

快速换模技术在锻造自动化生产线上的应用

赵一冰¹, 刘庆生¹, 姚宏亮¹, 付殿禹¹, 曾琦¹, 张南¹, 吴鑫波²

(1. 中国机械总院集团北京机电研究所有限公司, 北京 100083; 2. 一汽锻造有限公司, 吉林 长春 130011)

摘要: 利用叉车配合吊装等传统的模具更换模式通常需要花费大量时间去找准模座和设备的定位, 换模效率较低。针对某锻造自动化生产线上 63000 kN 压力机的具体情况, 同时为了避免因压力机检修平台占用较大的空间范围而对模具吊装造成的影响, 提出采用两级传动的快速换模装置, 节省成本的同时达到了快速换模的目的。此外, 采用液压式夹模机构锁紧模架代替由 T 形螺栓加螺母预紧模架的传统形式, 在拆卸及安装模架的过程中大大地减轻了操作人员的工作强度, 提高了工作效率。经过生产验证, 该快速换模技术可以明显提高齿轮锻造自动生产线上的换模效率, 也为其他产品的锻造自动化生产线上的换模方案提供了借鉴和参考。

关键词: 锻造; 快速换模技术; 两级传动; 夹模机构; 换模时间

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.02.022

中图分类号: TP29 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2023) 02-0174-06

Application of rapid mold change technology in forging automatic production line

Zhao Yibing¹, Liu Qingsheng¹, Yao Hongliang¹, Fu Dianyu¹, Zeng Qi¹, Zhang Nan¹, Wu Xinbo²

(1. Beijing Research Institute of Mechanical & Electrical Technology Co., Ltd. CAM, Beijing 100083, China;
2. FAW Foundry Co., Ltd., Changchun 130011, China)

Abstract: Traditional mold replacement modes such as using forklift to coordinate lifting usually takes a lot of time to find the positioning between mold base and equipment, and the mold change efficiency is low. Therefore, according to the specific situation of a 63000 kN press in a forging automatic production line, and in order to avoid the influence of the larger space occupied by the press maintenance platform on the mold hoisting at the same time, a two-stage transmission rapid mold change device was adopted, which saved costs and achieved the purpose of rapid mold change. In addition, the hydraulic clamping mold mechanism was used to lock the mold formwork instead of the traditional form of preloading the mold formwork by T-bolts and nuts, which greatly reduced the work intensity of operator and improved the work efficiency during the process of disassembling and installing the mold formwork. After production verification, the results show that the rapid mold change technology can obviously improve the efficiency of mold change in gear forging automatic production line, and also provides a reference for the mold change scheme on the forging automatic production line of other products.

Key words: forging; rapid mold change technology; two-stage transmission; clamping mold mechanism; mold change time

对生产型企业来讲, 生产效率是至关重要的, 其一方面要求降低生产节拍及提升生产的稳定性, 另一方面要求在转产过程中尽量提高工作效率。更换模具是转产过程中的重要一环, 随着模具磨损程度的增加或生产品种的更换, 均会导致频繁地更换模具及模架, 这就要求快速换模技术日趋成熟和完善^[1-3]。针对某企业的 1 条齿轮锻造自动化生产线中 63000 kN 压力机的模具锁紧与快速更换的需求,

设计并应用了一种快速换模技术。经验证, 此技术节省了产品的换模时间和生产启动时间等, 并且在压力机带载试车及生产过程中, 液压式夹模机构无明显故障, 模具锁紧功能正常。

1 快速换模技术应用的目的

当前, 在国内的一些锻造企业中, 模架的紧固仍以 T 形螺栓加螺母预紧的形式为主, 如图 1 所示。以 A 锻造自动化生产线为例, 操作人员在换模时安装和拆卸 T 形螺栓及螺母总计耗时 40 min (2400 s), 可以看出该过程需要花费较长的时间, 且较为不便。

