

数控螺旋压力机用多工位自动喷墨装置结构与有限元分析

吕宗洋¹, 赵至友², 赵国勇¹, 朱元刚², 陈伟²

(1. 山东理工大学 机械工程学院, 山东 淄博 255000; 2. 青岛宏达锻压机械有限公司, 山东 青岛 266300)

摘要: 模具喷涂石墨脱模剂润滑在锻造生产过程中起着关键作用, 在多工位数控螺旋压力机自动化生产线中, 人工喷涂石墨脱模剂的方式往往会造成喷涂不均匀、喷涂效果差, 影响工件脱模, 降低生产效率, 使锻造自动化生产线运行不畅。结合锻造工艺, 设计了一种数控螺旋压力机用多工位自动喷墨装置, 由石墨供给和石墨喷涂两部分组成, 利用气压传动和 PLC 控制技术对其进行传动与控制。对该装置进行调试验证并对石墨喷涂部件中的主要受力件万向轮滚轮架进行有限元分析。验证结果证明, 该装置能够实现喷墨量与喷墨位置可控, 喷墨均匀一致, 且结构简单、成本低, 可在多工位数控螺旋压力机自动化生产线上进行推广。

关键词: 锻造; 脱模剂; 自动化生产线; 多工位自动喷墨; 万向轮滚轮架

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.09.027

中图分类号: TG315

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2022) 09-0182-06

Structural design and finite element analysis on multi-station automatic ink-jet device for CNC screw press

Lyu Zongyang¹, Zhao Zhiyou², Zhao Guoyong¹, Zhu Yuangang², Chen Wei²

(1. School of Mechanical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China;

2. Qingdao Hongda Metal Forming Machinery Co., Ltd., Qingdao 266300, China)

Abstract: The lubrication of mold spraying graphite demoulding agent plays a key role in the forging production process. In the automatic production line of multi-station CNC screw press, the mode of manual spraying graphite demoulding agent often results in uneven spraying and poor spraying effect, which affects the demoulding of workpiece and reduces production efficiency, and makes the automatic production line of forging run poorly. Therefore, combined with the forging process, a multi-station automatic ink-jet device for CNC screw press was designed, which was composed of graphite supply and graphite spraying. Then, the device was driven and controlled by pneumatic transmission and PLC control technology. Furthermore, the device was debugged and verified, and the finite element analysis of universal wheel roller frame in the graphite spraying components was conducted. The experimental results show that the device can realize the controllable quantity and position of ink-jet, uniform ink-jet, simple structure and low cost, and can be popularized in the automatic production line of multi-station CNC screw press.

Key words: forging; demoulding agent; automatic production line; multi-station automatic ink-jet; universal wheel roller frame

锻造加工被广泛用于航天航空、发电、航运、工程机械、汽车、机床等领域。锻造自动化生产线能够通过多台机器人、多台压力机搭建一组多工位锻造成形流水线, 实现批量生产, 提高锻件的质量和一致性^[1-2]。在锻造过程中出于保护模具和锻造成形后便于脱模的目的, 通常选用石墨溶液作为脱模剂

以减少金属之间的摩擦磨损, 延长模具使用寿命。自动喷墨装置的使用, 能够大大减轻工人的劳动强度, 保证该操作的一致性和均匀性。目前, 锻造自动化生产线中使用的自动喷墨装置大多是将喷枪固定或者将喷头移动至模腔中心位置进行定点喷涂, 喷涂范围小, 喷雾不均匀, 不仅易造成锻造自动化生产线不畅通, 更不能满足多工位自动化生产线的要求。

针对喷涂石墨脱模剂的机械化与自动化, 许多学者进行了深入研究。杜立东^[3]介绍了锻造自动线喷淋润滑方式的发展方向以及自动化喷淋润滑系统的组成; 陈刚等^[4]设计了一款利用脚踏开关控制旋转气缸进行旋转来控制喷嘴的位置, 再利用压缩空气将石墨溶液进行雾化喷涂的装置; 周永明^[5]研发

收稿日期: 2021-12-12; 修订日期: 2022-03-15

基金项目: 2022 年青岛市科技计划重点研发专项 (22-3-2-qjh-10-gx)

