粗成形阶段主要表现为一段斜率很小的曲线；其次是挤压成形阶段（见图 5b），坯料在完成镦粗成形之后，随着上模的行程增加开始挤压斜边槽，这阶段的载荷较镦粗阶段有明显的上升，从行程载荷曲线上看，挤压成形阶段主要表现为一段斜率很大的曲线；最后是最终成形阶段（见图 5c），该阶段模具型腔内部基本上充型完成，多余的料流向设计时留的空隙中，该阶段行程载荷曲线斜率与挤压成形阶段的大致相同。

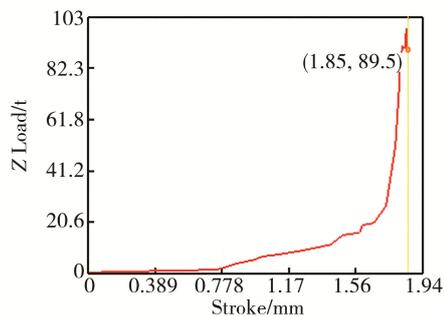


图4 触头托成形过程的行程载荷  
Fig.4 Stroke-load curves of forming process for contact joe

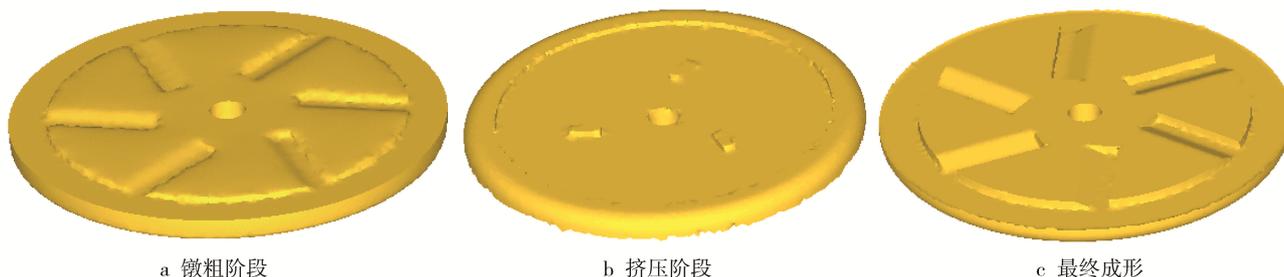


图5 触头托模拟成形过程

Fig.5 Simulation of the forming process for contact joe

触头托成形过程的等效应力应变分布规律见图 6。可知，等效应力应变较大的部位是在斜边槽和端面台阶，也是该零件的主要变形区域，该区域的材料同时受到径向和轴向挤压力的作用，相比较其他区

域，该处的变形量最大，而在成形的过程中，模具在该变形区的受力也是最大的，因此选择的凸凹模材料必须有足够的强度<sup>[14-15]</sup>。

### 3 模具设计

根据建立的有限元模型及其数值模拟的结果，设计出第 1 道工序挤压斜边槽和端面台阶的成形模具<sup>[9]</sup>，模具的装配图见图 7。模具的主要结构由上模、凹模、导向装置、卸料装置和定位结构组成。上模采用上模套 4 和上模芯 9 组合，使用该种配合也是考虑节省冷作模具钢和易更换性，由于上模芯主要是用于成形，对材料要求较严格，所以采用冷作模具钢，其材料为 Cr12MoV，而上模套的材料为 45#钢。凹模为整体式凹模，所用材料和上模芯一样同为 Cr12MoV，装配时用内六角螺钉 2 将其固定在下模底板 1 上。模

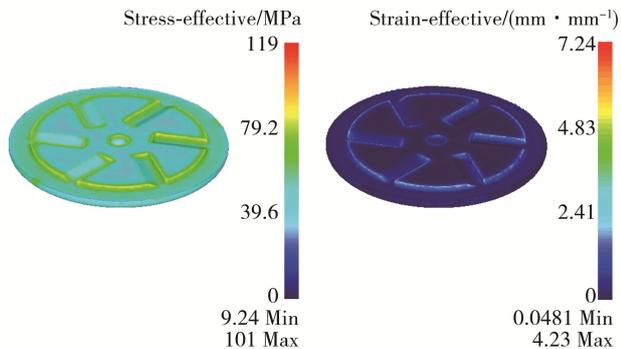
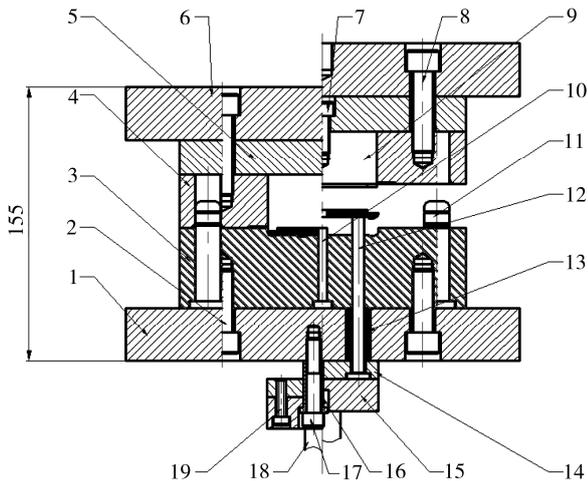