收稿日期: 2022-03-18; 修订日期: 2022-06-19

作者简介: 赵一冰 (1993-), 男, 学士, 工程师

E-mail: 1826643982@qq.com



图 1 A 锻造自动化生产线上模架的传统锁紧形式

Fig. 1 Traditional locking form of mold formwork in forging automatic production line A

此外，一些锻造企业中换模的方式仍然为利用叉车配合吊装设备的形式。叉车驾驶员在操作过程中由于其视线原因很难在较短的时间内找准模具和设备之间的定位，需要额外的操作人员进行指挥，叉车需经过多次的位置调整方可将模架对准设备的定位件。这一过程中指挥的人员需要时刻注意叉车的位置，存在着一定的安全隐患^[4-5]。以 A 锻造自动化生产线为例，利用叉车配合吊装设备换模（推入模架及拉出模架）需要花费 45 min（2700 s）的时间，可知换模过程花费了较长的时间，且较为不便。

A 锻造自动化生产线上安装及拆卸模架紧固件及换模的时间总和为 85 min（5100 s）。为了提高在锻造自动化生产线中换模的效率及质量，将模架液压锁紧机构和快速换模装置应用在 B 企业的 1 条齿轮锻造自动化生产线中的 63000 kN 压力机上，并且在实际应用过程中进行了时间统计，为后续快速换模技术的提升和改善提供了数据支撑和参考。

2 两级传动快速换模装置的结构组成和工作原理

2.1 两级传动快速换模装置的结构组成

由于该 63000 kN 压力机的云台（检修平台）尺寸较大，云台最外侧边缘至设备中心线的距离为 3670 mm，如图 2 所示。如果应用固定式的换模装置，那么为了避免在模架、模具吊装至换模装置的过程中，钩绳和主钩本体与设备云台的干涉，换模装置长度方向上的整体尺寸需要设计的较大，这样会增加较多的成本，且换模装置占用的空间较大。

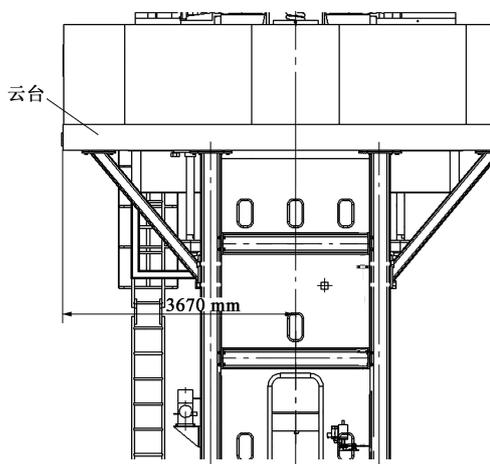


图 2 63000 kN 压力机检修平台尺寸图

Fig. 2 Dimension drawing of maintenance platform for 63000 kN press

因此，选择应用两级传动快速换模装置，换模装置可以在轨道上整体移动。

快速换模装置的结构组成如图 3 所示，主要由车架、插臂、一级传动机构、二级传动机构、模架定位机构、定位销等零部件组成。一级传动机构用于驱动快速换模装置在与其配合的导轨上移动；二级传动机构用于将模架从压力机中拉出或推进压力机中；一级和二级传动机构均为电机驱动链条、链轮的形式。模架定位机构用于吊装时定位模架在插臂上的位置。

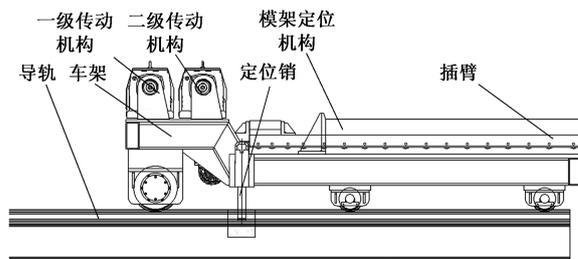


图 3 快速换模装置结构图

Fig. 3 Structure diagram of rapid mold change device

2.2 两级传动快速换模装置的工作原理

换模时，操作 63000 kN 压力机的滑块下移合模，松开模架与工作台垫板及滑块之间的液压式夹模机构，由设备下顶出机构将上、下模架及模具顶起。换模装置由初始位置移动至换模位置，到位后插臂伸进模架下方将上、下模架及模具拖住，设备下顶出机构缩回，插臂移出设备外，换模装置整体移动至初始位置，将原模架、模具吊装至模具区。