作者简介: 吕宗洋 (1997-), 男, 硕士研究生

E-mail: lzyzongyang@163.com

通信作者: 赵国勇 (1976-), 男, 博士, 教授, 博士生导师

E-mail: zgy709@126.com

了一款利用锻件通过辊道时与通过辊道后触发机械机关来控制喷枪的喷涂设备, 以实现自动喷涂脱模剂; 罗文斌等^[6]针对汽车方向盘压铸生产中的实际应用难题, 设计了一种脱模剂自动喷涂装置, 解决了其他装置喷嘴较多、工序时间增加和喷嘴在旋转时的线路等问题; 周杰等^[7]结合模锻工艺提出了自动吹风喷墨系统; 戎文娟等^[8]针对工业石膏 3D 打印工艺, 设计了一种低成本、高效率阵列式喷墨石膏打印装置, 并对其进行了静力学分析与模态分析。

本文结合锻造工艺, 基于气压传动和 PLC 控制技术设计了一种数控螺旋压力机用多工位自动喷墨装置, 并通过实验验证了该装置对喷墨位置、喷墨量、喷墨时间控制的准确性, 同时对石墨喷涂部件中主要受力件万向轮滚轮架进行了有限元分析。

1 多工位自动喷墨装置结构设计

本文设计的数控螺旋压力机用多工位自动喷墨装置, 主要由石墨供给和石墨喷涂两部分组成。该装置

的动力结构均采用气压传动, 并利用 PLC 控制技术和接近开关组合, 达到对该装置的准确控制, 以保证能够完美地契合多工位锻造自动化生产线的生产节奏^[9]。

1.1 石墨喷涂部件

石墨喷涂部件由底板、圆柱刻度导轨、支撑气缸、滑动气缸、支撑板、储气罐与储液罐、电磁阀、移动挡套、万向轮、浮动连接装置和喷头往复运动机构等组成。万向轮安装在底板下方, 底板上安装有储气罐与储液罐。储气罐的出气口和储液罐的出液口分别连接有电磁阀 (两位两通电磁阀), 电磁阀通过三通与另一电磁阀 (两位三通电磁阀) 连接在一起 (图 1)。电磁阀出口可通过喷墨软管与喷头连接在一起。

如图 2 和图 3 所示, 浮动连接装置包括浮动接头、直线导轨、导向轴, 浮动接头与滑动气缸活塞杆连接, 再经过直线导轨与导向轴进行连接。喷头往复运动机构包括气动马达、导向轴、支撑架、轻质横梁、喷头、定位螺栓等。气动马达输出轴与旋转臂连接, 旋转臂与导向轴连接, 导向轴与轻质横梁连接, 轻质横梁上设有喷头并由定位螺栓固定。

