

## 铝型材生产过程的自动化改造

高盛沅, 姜开宇, 白景方

(大连理工大学 机械工程学院, 辽宁 大连 116024)

**摘要:** 现阶段我国铝型材生产企业普遍存在着工作环境差、生产效率低、安全隐患多等问题。为了提高铝型材挤压生产效率、降低企业人工成本, 对中小型铝型材企业的铝型材挤压成形生产过程的实际工艺流程进行了分析。结合企业现状与现有技术设计了坐标式机械臂、拉伸矫直定位机构、定尺锯切上料机构、自动装框与隔条定位机构以代替人工操作, 并对生产线的相关机构进行了调整与优化。结果表明, 重新设计优化后的生产线在不大幅度改变现有生产布局的前提下减少人工 6 名, 保证生产过程的稳定性和可靠性, 且提高了生产效率。利用 Adams 对主要功能模块进行运动学仿真验证, 在理论层面对机械结构的合理性进行了验证。

**关键词:** 铝型材; 坐标式机械臂; 拉伸矫直定位机构; 自动装框; 隔条定位机构

**DOI:** 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.09.019

**中图分类号:** TP23; TH128

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-3940 (2023) 09-0149-07

## Automation transformation on aluminum profile production process

Gao Shengyun, Jiang Kaiyu, Bai Jingfang

(School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** At the present stage, there are common problems such as poor working environment, low production efficiency and many safety hazards in aluminum profile production enterprises in China. Therefore, in order to improve the extrusion production efficiency of aluminum profile and reduce the labor cost of enterprise, the actual process flow of aluminum profile extrusion forming production process for small and medium-sized aluminum profile enterprise was analyzed. Then, compared with the current situation of enterprise and the existing technology, the coordinate mechanical arm, positioning mechanism for stretching and straightening, feeding mechanism for fixed-length sawing, positioning mechanism for automatic framing and spacer were designed to replace the manual operation, and the relevant mechanisms of the production line were adjusted and optimized. The results show that the redesigned and optimized production line reduces six labor without greatly changing the existing production layout, ensuring the stability and reliability of the production process, and improving the production efficiency. The kinematics simulation of the main functional modules is verified by Adams, and the rationality of the mechanical structure is verified at the theoretical level.

**Key words:** aluminum profile; coordinate mechanical arm; positioning mechanism for stretching and straightening; automatic framing; spacer positioning mechanism

铝型材凭借着优良的性能被广泛应用于国防、航天、建筑、装备制造等多个领域, 需求量增大<sup>[1-2]</sup>, 但是铝型材生产车间工作环境恶劣, 行业内的竞争日益激烈, 加上近年来人工成本逐渐上涨, 铝型材企业招工难、留工难等问题日益突出, 自动化改造需求日益迫切。目前, 国内对于铝型材自动化研究主要集中在型材包装、调度、喷涂等后续环

节上<sup>[3-4]</sup>, 如范冬<sup>[5]</sup>针对铝型材后续的包装环节进行了自动化改造研究; 马玉婷<sup>[6]</sup>和曹辉<sup>[7]</sup>对铝型材立体仓库进行了放置研究, 并进行了调度算法研究; 国外研究主要集中在生产线调度、在线监测等智能控制方面<sup>[8-11]</sup>; 整体来看, 对型材挤压环节自动化改造的研究较少。当前, 国内拥有自动化程度较高的挤压生产线的企业较少, 并且自动化生产线的实施成本较高, 对于众多中小型铝型材企业来说难以承受, 而且车间布局、技术人员经验、工艺操作过程与大型企业差别很大, 因此, 按照大型铝型材企业生产线进行自动化改造的可行性不高, 借鉴意义不大。

通过结合中小型铝型材企业的车间布局、工艺

收稿日期: 2023-01-18; 修订日期: 2023-04-28

基金项目: 营口市软科学研究计划 (2021JH2/0100004)

作者简介: 高盛沅 (1998-), 男, 硕士研究生

E-mail: gsy18018923070@163.com

通信作者: 姜开宇 (1971-), 男, 博士, 副教授

E-mail: jiangky@dlut.edu.cn

流程等特点,对铝型材生产流程各个环节进行系统分析<sup>[12]</sup>,参考其他企业自动化改造方案<sup>[13]</sup>,设计并优化相关机构来代替人工进行生产的改造方案,形成一条自动化程度较高的挤压生产线,大幅度提高生产效率和产品质量的稳定性,降低生产过程的人力资源消耗。