将另一套已合模的模架、模具整体吊装至插臂上，由模架定位机构定位，换模装置整体移动至换

模位置。到位后将定位销插入定位套，插臂将模架拖进设备，插臂到位后由设备下顶出机构顶出拖住模架，顶出高度高于换模车插臂的厚度，插臂抽出

设备，设备下顶出机构落回，安装夹模机构并锁紧，上、下模架及模具锁紧在设备上，完成模具快换的过程^[6]。快速换模装置的工作过程如图 4 所示。

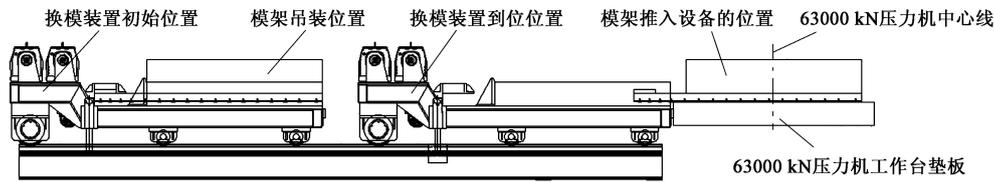


图 4 快速换模装置的工作过程

Fig. 4 Working process of rapid mold change device

3 夹模机构的设计分析

3.1 夹模机构的结构组成及工作原理

夹模机构采用了一种可手持的液压式单作用

油缸的形式^[7-9]。其结构组成如图 5 所示。包含：缸筒、活塞、活塞杆、缸盖、弹簧、活塞密封件、活塞杆密封件、导向环、防尘圈。弹簧预装在缸盖和活塞之间。活塞杆与活塞是螺纹连接。

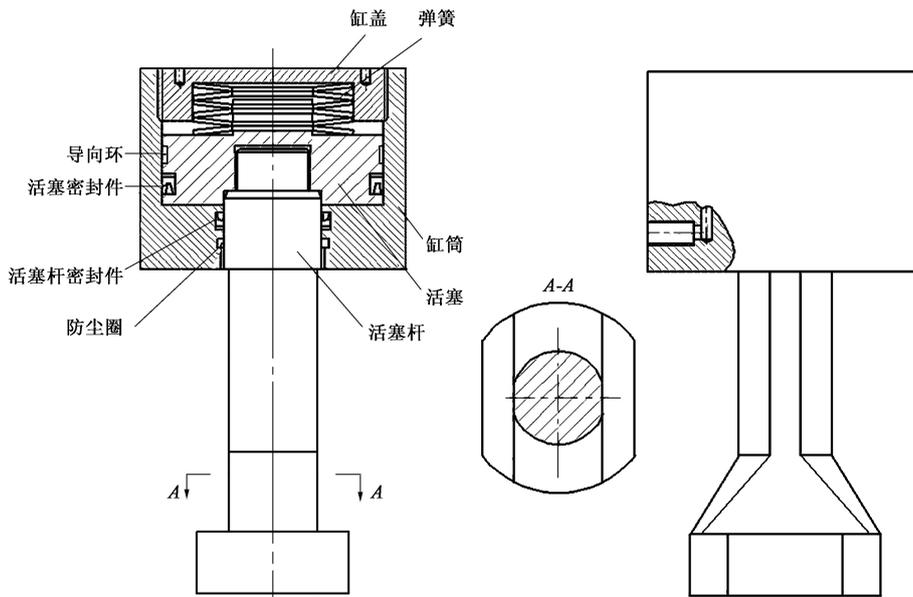


图 5 夹模机构结构图

Fig. 5 Structural diagram of clamping mold mechanism

当需要将模架锁紧在设备上时，液压系统建立起工作压力，活塞在油压力的作用下挤压弹簧带动活塞杆实现缩回，由活塞杆的 T 形端面压紧在设备垫板或滑块的 T 形槽端面上，实现模架和设备之间的锁紧。当要拆卸模架时，设备滑块下落合模，液压系统卸载，活塞和活塞杆在弹簧回复力的作用下向外伸出，此时设备和模架间不再有预紧力，可以拆卸模架。夹模机构的安装位置如图 6 所示。

