

管材成形

## 金属波纹管高压水射流渐进成形实验及工艺参数优化

魏树国<sup>1,2,3</sup>, 张少伍<sup>1,2,3</sup>, 何 凯<sup>4</sup>

(1. 铜陵学院 机械工程学院, 安徽 铜陵 244000; 2. 铜陵学院 工程液压机器人安徽省普通高校重点实验室, 安徽 铜陵 244000; 3. 铜陵学院 机械工程学院 铜陵市增材制造重点实验室, 安徽 铜陵 244000; 4. 中国科学院深圳先进技术研究院, 广东 深圳 518055)

**摘要:** 以厚度为 0.3 mm、直径为  $\Phi 220$  mm 的焊接不锈钢管作为实验用毛坯, 在中国科学院深圳先进技术研究院自主研发的五轴高压水射流渐进成形机床上进行波纹管成形实验。首先, 通过单一因素实验确定影响成形的因素的取值范围, 然后设计正交实验优化方案, 采用极差分析方法分析正交实验结果, 确定了 4 个因素对成形精度影响显著性的先后次序为: 水射流压力>靶距>轴向力>喷头旋转速度, 并确定了高压水射流渐进成形波纹管的最佳工艺参数为: 水射流压力为 100 MPa、靶距为 12 mm、喷头旋转速度为  $400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 、轴向压力为 320 N。实验表明, 在此工艺参数下成形的波纹管的成形精度较高。

**关键词:** 波纹管; 高压水射流; 渐进成形; 水射流压力; 靶距; 喷头旋转速度; 轴向压力

**DOI:** 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.07.019

中图分类号: TG394 文献标志码: A 文章编号: 1000-3940 (2022) 07-0132-06

## Experiment and process parameter optimization on high pressure water jet incremental forming of metal bellows

Wei Shuguo<sup>1,2,3</sup>, Zhang Shaowu<sup>1,2,3</sup>, He Kai<sup>4</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Tongling University, Tongling 244000, China;

2. Key of Construction Hydraulic Robots of Anhui Higher Education Institutes, Tongling University, Tongling 244000, China;

3. Key Laboratory of Additive Manufacturing of Tongling City, College of Mechanical Engineering, Tongling University, Tongling 244000, China; 4. Shenzhen Institute of Advanced Technology Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China)

**Abstract:** The welded stainless-steel pipe with the thickness of 0.3 mm and the diameter of  $\Phi 220$  mm was used as the blank for experiment. The bellows forming experiment was carried out on a five axis high pressure water jet incremental forming machine independently developed by Shenzhen Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences. Firstly, the value ranges of factors influencing forming was determined by single factor experiment. Then, the optimization scheme of orthogonal experiment was designed. The range analysis method was used to analyze the orthogonal experiment results. The order of significance for four factors on the forming accuracy was determined as water jet pressure, distance between nozzle and blank, axial pressure, nozzle rotation speed. And the optimal process parameters of high pressure water jet incremental forming for bellows were obtained with the water jet pressure of 100 MPa, the distance between nozzle and blank of 12 mm, the nozzle rotation speed of  $400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , and the axial pressure of 320 N. The experiment shows that the bellows formed under this process parameters have high forming accuracy.

**Key words:** bellows; high pressure water jet; incremental forming; water jet pressure; distance between nozzle and blank; nozzle rotation speed; axial pressure

波纹管是一种在轴截面上呈连续波纹状的圆柱形薄壁壳体, 波纹管按照材质分为金属波纹管和塑料波纹管。波纹管具有轴向伸缩变形的性质, 因此

波纹管主要应用于补偿管线热变形、减少管路的震动等。金属波纹管在工业中作为弹性元件, 用来补偿设备或容器因温差、压力等原因而产生的尺寸变化, 可以弥补因设备轴向、横向以及角向的变形而造成的位移, 有吸收振动、降低噪音等效果。目前, 已经被广泛用于仪表、航空、航天、电力、冶金、石油、化工、建筑等行业领域, 用于制造各种敏感元件、补偿元件、柔性联结件和换热元件<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2021-09-10; 修订日期: 2021-12-19