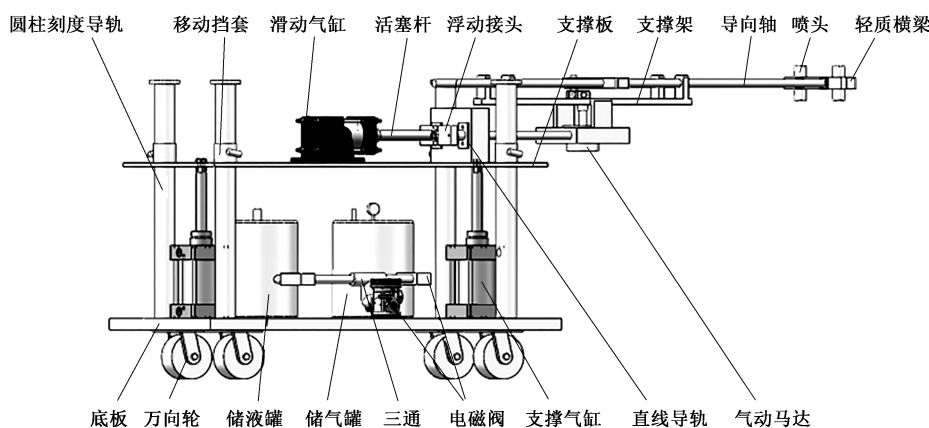


图 1 石墨喷涂部件

Fig. 1 Graphite spraying components

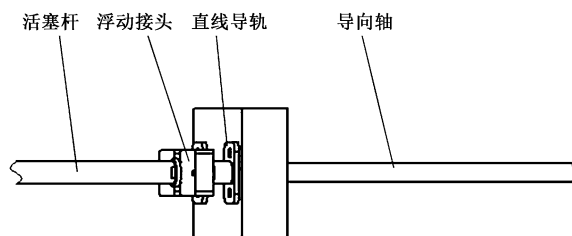


图 2 浮动连接装置

Fig. 2 Floating connection device

1.2 石墨供给部件

如图 4 所示, 石墨供给部件主要包括箱体、水泵、隔膜泵、气动泵、单向阀、连杆、叶片。整个

大箱体用隔板分为 3 个具有单独空间的箱体。其中盛有水和石墨溶液的箱体能够通过其上面安装的水泵实现与稀释箱体的连通。稀释箱体上安装有隔膜泵与气动泵, 下方安装有单向阀, 叶片安装在连杆底端, 且连杆与气动泵连接。

2 多工位自动喷墨装置控制系统

本文将 S7-200PLC 仿真软件用于多工位自动喷墨装置, 控制多工位自动喷墨装置的启动与关闭, 气缸和气动马达的启停与运转, 石墨脱模剂的喷涂与停止, 以及对喷墨量的控制。根据多工位自动喷

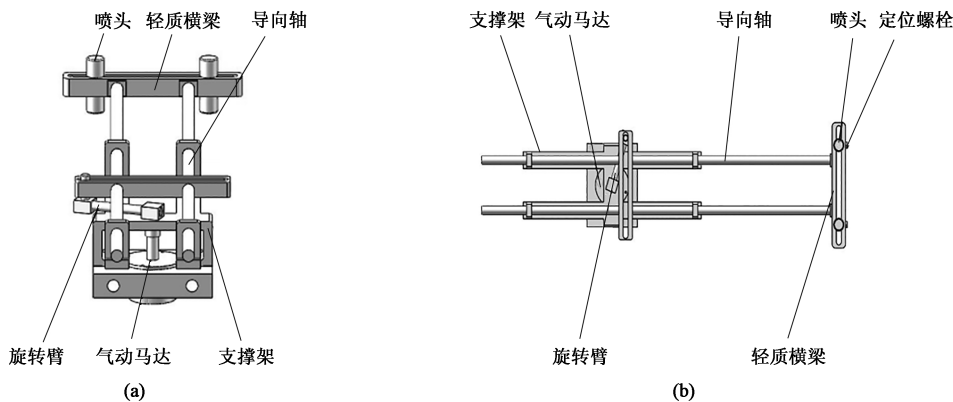


图 3 喷头往复运动机构

(a) 某角度左视图 (b) 俯视图

Fig. 3 Reciprocating motion mechanism of nozzle

(a) Left view from a certain angle (b) Top view

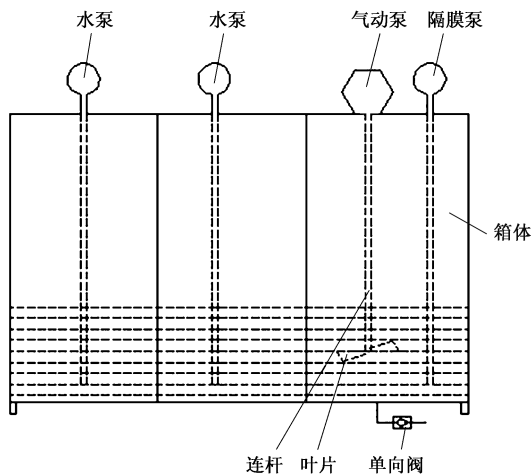


图 4 石墨供给部件

Fig. 4 Graphite supply components

墨系统的主要流程和功能需要以及后续功能扩展,考虑 PLC CPU 的价格及多工位自动喷墨装置对于 PLC 功能的需要,选用西门子 S7-200CPU226,图 5 为 PLC 控制系统框架图。