液压系统中的各路液压阀由压力继电器控制，系统压力设定在一个范围之内。在系统压力低于某值时液压系统进行补压，若超过 30 s 补压不到位，

此时电控系统会发生故障报警。在报警的这一段时间内，由于夹模机构的活塞杆 T 形端面的结构形式，上模座不会掉落，操作人员需要停机，之后进行系统的检修。该夹模机构是安全可靠的。

3.2 夹模机构的设计

该夹模机构的整体设计思路为：

(1) 根据上、下模和模架的质量计算出上、下模各自需要的夹紧力的大小。计算公式如下：

$$F_{\text{上}} = n \times m_{\text{上}} \times g \quad (1)$$

$$F_{\text{下}} = n \times m_{\text{下}} \times g \quad (2)$$

式中： $F_{\text{上}}$ 为上模所需的夹紧力，kN； $F_{\text{下}}$ 为下模所

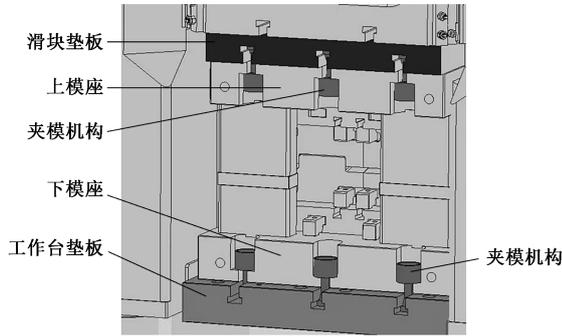


图 6 夹模机构安装位置图

Fig. 6 Installation position diagram of clamping mold mechanism

需的夹紧力, kN; n 为安全系数, 此处取 10, 模架所需的夹紧力与压力机滑块的加速度、设备的打击力、拔模力、模架及模具质量等参数有关, 此安全系数是将这些参数综合考量后并在多个项目应用中积累出的与模架质量有关的一个经验值, 供参考; $m_{上}$ 为上模架和上模的总质量, kg, 此处取 13.2×10^3 kg; $m_{下}$ 为下模架和下模具的总质量, kg, 此处取 13.0×10^3 kg; g 为重力常数, 取 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

计算出上模需要的夹紧力为 1320 kN, 下模需要的夹紧力为 1300 kN。

(2) 根据所需夹模机构的数量计算出单个夹模机构所需要的夹紧力。计算公式如下:

$$F_a = F_{上} / a \quad (3)$$

$$F_b = F_{下} / b \quad (4)$$

式中: F_a 为上模单个夹模机构的夹紧力, kN; a 为上模夹模机构的数量, 此处取 6; F_b 为下模单个夹模机构的夹紧力, kN; b 为下模夹模机构的数量, 此处取 6。

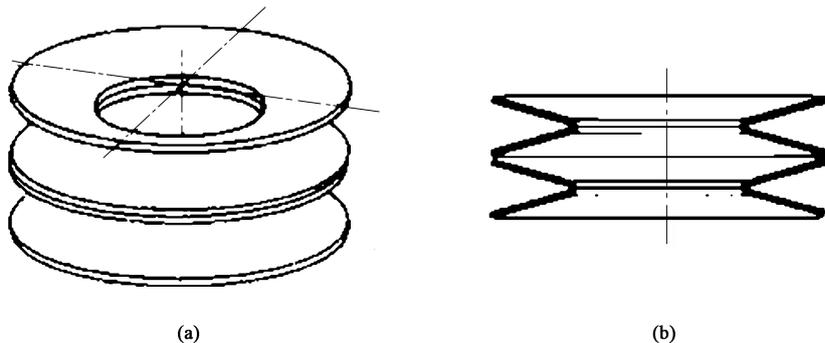


图 7 对合组合碟形弹簧外形 (a) 和截面 (b) 图

Fig. 7 Diagrams of shape (a) and cross section (b) for disc springs in involuement combination