基金项目: 安徽省高校自然科研重点项目 (KJ2021A1060); 粤港澳  
人机智能协同系统联合实验室项目 (2019B121205007)

作者简介: 魏树国 (1970-), 男, 博士, 副教授

E-mail: weisg188@126.com

## 1 金属波纹管加工成形方法

目前，金属波纹管的加工方法主要有：液压成形<sup>[2]</sup>、刚性模胀压成形<sup>[3]</sup>、滚压成形<sup>[4]</sup>、焊接成形<sup>[5]</sup>、超塑成形<sup>[6]</sup>以及电磁成形<sup>[7]</sup>等。但这些成形方法几乎均需要模具，这些方法适用于大批量生产，加工成本高。

高压水射流渐进成形技术是在渐进成形技术基础上结合高压水射流技术发展起来的。它的核心思想是使用具有一定压力的水射流来替代渐进成形的金属工具头，将高压水喷射到板材上，水的动能转化为作用于板材的压力能，使板材产生局部塑性变形。本文进行波纹管高压水射流渐进成形实验参数的研究。

## 2 波纹管高压水射流渐进成形工艺

高压水射流渐进成形是利用高压水的压力成形波纹管。其原理是将管形零件毛坯固定于成形机床后，将高压水打到零件的管壁上，工件或喷嘴绕着工件的轴心线旋转，同时对毛坯施加一个轴向压力，管胚在高压水射流的作用下，成形出波纹管。成形示意图如图 1 所示，首先将旋转的 L 形喷头放置于工件内部，并且使喷头旋转中心线与管坯的中心线重合，同时喷头沿工件轴线往复运动，如图 1a 所示，喷头旋转一周后，喷头再沿着工件的轴向方向移动一定距离，根据波纹管的尺寸要求加工出零件锥形，接着在工件的波纹管一段施加轴向力  $F$ ，再进行上述重复动作，最终加工出一个波纹。如此重复多次，加工出多个波纹，进而成形出波纹管。

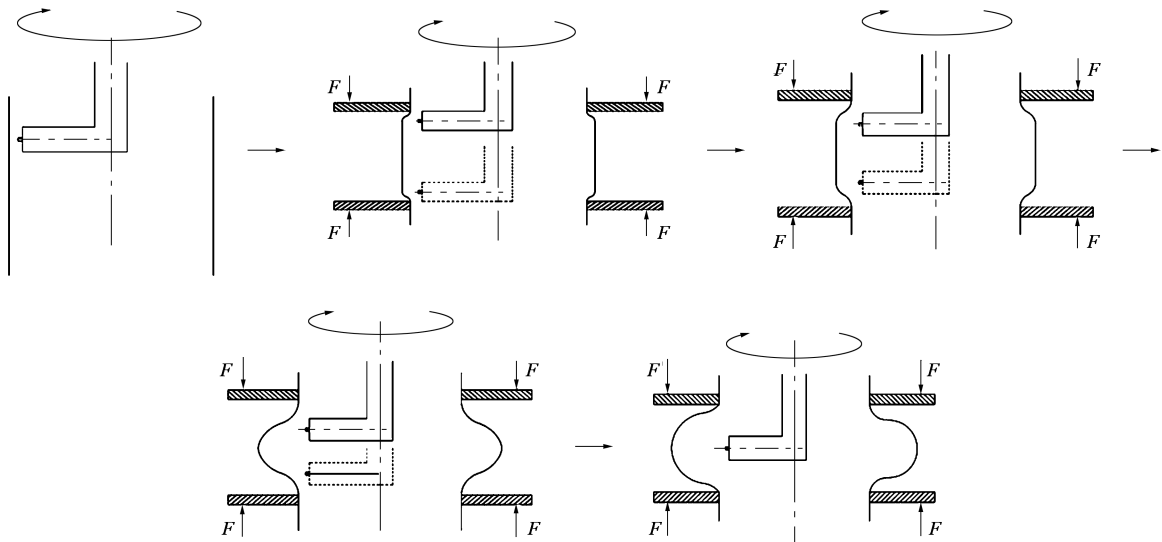


图 1 波纹管高压水射流渐进成形原理图

Fig. 1 Schematic diagram of high pressure water jet incremental forming for bellows