图6 等效应力应变  
Fig.6 Equivalent stress-strain

具的导向对正方式是通过导柱 11 装配在凹模 3 上，与上模套配合形成导向装置，导柱材料为 45# 钢。坯料的定位是通过坯料上的圆孔和安装在凹模上的定位杆 10 进行配合，以达到定位的目的。在完成坯料的成形之后需要设计合理的卸料装置进行卸料，此处采用的是顶料机构，主要由顶杆 12、弹簧 13、顶杆固定板 14、顶杆板 15、等高套 16、推杆 18 组成，除弹簧材料为 65Mn，其余材料均为 45# 钢。

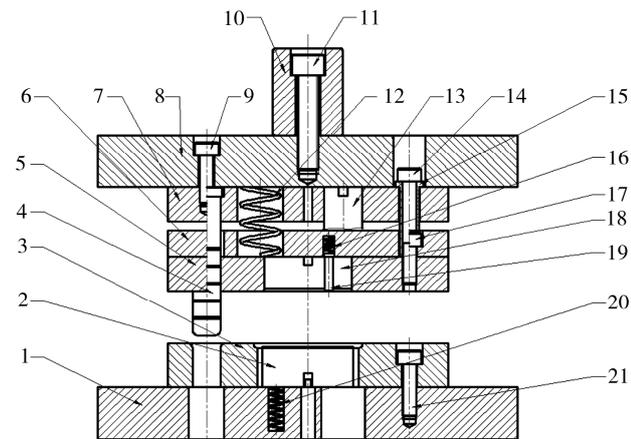


1.下模底板 2.7.8.17.19.内六角螺钉 3.凹模 4.上模套 5.上模垫板 6.上模底板 9.上模芯 10.定位杆 11.导柱 12.顶杆 13.弹簧 14.顶杆固定板 15.顶杆板 16.等高套 18.推杆

图 7 TU1 触头托冷挤压模

Fig.7 The cold extrusion die of TU1 contact joe

第 2 道工序冲槽模模具的装配图见图 8。参考冲压模具设计手册<sup>[10]</sup>，该模具的主要结构为凸模、凹模、卸料装置和定位装置。如前工艺方案所述，在第 1 道工序中完成斜边槽成形的同时，挤出了 3 个小凸台



1.下模底板 2.凹模镶件 3.凹模座 4.导柱 5.卸料板 6.卸料压板 7.凸模固定板 8.上模底板 9.11.14.17.21.内六角螺钉 10.模柄 12.弹簧 1 13.凸模 15.等高套 16.弹簧 2 18.卸料镶件 19.顶件杆 20 弹簧

图 8 TU1 触头托冲槽模

Fig.8 The notching die of TU1 contact joe

为坯料在冲槽模中的定位，在完成一次冲裁后形成了 6 个贯穿槽，并且将定位小凸台一起冲除。模具的凸模、凹模均采用组合式结构，目的也是为了节省材料和便于更换。

#### 4 结果与分析

根据前面制定的工艺方案及设计的模具，在 Y32-200T 液压机上进行实验，以验证该工艺方案和模具设计的可行性，模具安装见图 9。在利用第 1 道工序冷挤压模进行挤压斜边槽实验过程中发现，挤压过后的锻件可能会滞留在上模内，导致无法进行卸料，分析原因可能是由于在挤压过程中，坯料与上模之间产生真空吸附，从而导致锻件滞留在上模。对此提出改进措施：在冷挤压模上模内增加卸料装置推杆，可以对滞留在上模的锻件进行卸料。实践证明采取改进措施后取得了良好的实验效果，其成形后锻件实物见图 10a。再将此锻件放入第 2 套冲槽模中进行冲穿贯穿槽，从而得到了最终零件产品 TU1 触头托，见图 10b。分析成形后的触头托零件，其表面光滑、毛刺较少且各部位尺寸均达到精度要求，从而验证了该工艺方案和模具设计的可行性和实用性。



图 9 TU1 触头托模具

Fig.9 The die of TU1 contact joe



a 触头托锻件

b 最终成形零件

图 10 触头托实物照片

Fig.10 Photo of contact joe

## 5 结论

1) 提出了一种新的 TU1 触头托成形工艺方案, 通过 Deform 对第 1 道工序挤压斜边槽进行数值模拟, 得到了成形过程中的行程载荷曲线和等效应力应变分布规律。根据此结果设计了冷挤压模来完成第 1 道工序斜边槽的成形, 并且设计了第 2 道工序冲槽模成形贯穿槽。