(6) 确认碟簧的具体型号和数量。碟簧预安装时的预压缩量应占其全压缩量的 15%~25%。考虑到碟簧的使用寿命, 夹模机构在压缩全行程后碟簧

计算出上模单个夹模机构的夹紧力至少为 220 kN, 下模单个夹模机构的夹紧力至少为 216 kN。实际生产中, 上、下模的单个夹模机构夹紧力均设计为 250 kN。

(3) 根据夹模机构的夹紧力以及液压系统的工作压力计算出活塞上的作用面积, 进而设计出缸径、杆径等参数。

(4) 设计夹模机构的全行程。计算公式如下:

$$X = Y + Z \quad (5)$$

式中: X 为该夹模机构的全行程, mm; Y 为夹模机构的实际使用行程, mm, 此处取 4 mm; Z 为夹模机构的安全行程, mm, 此处取 4 mm。

计算出该夹模机构的全行程为 8 mm。再根据设备垫板、滑块的 T 形槽尺寸以及夹模厚度, 进一步设计活塞杆。

(5) 选择弹簧的种类并设计安装形式。夹模机构中弹簧选用碟簧 (碟形弹簧)。碟簧相比于其他类型弹簧的优势在于: 碟簧单位体积的变形能较大, 具有良好的缓冲吸震能力; 在较小的空间内能够承受极大的载荷; 具有高疲劳寿命和低加载损失的特点^[10-11]。碟簧的安装类型分为两种, 叠合式安装和对合式安装。一组单片碟簧按照相同方向叠合使用, 称作叠合组合碟形弹簧; 反之, 一组单片碟型弹簧按照不同方向交替对合使用, 称作对合组合碟形弹簧, 如图 7 所示。对合组合情况下, 碟簧组的总变形量为弹簧组内单片弹簧变形量的总和, 载荷则与单片弹簧的载荷相同^[12]。本次应用中夹模机构的弹簧不需要承受较大载荷, 但要求弹簧在有限的安装空间内产生一定的变形量。因此, 碟簧的安装方式设计为对合式安装。

的实际压缩量应不超过其全压缩量的 80%, 依据这些原则以及碟簧组的预安装尺寸来设计碟簧的数量。

4 使用验证

经过长时间的生产跟踪和设备使用验证,该夹模机构和快速换模装置的工作情况良好。操作人员安装和拆卸夹模机构的总用时为 5 min(300 s),相比于模具的传统紧固方式,在此部分工作的用时缩短了 35 min(2100 s)。图 8 为该锻造自动化生产线上正在使用的夹模机构。利用两级传动快速换模装置拉出及推入模具的总用时为 6 min(360 s),相比于传统的模具传输方式,缩短了 39 min(2340 s),大大减少了换模过程的时间,同时降低了操作人员的工作强度,且故障率较低,满足了设计和使用要求。图 9 为该锻造自动化生产线上正在使用的快速换模装置。



图 8 夹模机构在锻造自动化生产线上的应用

Fig. 8 Application of clamping mold mechanism in forging automatic production line



图 9 快速换模装置在锻造自动化生产线上的应用

Fig. 9 Application of rapid mold change device in forging automatic production line

5 结语

快速换模装置和夹模机构等快速换模技术在锻造自动化生产线上的应用相比于传统的换模方式,换模时间减少了约 74 min(4440 s),大大提高了生产效率。转产时间的大量缩短可以帮助企业在生产中实现均衡化,对企业实施精益生产具有促进作用。快速换模技术在该齿轮锻造自动化生产线上的应用也为其他产品的锻造自动化生产线上的换模方案提供了借鉴和参考,是十分有意义的。

参考文献:

- [1] 李鹏,王中华,姚茂志. GIS 产品用碟簧电动压紧工装的设计及应用 [J]. 机电信息, 2012, (27): 118-119.
Li P, Wang Z H, Yao M Z. Design and application of disc spring electric pressing tool for GIS products [J]. Mechanical and Electrical Information, 2012, (27): 118-119.
- [2] 顾惠红,周炳海. 基于精益生产方式的快速换模实践研究 [J]. 精密制造与自动化, 2019, (1): 15-18, 47.
Gu H H, Zhou B H. Research on the practice of SMED based on lean production [J]. Precise Manufacturing & Automation, 2019, (1): 15-18, 47.
- [3] 朱霖,孙健,闫浩丁,等. 自动换模系统在冲压生产线中的应用 [J]. 锻压装备与制造技术, 2018, 53 (5): 17-18.
Zhu L, Sun J, Lyu H D, et al. Application of automatic die changing system in stamping production line [J]. China Metalforming Equipment & Manufacturing Technology, 2018, 53 (5): 17-18.
- [4] 解育男,王春梅,张冠武. 压力机快速换模装置 [J]. 锻压机械, 2000, (3): 16-18.
Xie Y N, Wang C M, Zhang G W. Device for quick die change of press [J]. Metalforming Machinery, 2000, (3): 16-18.
- [5] 潘地磊,范如明,吉桂生,等. 快速换模装置在热模锻压力机中的应用 [J]. 锻压装备与制造技术, 2018, 53 (6): 39-40.
Pan D L, Fan R M, Ji G S, et al. Application of rapid die change device in hot die forging press [J]. China Metalforming Equipment & Manufacturing Technology, 2018, 53 (6): 39-40.
- [6] 钱荣芳. 大型压力机的快速换模系统设计 [J]. 锻压装备与制造技术, 2005, 40 (5): 23-25.
Qian R F. Design of quick die change system for heavy-duty press [J]. China Metalforming Equipment & Manufacturing Technology, 2005, 40 (5): 23-25.
- [7] 王野牧. 自动液压夹紧器及其液压控制系统设计 [J]. 机床与液压, 2005, (2): 111-112.
Wang Y M. Design of automatic hydraulic clamp and its hydraulic

- control system [J]. *Machine Tool & Hydraulics*, 2005, (2): 111-112.
- [8] 王风舞. 德国模具夹紧技术介绍(二)——固定位置的模具夹紧技术[J]. *锻压装备与制造技术*, 2009, 44(2): 60-61.
Wang F W. Introduction to German mold clamping technology (2) -Fixed position mold clamping technology [J]. *China Metal-forming Equipment & Manufacturing Technology*, 2009, 44(2): 60-61.
- [9] 韩梅. 车身冲压线模具快速夹紧装置的应用[J]. *现代零部件*, 2011, (10): 42-44.
Han M. Application of die quick clamping device in body press line [J]. *Modern Components*, 2011, (10): 42-44.
- [10] 郝小波, 刘训志, 周家勇. 某碟形弹簧疲劳失效分析[J]. *技术与市场*, 2011, 18(7): 3-4.
Hao X B, Liu X Z, Zhou J Y. Fatigue life analysis of a connecting pipe system [J]. *Technology and Market*, 2011, 18(7): 3-4.
- [11] 时黛, 林国庆. 基于 ANSYS 对液压-卡扎里密封顶紧器碟簧组设计及有限元分析[J]. *液压与气动*, 2020, (10): 84-89.
Shi D, Lin G Q. The design and finite element analysis of disc spring group in the hydraulic-casale sealing clamp device based on ANSYS [J]. *Chinese Hydraulics & Pneumatics*, 2020, (10): 84-89.
- [12] 闻邦春, 张义民, 鄂中凯, 等. *机械设计手册* [M]. 5版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
Wen B C, Zhang Y M, E Z K, et al. *Mechanical Design Handbook* [M]. 5th Edition. Beijing: Machinery Industry Press, 2010.