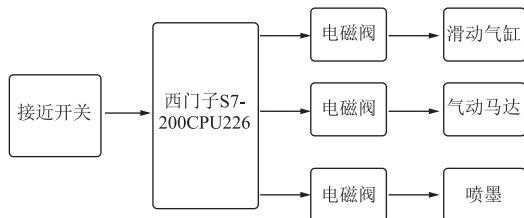


图 5 PLC 控制系统框架图

Fig. 5 Frame diagram of PLC control system

3 多工位自动喷墨装置工作原理

多工位自动喷墨装置分为石墨供给与石墨喷涂,

石墨供给部件主要通过 PLC 控制箱体上的水泵,将水和未稀释石墨溶液从各自的箱体中按照比例定量地抽取至装有隔膜泵的稀释箱体中,通过稀释箱体上方安装的气动泵带动连杆及叶片,对稀释箱体中的混合溶液进行均匀稀释,同时也能够防止石墨溶液沉淀。达到喷涂模具所需要的浓度后,可通过隔膜泵将稀释好的石墨溶液通过输液管运输至储液罐中,同时能够利用盛有水的箱体上的水泵和稀释箱体下方的单向阀,完成对稀释箱体的清洗。

在石墨喷涂部件中,通过底板下方的万向轮以及底板上方的支撑气缸与圆柱刻度导轨和移动挡套的组合,可以调整该装置和上下模具之间的相对位置。支撑气缸与支撑板连接,调整后,支撑气缸保持工作状态不变。支撑板上的滑动气缸通过浮动接头与导向轴连接在一起。接近开关安装在压力机滑块回程上极限位置处的立柱上,利用 PLC 与接近开关,通过控制电磁阀进而控制滑动气缸的行程与回程,准确控制喷头在上下模具之间进出的时机。浮动接头能够避免导向轴和滑动气缸活塞杆的刚性连接。导向轴顶端安装有气动马达,气动马达输出轴带动旋转臂进行旋转运动,使导向轴在支撑架上做往复直线运动,从而使导向轴顶端轻质横梁上的喷头进行往复喷涂,使石墨溶液的喷涂更加均匀。根据多工位模具各工位之间的距离不同,通过定位螺栓可以调整各喷头之间的距离,更好地适应不同的模具喷涂石墨溶液。储气罐出口与储液罐出口分别连接有电磁阀,再通过三通与多出口电磁阀连接在一起,再用喷墨软管将多出口电磁阀与喷头连接在一起,利用压缩气体将石墨溶液带到喷头处

进行雾化喷涂，通过控制电磁阀的开关程度来控制是否喷墨以及喷墨量大小。

4 调试验证以及万向轮滚轮架有限元分析

4.1 调试验证

进行实物验证前，首先使用 S7-200PLC 仿真软件对多工位自动喷墨装置进行模拟实际信号的输入与输出，观察输入、输出接口状态指示灯是否与设计流程相符，相符后，连接实物，观察设备实际运

行情况。

图 6 为将该装置安装在生产连杆与球头座两种锻件的某压力机上进行验证的喷涂过程。在连杆与球头座锻件的生产过程中，该装置能够按设定的程序，准确到达模具上下模腔的中心位置，对连杆锻件的喷墨时间为每道次 4 s，球头座锻件的喷墨时间为每道次 3 s，喷涂过程中均进行往复喷涂两次。同时在喷涂过程中产生的喷溅浪费少，喷墨量控制的准确性高。观察喷墨装置喷涂后的连杆与球头座模具的喷涂情况（图 7），可发现模具模腔表面的石墨溶液喷涂均匀一致。

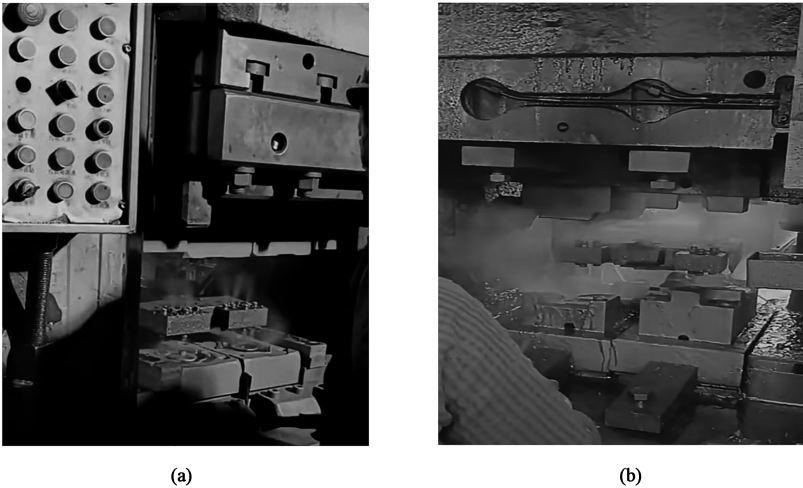


图 6 石墨溶液喷涂过程
(a) 连杆锻件喷涂石墨溶液 (b) 球头座锻件喷涂石墨溶液

Fig. 6 Spraying process of graphite solution
(a) Graphite solution spray on connecting rod forgings (b) Graphite solution spray on ball head seat forgings