## 3 实验

### 3.1 实验材料

波纹管壁厚是一个重要的几何参数，其壁厚决定了波纹管的刚度和工作应力，波纹管的壁厚也与其内径存在一定的比例关系，对于内径为  $\Phi 10 \sim \Phi 1000$  mm 的波纹管，壁厚与内径的比值一般控制在  $0.0006 \sim 0.0500$ <sup>[8]</sup>。根据上面的分析，本次实验成形直径为  $\Phi 220$  mm 的波纹管，选用了壁厚为  $0.3$  mm 的 304 不锈钢来制造波纹管管坯。其力学性能如表 1 所示。

根据以往的研究<sup>[8]</sup>可以知道：高压水射流渐进

表 1 304 不锈钢的力学性能

Table 1 Mechanical properties of 304 stainless steel

参数	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率
数值	205	520	$\geq 40\%$

成形工艺参数主要包括水射流压力、靶距、喷头旋转速度、轴向压力等。

### 3.2 实验设备

本实验是在中国科学院深圳先进技术研究院自主研发的数控五轴高压水射流渐进成形机床上进行的，其运动主要是工作台沿  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  轴的直线运动和喷头绕着  $Z$ 、 $Y$  轴的旋转运动，其机械结构示意图如图 2 所示，图 3 为机床实物外形图。

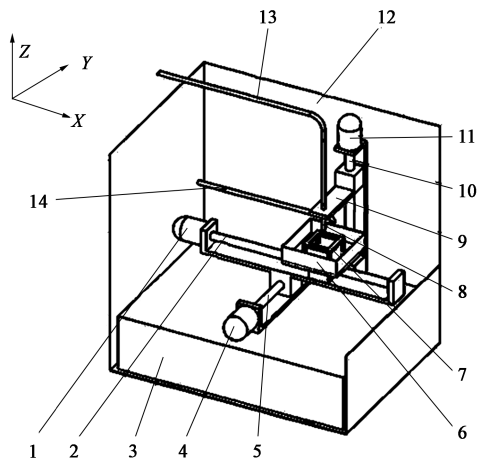


图2 数控五轴高压水射流渐进成形机床机械结构示意图

1. X轴伺服电机 2. X轴丝杠 3. 机床底座 4. Y轴伺服电机  
5. Y轴丝杠 6. 工作室 7. 夹具 8. 喷头倾斜旋转部件  
9. 喷射装置固定座 10. Z轴丝杠 11. Z轴伺服电机  
12. 机床防护罩 13. 高压进水管 14. 低压出水管

Fig. 2 Mechanical structure schematic diagram of NC five axis high pressure water jet incremental forming machine



图3 数控五轴高压水射流渐进成形机床实物图

Fig. 3 Physical diagram of NC five axis high pressure water jet incremental forming machine

## 4 正交实验及分析

### 4.1 实验因素的确定

#### (1) 水射流压力

高压水射流金属板材渐进成形所需的力是高压水作用在板材表面的打击力，根据能量守恒原则，板材塑性变形所需要的功应该等于水射流的打击力所作的功。

#### (2) 靶距

水射流分为初始阶段、基本阶段、消散阶段3个阶段，初始阶段仍有一部分处于中心线附近的射流介质保持喷嘴出口的初始速度，这个阶段是金属

成形最佳阶段。因此进行水射流成形时，需要将靶距选在起始段内。水射流加工时属于紊流状态，其状态方程很难用公式描述，但 Hashish M 等<sup>[9]</sup>给出水射流初始段长度的一个基本公式，其表达式为：