## 1 铝型材挤压生产工艺流程分析

常规铝型材挤压生产工艺流程如图 1 所示,铝型材挤压工艺流程主要包含:铝坯上料、拉伸矫直、定尺锯切、隔条与型材装框 4 个主要工序。生产过程中,铝坯从热剪机中被取出并送入挤压机;挤压完成后型材被牵引机牵出,然后由传送带送至拉伸矫直工位,置入拉直机中完成拉伸矫直工作;再将拉伸矫直好的型材码齐并借助滚轮推送型材,进行锯切;最后将锯切好的型材连带隔条一同装框。

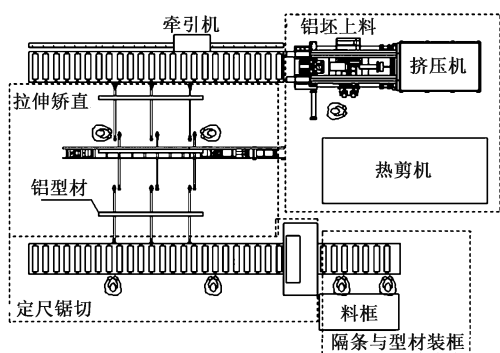


图 1 挤压工艺流程

Fig. 1 Extrusion process flow

常规铝型材挤压生产各主要工序的特点如下:

(1) 铝坯上料工序需要 1 名工人手持铁钳将预热好的铝坯取出,送入挤压机的进料口。该工艺动作较为简单,并且铝坯的取出位置与挤压机进料口的位置固定。

(2) 拉伸矫直工序需要 2 名工人将铝型材抬至拉直机钳口内,拉伸矫直完成后再将型材抬出并放至传送带上。拉直机钳口底端与传送带不处于同一水平面内,每次铝型材均需要人工将其抬入和抬出,抬出后铝型材在传送带上的纵向位置受人为因素影响,具有很大的不确定性。

(3) 定尺锯切工序由 2 名工人将数根拉伸矫直好的铝型材码齐并搬运至锯切处完成锯切。由于型材经过拉伸矫直后由工人搬运至传送带上,拉直机咬痕存在位置差异,需要人工调整型材位置将咬痕

对齐,以方便后续锯切。

(4) 隔条与型材装框工序需要 2 名工人先在隔条存储的地方取出数根隔条,并将其摆放至料框底层,再移动至锯切工位,将锯切好的铝型材抬至料框中。工人需要往返 2~3 次方能铺满一层型材,效率较低。

综上所述,目前型材挤压环节的主要问题为型材的上料、定位、搬运、装框环节主要依靠人工来完成,缺少自动化机构,部分设备安装时缺少自动化生产思维,生产效率较低、人工成本较高、稳定性较差。

## 2 铝型材挤压自动化生产线改造方案

铝型材挤压自动化生产线改造方案主要针对铝型材生产中铝坯上料、拉伸矫直、定尺锯切、隔条与型材装框这 4 个关键工序,通过机械臂的选型,以及定位机构、搬运机构、自动装框机构的设计与优化,计划将原 7 名工人减少 6 名,改造的同时注重降低装备的复杂程度,避免对原有生产线进行大幅度改动,降低改造成本。

### 2.1 铝坯上料机械臂设计

采用机械臂代替人工能使生产线运作更加平稳高效,减少人工成本。铝坯上料工位的布局如图 2 所示。

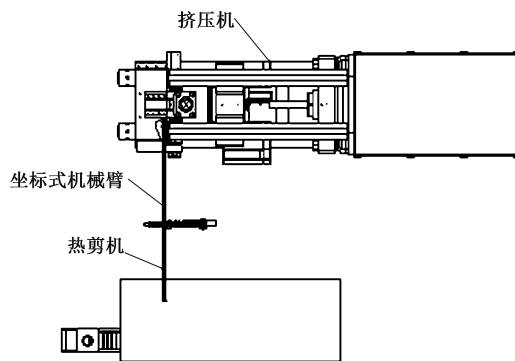


图 2 铝坯上料工位布局

Fig. 2 Layout of aluminum billet feeding station

如图 3 所示,坐标式机械臂模块主要由  $x$ 、 $y$ 、 $z$  这 3 个方向伺服电机运动模组、旋转气缸及换位式夹具组成,实现  $x$ 、 $y$ 、 $z$  这 3 个方向运动及 1 个旋转运动,共 4 个自由度。 $x$  方向的运动模组负责换位式夹具在热剪机与挤压机之间移动, $y$  方向运动模组、 $z$  方向运动模组与旋转气缸相互配合,完成换位式夹具在热剪机出口与挤压机进料口位置之间的变换,其中旋转气缸与换位式夹具配合,