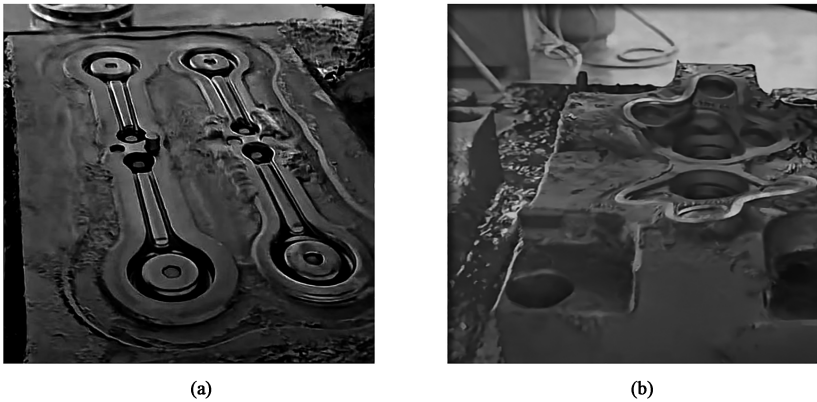


图 7 模具喷涂效果
(a) 连杆模具喷涂效果 (b) 球头座模具喷涂效果

Fig. 7 Spraying effect of mold
(a) Spraying effect of connecting rod mold (b) Spraying effect of ball head seat mold

4.2 万向轮滚轮架有限元分析

石墨喷涂部件中万向轮滚轮架是喷涂过程中的主

要受力件，因此，对万向轮滚轮架进行静力学分析^[10-12]。建立万向轮滚轮架的简化模型，如图 8 所示。

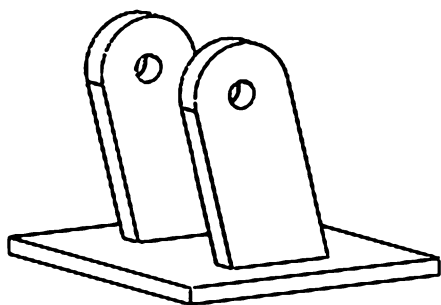


图 8 万向轮滚轮架简图

Fig. 8 Sketch of universal wheel roller frame

将简化后的万向轮滚轮架模型导入至 ANSYS Workbench 中进行分析, 万向轮滚轮架的材料为 Q235 钢, 其弹性模量为 2.10 GPa, 泊松比为 0.33, 常温下密度为 $7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。对其采用 ANSYS Work-bench 自动网格划分方法进行网格划分, 网格平均尺寸为 3 mm, 最小边界长度为 4.36 mm, 得到的万向轮滚轮架网格模型 (图 9) 共有 39385 个节点和

21915 个单元。对滚轮轴孔进行约束, 在万向轮滚轮架与底板接触面施加 250 N 载荷, 得到的万向轮滚轮架的变形量和等效应力分布如图 10 所示。从图 10 中可以看出, 万向轮滚轮架在力的作用下, 最大变形量为 0.00262590 mm, 最大等效应力为 3.317100 MPa, 远远小于 Q235 钢的屈服强度 (屈服强度 $R_{eL} \geq 235 \text{ MPa}$), 满足设计要求。