$$l_f = (A - BR_e)d \quad (1)$$

式中： $l_f$  为水射流的初始阶段长度，mm； $A$ 、 $B$  为经验系数； $R_e$  为雷诺系数； $d$  为喷嘴出口直径，mm。

因此由式(1)可知，喷嘴出口直径和经验系数及雷诺系数决定了水射流初始阶段的长度。

#### (3) 喷嘴旋转速度

喷嘴旋转速度决定了水射流单位时间内作用在板材上的流量，因此，喷嘴速度决定了射流加工板材的深度。喷嘴旋转速度决定了加工效率，但速度太大会影响水射流加工工件的深度。

#### (4) 轴向压力

假设波纹管高压水射流渐进成形过程中，除了水射流的打击力和板材的压边力，没有其他力的作用，板材的变形只存在沿垂直高度方向的纯剪切变形，其材料变形图如图4所示。其中， $dx$  为板材原始长度，mm； $s$  为板材成形后的长度，mm； $\theta$  为成形角， $(^\circ)$ ； $t_0$  为成形前板材厚度，mm； $t$  为成形后板材厚度，mm； $\alpha$  为成形半锥角， $(^\circ)$ ； $d_1$  为成形锥体大径半径，mm； $d_2$  为成形锥体小径半径，mm； $h$  为成形锥体高度，mm。

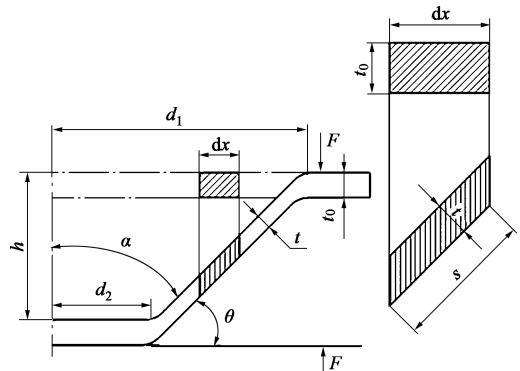


图4 理想条件下材料变形过程

Fig. 4 Material deformation process under ideal conditions

根据金属塑性成形前后体积保持不变的规律，可以得出板材成形前后的厚度变化公式<sup>[10]</sup>，即：

$$t_0 \cdot dx = t \cdot s \quad (2)$$

$$dx = s \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

$$t_0 \cdot s \cdot \sin \alpha = t \cdot s \quad (4)$$

$$t = t_0 \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

$$\tan \alpha = \frac{d_1 - d_2}{h} \quad (6)$$

根据式 (5) 可知, 成形半锥角直接影响着成形件的厚度, 成形半锥角  $\alpha$  越小, 成形件的厚度越小, 成形破裂的可能性增大; 为了增加成形的深度, 需要增大成形半锥角  $\alpha$ 。由式 (6) 可以得出, 减少成形锥体的高度可以增大成形半锥角  $\alpha$ , 减少成形高度的方法为: 在工件成形时, 在工件毛坯的两端增加轴向力  $F$ , 增加轴向力可以减少成形高度, 进而提高成形极限。

4.2 实验设计

依据分析可以看出, 水射流压力、靶距、喷嘴旋转速度及轴向压力均会影响成形, 因此, 针对这 4 个因素进行优化研究。各因素分为 5 个水平, 水射流压力分别为 40、60、80、90 和 100 MPa, 靶距分别为 4、8、12、16 和 20 mm; 喷嘴旋转速度分别为 150、200、400、600 和 800 mm · min<sup>-1</sup>; 轴向压力分别为 160、240、280、320 和 360 N, 表 2 为设计的正交实验的因素水平表。

表 2 因素水平表  
Table 2 Factors and levels

水平	因素			
	水射流压力/ MPa	靶距/ mm	喷嘴旋转速度/ (mm · min <sup>-1</sup> )	轴向压力/ N
1	40	4	150	160
2	60	8	200	240
3	80	12	400	280
4	90	16	600	320
5	100	20	800	380

4.3 考察指标设定

本文选定零件成形精度作为评定指标, 即为零件的实际尺寸与理论尺寸的偏差, 零件径向方向的成形精度。测量波纹管成形零件上各测量点  $p_{r1}$ ,  $p_{r2}$ ,  $\cdots$ ,  $p_m$  与理论轮廓线上对应的各测量点  $p'_{r1}$ ,  $p'_{r2}$ ,  $\cdots$ ,  $p'_m$  在径向方向的偏差值  $\Delta r^{[11]}$ , 其计算公式为式 (7), 表 3 为不同工艺参数条件下的正交实验结果。

$$\Delta r = p_m - p'_m \tag{7}$$

4.4 极差分析

为了确定实验参数对成形零件的影响, 采用极差分析方法分析正交实验数据, 包括参数间的优势或参数间具体水平的优劣, 进而得出最佳工艺参数<sup>[12]</sup>。极差分析结果见表 4, 其中,  $K_1 \sim K_5$  为因素在单一水平 1~5 下各组实验数据的平均值, 反映了