2) TU1 触头托实验验证的结果表明, 利用设计的 2 套模具成形得到的零件尺寸精度和表面质量均达到要求, 与传统机加工工艺比较, 该种工艺工序少、效率高、成形质量好, 为该零件在工业中的大批量生产提供了一种经济有效的方法。

### 参考文献:

- [1] 孙舒捷, 邵能灵, 薄志谦. 高压直流输电工程中的直流断路器设计及应用仿真[J]. 华东电力, 2009, 37(3): 412—417.  
SUN Shu-jie, TAI Neng-ling, BO Zhi-qian. Design and Simulation of DC Breakers for HVDC Projects[J]. East China Electric Power, 2009, 37(3): 412—417.
- [2] 张建国, 孙光辉. ZF12 高压开关拉杆热挤压工艺[J]. 锻压技术, 2015, 40(8): 84—87.  
ZHANG Jian-guo, SUN Guang-hui. Hot Extrusion Process of High-voltage Switch Rod ZF12[J]. Forging & Stamping Technology, 2015, 40(8): 84—87.
- [3] 吕炎. 精密塑性体积成形技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.  
LYU Yan. Precision Plastic Volume Forming Technology [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2003.
- [4] 朱烈峰, 陈鑫, 孟彬, 等. 锥齿轮高频颤振冷挤压数值模拟及模具设计[J]. 锻压技术, 2012, 37(3): 114—118.  
ZHU Lie-feng, CHEN Xin, MENG Bin, et al. Numerical Simulation and Die Design of Cold Extrusion Forming with High-frequency Vibration for Bevel Gear[J]. Forging & Stamping Technology, 2012, 37(3): 114—118.
- [5] 吴耀金, 张治民. 深孔筒形件挤压成形有限元分析[J]. 锻压技术, 2007, 32(4): 135—138.  
WU Yao-jin, ZHANG Zhi-min. Finite Element Analysis of Extrusion Forming of Deep Hole Tubular Workpiece [J]. Forging & Stamping Technology, 2007, 32(4): 135—138.
- [6] 娄淑梅, 赵国群, 吴向红, 等. 铝型材挤压过程有限体积法数值模拟技术研究[J]. 塑性工程学报, 2006, 13(4): 34—37.  
LOU Shu-mei, ZHAO Guo-qun, WU Xiang-hong, et al. Modeling of Aluminum Profile Extrusion Processes Using Finite[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2006, 13(4): 34—37.
- [7] 程万军, 赵立辉, 黄良驹. 星形套闭塞冷锻工艺及模具设计[J]. 模具工业, 2003(3): 45—48.  
CHENG Wan-jun, ZHAO Li-hui, HUANG Liang-ju. The Closed Cold Forging Process for the Starlike Casing and Design of the Die[J]. Die & Mould Industry, 2003(3): 45—48.
- [8] 梁建平, 程旺军. 基于数值模拟的锥形螺母冷锻成形分析及模具设计[J]. 锻压技术, 2015, 40(7): 151—155.  
LIANG Jian-ping, CHENG Wang-jun. Deformation Analysis and Die Design of Cold Heading Extrusion for a Conical Nut Based on Numerical Simulation[J]. Forging & Stamping Technology, 2015, 40(7): 151—155.
- [9] 杨长顺. 冷挤压模具设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.  
YANG Chang-shun. Design of Cold Extrusion Die[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1994.
- [10] 肖祥芷, 王孝培. 中国模具设计大典: 冲压模具设计[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 2003.  
XIAO Xiang-zhi, WANG Xiao-pei. Design of Die Design: Stamping Die Design[M]. Nanchang: Jiang xi Science and Technology Press, 2003.
- [11] 洪慎章. 底座冷挤锻工艺及模具设计[J]. 精密成形工程, 2013, 5(3): 69—72.  
HONG Shen-zhang. Technology and Die Design of Cold Extrusion-heading for the Base[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2013, 5(3): 69—72.
- [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 on Plastic Forming CAE Application[M]. Beijing: Peking University Press, 2011.
- [13] KANG G J, SONG W J, KIM J, et al. Numerical Approach to Forging Process of a Gear with Inner Cam Profile Using FEM[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, S164/165(10): 1212—1217.
- [14] 刘雅辉, 刘淑梅, 廖世绍, 等. 过滤器冷挤压模具设计及数值模拟[J]. 精密成形工程, 2015, 7(1): 42—45.  
LIU Ya-hui, LIU Shu-mei, LIAO Shi-shao, et al. Mold Design and Numerical Simulation of Cold Extrusion for Filter[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2015, 7(1): 42—45.
- [15] 李明亮, 刘平, 刘新宽, 等. 铜合金连续挤压工艺及模具设计[J]. 锻压技术, 2014, 39(11): 39—42.  
LI Ming-liang, LIU Ping, LIU Xin-kuan, et al. Continuous Extrusion Process and Mould Design for Copper Alloy[J]. Forging & Stamping Technology, 2014, 39(11): 39—42.