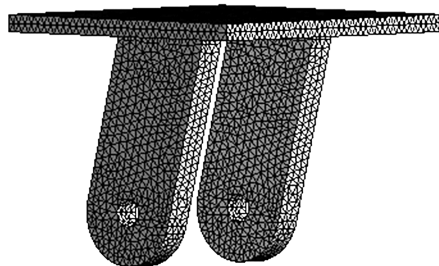


图 9 万向轮滚轮架网格模型

Fig. 9 Grid model of universal wheel roller frame

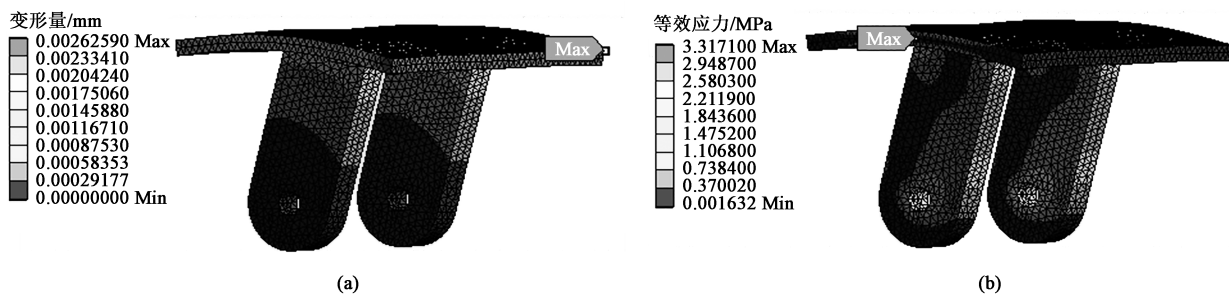


图 10 万向轮滚轮架 ANSYS 分析结果

(a) 变形量 (b) 等效应力

Fig. 10 ANSYS analysis results of universal wheel roller frame

(a) Deformation amount (b) Equivalent stress

5 结论

(1) 针对多工位数控螺旋压力机自动化生产线中喷涂脱模剂工序的实际需求, 设计了一种能够喷涂石墨溶液的多工位自动喷墨装置。该多工位自动喷墨装置由石墨供给和石墨喷涂两部分组成, 利用气压传动和 PLC 进行控制, 在简化系统的同时提高装置的可靠性与稳定性, 使用定位螺栓固定喷头, 方便对喷头位置进行调整, 利用气动马达带动喷头的往复运动机构, 使得喷墨的范围广, 喷墨均匀、一致性好。

(2) 通过该装置在连杆与球头座锻件生产过程中的喷涂实验, 证实该装置对喷墨时间、喷墨位置、喷墨量的控制具有良好效果。

(3) 对主要受力件万向轮滚轮架进行了静力学分析, 万向轮滚轮架的最大变形量为 0.00262590 mm, 最大等效应力为 3.317100 MPa, 均小于其材料的许用屈服强度, 符合设计要求。

(4) 该多工位自动喷墨装置可在多工位数控螺旋压力机自动化生产线上进行推广应用。

参考文献:

- [1] 尚延伟, 陈伟浩, 韩禄. 连续旋转式喷脱模剂装置的研究与设计 [J]. 机械工程与自动化, 2019, (6): 122-123.
Shang Y W, Chen W H, Han L. Research and design of continuous rotary spray demoulding device [J]. Mechanical Engineering & Automation, 2019, (6): 122-123.
- [2] 黄廷波, 李旭东, 左玉成, 等. 温精锻直伞锥齿轮自动化锻造生产线研制 [J]. 锻压装备与制造技术, 2021, 56 (4): 80-82.