表 3 实验结果  
Table 3 Test results

实验 编号	因素				
	水射流压力/ MPa	靶距/ mm	喷嘴旋转速度/ (mm · min <sup>-1</sup> )	轴向 压力/N	成形精度 $\Delta r$ /mm
1	40	4	150	160	4.6065
2	40	8	200	240	5.1245
3	40	12	400	280	5.4346
4	40	16	600	320	5.3012
5	40	20	800	380	6.6403
6	60	4	200	380	4.2203
7	60	8	400	240	4.4045
8	60	12	600	280	4.5367
9	60	16	800	320	4.3034
10	60	20	150	160	6.3128
11	80	4	600	240	4.1378
12	80	8	800	280	3.9056
13	80	12	400	320	4.3267
14	80	16	150	160	4.6341
15	80	20	200	380	5.8452
16	90	4	800	280	3.2327
17	90	8	400	320	1.6034
18	90	12	150	160	0.9483
19	90	16	200	380	2.6035
20	90	20	600	240	4.5276
21	100	4	400	320	1.4346
22	100	8	150	160	2.2342
23	100	12	200	380	1.9254
24	100	16	600	240	2.1034
25	100	20	800	280	2.5167

表 4 极差分析结果 (mm)  
Table 4 Range analysis results (mm)

因素	水射流压力	靶距	喷嘴旋转速度	轴向压力
$K_1$	5.2214	3.5264	3.5472	3.5472
$K_2$	4.7555	3.4544	3.7438	3.8596
$K_3$	4.5699	3.4343	3.4408	3.9253
$K_4$	2.5831	3.5891	3.7213	3.1939
$K_5$	2.0429	5.1685	3.9197	3.8469
$R$	3.1785	1.7342	0.4789	0.7314

因素在不同水平下的变化趋势,  $R$  为极差, 表示不同实验因素对实验指标影响的主次关系。



由表 4 可以看出,水射流压力对成形的影响最大,其次为靶距,影响最小的因素是喷头旋转速度。最佳工艺参数为:水射流压力为 100 MPa、靶距为 12 mm、喷头旋转速度为  $400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 、轴向压力为 320 N。

## 5 实验验证

在中国科学院深圳先进技术研究院自主研发的五轴高压水射流渐进成形机床上进行实验,参数条件设置为正交实验所得的最优工艺参数组合,即:水射流压力为 100 MPa、靶距为 12 mm、喷头旋转速度为  $400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 、轴向压力为 320 N。在该工艺参数条件下,进行波纹管高压水射流渐进成形实验,成形零件如图 5 所示。取一个成形波纹,沿着工件的径向每隔 10 mm 取一个点测量工件的成形精度,成形精度如图 6 所示,由图 6 可以看出,在所选的工艺参数下,工件成形精度有所提高。



图 5 最优工艺参数组合下加工的波纹管实物图

Fig. 5 Physical diagram of bellows processed under optimal process parameter combination

## 6 结论

(1) 波纹管高压水射流渐进成形的最佳工艺参数为:水射流压力为 100 MPa、靶距为 12 mm、喷头旋转速度为  $400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 、轴向压力为 320 N。

(2) 通过设计的正交实验,采用极差法分析正交实验结果,确定了波纹管高压水射流渐进成形的最佳工艺参数,确定了 4 个因素对成形精度影响显著性的先后次序为:水射流压力>靶距>轴向力>喷头旋转速度。