使得换位式夹爪处于竖直状态（送料）时面向挤压进料口处，换位式夹爪处于水平状态（取料）时朝向热剪机处。

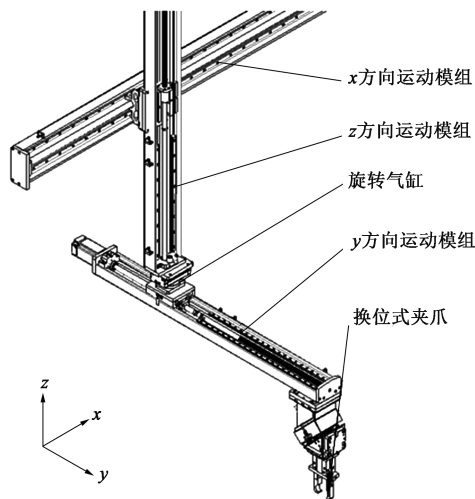


图 3 坐标式机械臂  
Fig. 3 Coordinate mechanical arm

2.2 拉伸矫直定位机构设计

针对拉伸矫直工序的特点和问题，调整了拉直机与传送带组的位置关系，并设计了型材定位机构以确保型材在拉伸矫直中得到精确的定位。

图 4a 为中小型铝型材企业当前拉直机与传送带的位置关系图。可以看到，铝型材经由传送带传送过来时，处于钳口下方，需要人工将铝型材抬入。图 4b 为调整后的传送带与拉直机钳口的位置关系。

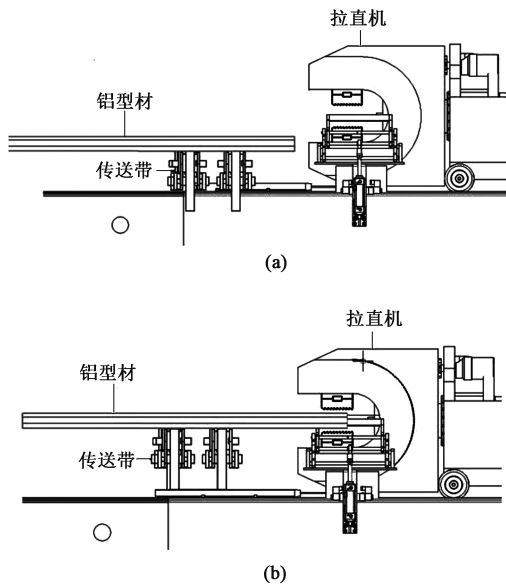


图 4 拉伸矫直工位布局  
(a) 位置调整前 (b) 位置调整后  
Fig. 4 Layout of stretching and straightening station  
(a) Before position adjustment (b) After position adjustment

铝型材与钳口底端处于同一水平面内，铝型材可以直接传送至拉直机钳口内，减少了人工将铝型材两端抬进拉直机钳口内的工艺动作。

如图 5 所示，拉伸矫直定位机构由限位拨块、心轴、连杆、转轴、气缸、机架组成。铝型材在传送带上被指定位置的光电传感器检测到时，通过气缸顶出，使连杆与转轴围绕心轴旋转，限位拨块伸出。图 6 为拉伸矫直定位机构的安装布局图，定位机构安装在拉直机初始位置的侧方。如果铝型材已经越过拉直机槽口（图 6 拉直机中心位置凹槽），该限位拨块对其进行拨正，如果铝型材未达到槽口，该限位拨块起到挡停定位的作用。拉直开始时，限位拨块收回。