- Huang T B, Li X D, Zuo Y C, et al. Development of automatic forging production line for warm precision forging straight bevel gear [J]. China Metalforming Equipment & Manufacturing Technology, 2021, 56 (4): 80-82.
- [3] 杜立东. 热模锻自动线喷淋润滑系统应用 [J]. 金属加工: 热加工, 2015, (9): 14-16.
- Du L D. Application of spray lubrication system for automatic line of hot die forging [J]. MW Metal Forming, 2015, (9): 14-16.
- [4] 陈刚, 石钟良. 气门锻压模具润滑改进及对比分析 [J]. 机电工程技术, 2010, 39 (8): 173-174.
- Chen G, Shi Z L. Lubrication improvement and comparative analysis of valve forging die [J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2010, 39 (8): 173-174.
- [5] 周永明. SK-2 型双块式轨枕自动喷涂脱模剂装置的设计与应用 [J]. 国防交通工程与技术, 2015, 13 (2): 40-42.
- Zhou Y M. The design and application of SK-2 double-block automatic spraying release agent device for sleepers [J]. Traffic Engineering and Technology for National Defence, 2015, 13 (2): 40-42.
- [6] 罗文斌, 李仪有, 高成慧, 等. 汽车方向盘模具脱模剂自动喷涂装置的设计 [J]. 轻工科技, 2019, 35 (8): 84-85.
- Luo W B, Li Y Y, Gao C H, et al. Design of automatic spraying device for demoulding agent of automobile steering wheel mould [J]. Light Industry Science and Technology, 2019, 35 (8): 84-85.
- [7] 周杰, 王珣, 顾铭, 等. 基于 PLC 的模锻自动吹风喷墨系统设计 [J]. 热加工工艺, 2015, 44 (19): 140-143.
- Zhou J, Wang X, Gu M, et al. Design of automatic air blowing ink-jet system for die forging based on PLC [J]. Hot Working Technology, 2015, 44 (19): 140-143.
- [8] 戎文娟, 王永威, 王佳琳, 等. 阵列式喷墨石膏打印装置设计及结构仿真分析 [J]. 制造业自动化, 2021, 43 (1): 74-77.
- Rong W J, Wang Y W, Wang J L, et al. Design and structural simulation analysis of array ink-jet gypsum printing device [J]. Manufacturing Automation, 2021, 43 (1): 74-77.
- [9] 马亚温, 龙小军. 一种自动喷石墨装置 [P]. 中国: 201921893721.4, 2020-07-24.
- Ma Y W, Long X J. An automatic graphite spraying device [P]. China: 201921893721.4, 2020-07-24.
- [10] 邵俊鹏, 徐龙飞, 孙桂涛. 液压缸静压支承抗偏载特性分析 [J]. 中国机械工程, 2020, 31 (18): 2174-2180.
- Shao J P, Xu L F, Sun G T, et al. Analysis of anti-bias load characteristics of hydrostatic bearing of hydraulic cylinder [J]. China Mechanical Engineering, 2020, 31 (18): 2174-2180.
- [11] 陈超, 秦登林, 赵升吨, 等. 1600 kN 精压机工作机构的力学分析 [J]. 塑性工程学报, 2021, 28 (5): 53-61.
- Chen C, Qin D L, Zhao S D, et al. Mechanical analysis of working mechanism of 1600 kN press [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2021, 28 (5): 53-61.
- [12] 刘静. 22000 kN 高效智能伺服压力机的智能偏心力矩检测系统 [J]. 机械设计, 2019, 36 (S2): 116-118.
- Liu J. Intelligent eccentric torque detection system for 22000 kN high efficiency intelligent servo press [J]. Journal of Machine Design, 2019, 36 (S2): 116-118.

《锻压技术》杂志敬告新老广告客户

2022 年广告征集工作已经开始。本刊主要承接锻造、冲压、旋压、辊锻、摆辗、斜轧、横轧和楔横轧设备及锻压辅助设备, 仪器、仪表、模具工业、工业加热设备、热处理设备、加热技术、摩擦与润滑、工艺材料和锻件、冲压件、管件及其特种成形件 (旋压、辊锻、摆辗、斜轧、横轧和楔横轧) 等广告; 各科研院所科技成果转让、企业介绍等与本行业相关的广告。您选择《锻压技术》进行广告宣传的理由:

(1) 平台大, 宣传效果好:

- 全国中文核心期刊, 全国锻压行业会刊, 是锻压领域知名、精品期刊;
- 与北京机电研究所有限公司、中国机械工程学会塑性工程分会、全国锻压标准化技术委员会密切合作;
- 报道内容全, 发行量大。

(2) 服务全, 广告费用低:

立体式全方位宣传, 杂志、网站和微信等纸媒和数字媒体宣传渠道。

请登录本刊网站, 点击“广告合作”查询具体广告价目。

为了使您的产品能够保持畅销的势头, 不断占领国内外市场, 请您抓紧时间安排贵公司在本刊刊登的广告计划。欢迎广大新老客户踊跃咨询、积极预定。需刊登广告者, 敬请与本刊联系。

愿我们真诚的服务能为您创造良好的效益。

地址: 北京市海淀区学清路 18 号《锻压技术》编辑部 广告部 邮编: 100083

联系人: 林玉彤 手机: 18811346037 E-mail: fst_linyutong@163.com

电话: 010-62920652 Http: //www.fstjournal.net