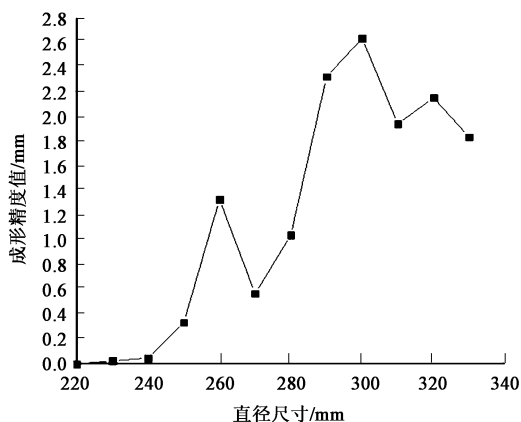


图 6 测量点的成形精度

Fig. 6 Forming accuracy of measuring points

## 参考文献:

- [1] 徐先开. 波纹管类组件的制造及其应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.  
Xu X K. Manufacture and Application of Bellows Components [M]. Beijing: China Machine Press, 1997.
- [2] 郭晓云. 电流辅助钛波纹管成形工艺研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.  
Guo X Y. Research on Current Auxiliary Forming Process of Titanium Alloys Bellows [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2011.
- [3] 王浩. 金属波纹管刚性模高效胀压成形过程控制研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2012.  
Wang H. The Metal Bellows Rigid Mold Efficient Inflationary Pressure Forming Process Control Research [D]. Changsha: Central South University, 2012.
- [4] 陶兴华, 朱宏武, 张宏. 波纹管成型及膨胀过程力学性能分析 [J]. 石油机械, 2011, 39 (3): 12-16.  
Tao X H, Zhu H W, Zhang H. Analysis of mechanical properties of bellows during forming and expansion [J] China Petroleum Machinery, 2011, 39 (3): 12-16.
- [5] Wang G, Zhang K F, Wu D Z. Superplastic forming of bellows expansion joints made of titanium alloys [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, (178): 24-28.
- [6] Tsuyoshi Furushimaa, Nguyen Quang Hunga, Ken-ichi Manabe, et al. Development of semi-dieless metal bellows forming process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2013, (213): 1406-1411.
- [7] Boo Hyun Kang, Moon Yong Lee, Sung Man Shon, et al. Forming various shapes of tubular bellows using a single-step hydroforming process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, (194): 1-6.
- [8] 徐永锋. 水射流渐进成形工艺研究及加工路径的规划 [D]. 吉林: 吉林大学, 2009.  
Xu Y F. Research on Water Jet Progressive Forming Process and Planning of Machining Path [D]. Jilin: Jilin University, 2009.

- [9] Hashish M, Steele D E, Bothell D H. Machining with superpressure (690 MPa) waterjets [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 1997, 37: 465-479.
- [10] 周六如. 板料数控渐进成形变形区厚度变化规律的研究[J]. 机械工程学报, 2011, 47 (18): 50-54.  
Zhou L R. Research on the thickness change laws in numerical control incremental sheet forming [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47 (18): 50-54.
- [11] 路海龙. 金属板材高压水射流渐进成形工艺的研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2014.  
Lu H L. The Research on Progressive Forming Process of Sheet Metal by High Pressure Water Jet [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2014.
- [12] 宣守强, 邓沛然, 王苏静, 等. 先进高强度钢拉深工艺参数优化[J]. 锻压技术, 2021, 46 (7): 66-70.  
Xuan S Q, Deng P R, Wang S J, et al. Optimization on drawing process parameters for advanced high-strength steel [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (7): 66-70.

## 《锻压技术》杂志征稿简则

### 1 征稿范围

《锻压技术》(月刊)于1958年创刊,由北京机电研究所和中国机械工程学会塑性工程分会共同主办,是学会会刊。《锻压技术》是全国中文核心期刊,被以下检索系统收录:中文核心期刊要目总览(北京大学)、中国科学引文数据库(核心版, CSCD)、中国科技期刊引证报告(核心版, CJKR)、中国学术期刊文摘数据库(核心版, CSAD-C)、中国学术期刊文摘数据库(英文版)、中国学术期刊综合评价数据库、中国学术期刊(光盘版)、中国知网、万方数字化期刊群、RCCSE 中国核心学术期刊、美国剑桥科学文摘(CSA)、美国化学文摘(CA)、日本科学技术振兴机构数据库(JST)、俄罗斯文摘杂志(AJ)等。

《锻压技术》主要报道金属塑性成形理论、工艺与装备,模具设计与制造技术、材料与成形性能、工业加热技术及设备、摩擦与润滑、测试技术、计算机应用、标准等方面的科研成果、实验研究、现场经验、技术革新等,同时,还辟有综合评述、专题讲座及行业信息等栏目。