(上接第141页)

- Liu J N. Research on deformation control of aircraft engine casing parts [J]. *New Technology & New Products of China*, 2017, (12): 46-47.
- [4] 王北平, 韩冬, 王兆楠, 等. 细长薄壁发动机金属壳体精密制造技术[J]. *锻压技术*, 2022, 47(12): 200-205.
Wang B P, Han D, Wang Z N, et al. Precision manufacturing technology on slender thin-walled engine metal housing [J]. *Forging & Stamping Technology*, 2022, 47(12): 200-205.
- [5] 肖刚锋, 夏琴香, 张义龙, 等. 镍基高温合金旋压成形技术研究现状[J]. *航空制造技术*, 2020, 63(21): 46-53.
Xiao G F, Xia Q X, Zhang Y L, et al. Research status of spinning forming nickel-based superalloy [J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2020, 63(21): 46-53.
- [6] 王兴坤. 难变形金属筒形件热强旋成形机理及工艺参数优化[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
Wang X K. Study on Forming Mechanism and Process Optimization of Hot Power Spinning for Hard-to-deform Metal Tubular Parts [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.
- [7] 肖刚锋, 张义龙, 夏琴香, 等. 镍基高温合金锥形筒形件拉深旋压时成形质量及组织性能研究[J]. *锻压技术*, 2021, 46(9): 190-196.
Xiao G F, Zhang Y L, Xia Q X, et al. Research on forming quality, microstructure and properties for Ni-based superalloy conical-cylindrical parts during deep-drawing spinning [J]. *Forging & Stamping Technology*, 2021, 46(9): 190-196.
- [8] 王雨, 束学道, 李子轩, 等. 壁厚连续变化锥形旋压件壁厚偏差分析及工艺参数优化[A]. 2017年第七届全国地方机械工程学学术年会暨海峡两岸机械科技学术论坛论文集[C]. 文昌, 2017.
Wang Y, Shu X D, Li Z X, et al. Analysis of wall thickness deviation of conical spinning parts with continuous change in wall thickness and optimization of process parameters [A]. *Proceedings of the 7th National Local Mechanical Engineering Society Annual Conference and Cross-Strait Mechanical Science and Technology Academic Forum in 2017* [C]. Wenchang, 2017.
- [9] Li Z X, Shu X D. Numerical and experimental analysis on multi-pass conventional spinning of the cylindrical part with GH3030 [J]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2019, 103(5-8): 2893-2901.
- [10] 束学道, 岑泽伟, 王雨, 等. GH3030 高温合金壁厚渐变锥形回转件强力旋压成形仿真及机理分析[J]. *西北工业大学学报*, 2019, 37(4): 785-793.
Shu X D, Cen Z W, Wang Y, et al. Exploring strong spinning formation mechanisms of GH3030 superalloy tapered rotary part with wall thickness gradient [J]. *Journal of Northwestern Polytechnical University*, 2019, 37(4): 785-793.
- [11] 詹梅, 李虎, 杨合, 等. 大型复杂薄壁壳体多道次旋压过程中的壁厚变化[J]. *塑性工程学报*, 2008, 15(2): 115-121.
Zhan M, Li H, Yang H, et al. Wall thickness variation during multi-pass spinning of large complicated shell [J]. *Journal of Plastic Engineering*, 2008, 15(2): 115-121.
- [12] 刘晓, 闫欢松, 孔祖开, 等. GH4169 高温合金的动态力学行为及其本构关系[J]. *机械工程材料*, 2019, 43(1): 75-81.
Liu X, Yan H S, Kong Z K, et al. Dynamic mechanical behavior and constitutive relationship of superalloy GH4169 [J]. *Materials for Mechanical Engineering*, 2019, 43(1): 75-81.
- [13] 肖寒, 刘劲松, 张士宏, 等. 塑料辅助网格式整体壁板滚弯成形实验研究[J]. *塑性工程学报*, 2009, 16(4): 17-20.
Xiao H, Liu J S, Zhang S H, et al. Experimental research on the plastic filling roll bending process of integral panel skins with grid-type ribs [J]. *Journal of Plastics Engineering*, 2009, 16(4): 17-20.