### 2 来稿格式及要求

(1) 摘要选用小5号字,正文选用5号字,单倍行距;页面设置选用A4纸,上下左右页边距均选用2 cm。

(2) 格式(按下列顺序排列,要求内容齐全)

● 论文的中文题目(不超过30字)、作者姓名、单位的全称(应包括院、系、科室等二级单位)、省名、城市名、邮政编码。

● 中文摘要:约300字,主要表达文章中有创新意义的内容,应含有研究目的、过程和方法、结果、结论4个层次;摘要中不要重复题目中已经表述过的信息,也不使用评论性语言。

● 中文关键词(5个以上),中图分类号1~2个(参见《中国图书馆分类法(第四版)》一书)。

● 论文的英文题目、作者姓名(如Zhang Yahong)、单位的全称(不得用缩写,应包括院、系、科室等二级单位)、城市名、邮政编码、国家名。

● 英文摘要:务必与中文摘要完全对应;摘要中涉及文章研究、阐述、设计、试验等内容时宜选用过去时、被动语态撰写(例如:A die was designed .....),结果、结论宜选用一般现在时撰写(例如:The results show that .....),不要使用“The paper studies ...”或“The author studies .....”这类语句。

● 英文关键词(5个以上),要求与中文关键词完全对应。

● 首页页脚需注明以下内容:

收稿日期:年-月-日(例如:2007-01-01);修订日期:此项可空缺,由编辑部填写

基金项目:省部以上基金资助项目及批准号(此项非常重要,请勿遗漏)

作者简介:第一作者姓名(出生年—),性别,学位,职称

E-mail: xx@xx

通讯作者:姓名(出生年—),性别,学位,职称(第一作者不是通讯作者时,请增加此项。)

E-mail: xx@xx

● 正文的“引言”部分不编号,亦不列出“引言”二字,直接陈述即可;一级标题用“1, 2, .....”排序;二级标题用“1.1, 1.2, .....”, 2.1, 2.2, .....排序;三级标题用“1.1.1, 1.1.2, ...”排序。

● 图片、表格、公式、定理等的序号均要按其在正文中引用、的顺序,分别用阿拉伯数字顺序编码,例如:图1、图2.....,表1、表2.....。

● 图片、表格应随文给出,先见文后见图、表。

● 图题(包括(a)、(b)等分图题)、表题要求同时用中、英文标注。

● 照片或灰度图应反差适当,鲜明可见;金相照片放大倍数均用比例尺表示,如5 μm。

● 双栏排图片的宽度应控制在7.8 cm左右;通栏排图片宽度应控制在16 cm左右。

● 表格使用三线表,必要时可加横线,但一般不得有竖线;表格的宽度最好设计成25个汉字(相当于48个字符)以内;表中所有文字一律左齐。

● 公式后应当注明公式中各符号的含义。

● 计量单位一律采用法定计量单位(国际单位制)。

● 参考文献应按其在正文中被引用的顺序依次列出(在正文中引用处务必用“[序号]”标注);列出的参考文献应是重要的、近期的、已正式发表的文献资料,每篇论文应列出12篇以上参考文献;作者不多于3个的姓名全部写出,多于3个的,余者用“, 等(, et al)”表示;无论中外署名,一律姓(首字大写)先名后(例如:Zhang Y H)。

原文为非英文的参考文献,需要同时用英文著录。

格式如下:

[1] 期刊 文章作者. 论文题目[J]. 刊名, 出版年, 卷号(期号): 起页码-终页码。

[2] 专著 作者. 书名(英文实词首字大写)[M]. 版本. 出版地: 出版社, 出版年。

[3] 译著 作者. 书名(英文实词首字大写)[M]. 译者, 译. 版本. 出版地: 出版社, 出版年。

[4] 论文集 论文作者. 论文题目[A]. 论文集编者. 论文集名(英文实词首字大写)[C]. 出版地: 出版者, 出版年。

[5] 技术报告 作者. 论文题目(英文实词首字大写)[R]. 地名: 责任单位, 出版年。

(下转第193页)