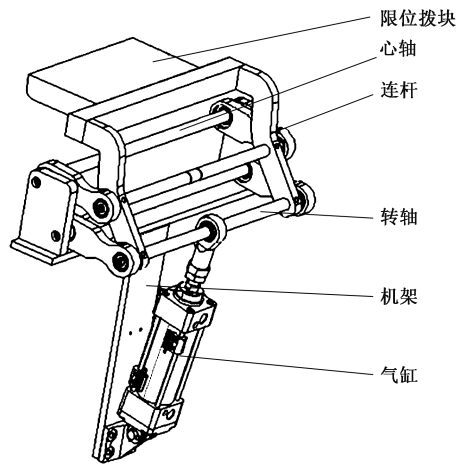


图 5 定位机构示意图  
Fig. 5 Schematic diagram of positioning mechanism

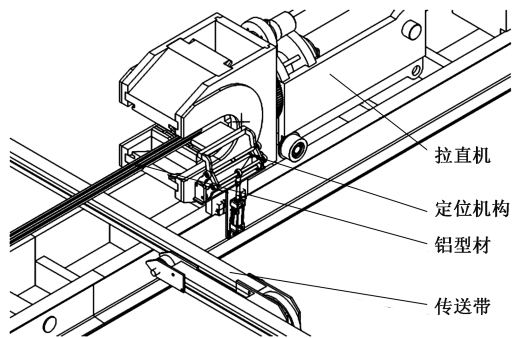


图 6 定位机构安装布局  
Fig. 6 Installation layout of positioning mechanism

2.3 定尺锯切上料机构设计

针对定尺锯切工序存在的问题，考虑到未经过锯切的铝型材长度达 25 m，常规整段式传动带搭配机械臂夹持两端的方法易造成型材弯曲变形，设计了多段式传送带组成的传送带组搭配多托爪式搬运的方案。

设计的型材定尺锯切上料机构如图 7 所示。该

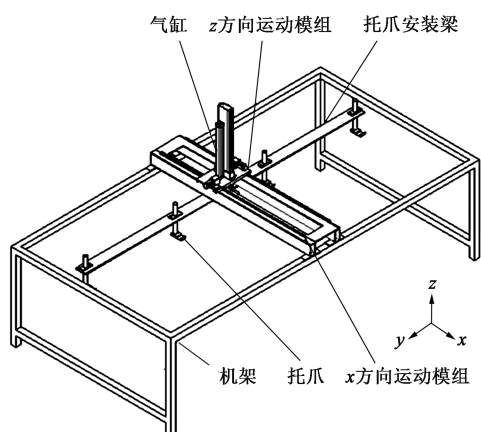
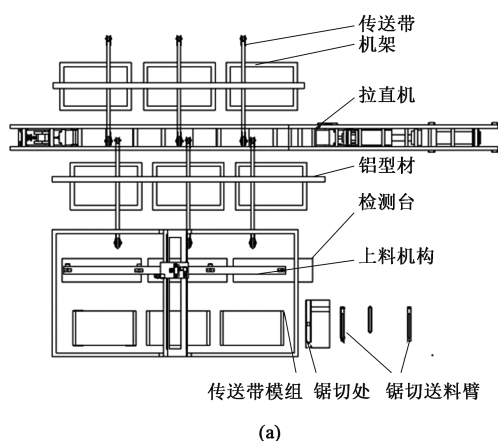


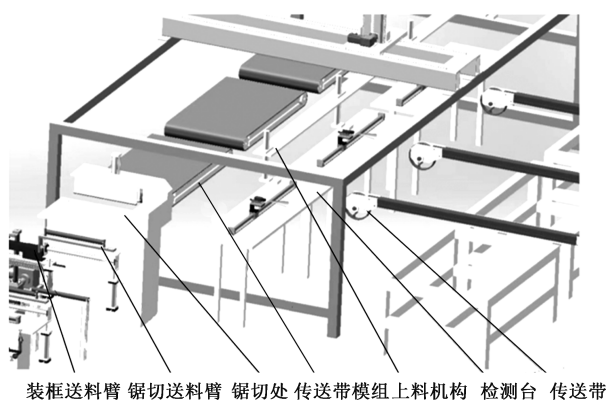
图 7 铝型材定尺锯切上料机构

Fig. 7 Feeding mechanism for fixed-length sawing of aluminum profile

机构由机架、托爪、托爪安装梁、 $x$  方向运动模组、



(a)



(b)

图 8 定尺锯切上料机构安装布局

(a) 俯视图 (b) 三维图

Fig. 8 Feeding mechanism installation layout of fixed-length sawing

(a) Top view (b) 3D view

了型材的位置精度，方便后续统一锯切。

## 2.4 自动装框机构设计

国内铝型材自动装框机构相对来说比较成熟，但是目前隔条定位方案的资料较少，多采用 PLC 时间控制，每隔一段时间发放一根隔条，根据隔条离托爪的位置设置传送带的运动时间，到位后由当前位置的托爪将其托起或者每个隔条托爪处均设置调整机构，等待所有隔条均被调整机构调整好位置后，托爪同时将隔条托起。

这两种隔条定位方案各有不足之处，第 1 种方案中每个托爪需要安装独立的动力源且精度不够，第 2 种方案中则托爪数量较多，多为 6~10 个，所需调整机构较多，成本较高。

根据当前企业装框工位大小与当前布局形式，选用升降式装框机构并设计了一种新型的隔条定位

$z$  方向运动模组、气缸等部件组成。

图 8a 为定尺锯切上料机构安装布局俯视图，搬运机构安装在拉伸矫直工位的下方、传送带模组的上方。图 8b 为定尺锯切上料机构安装三维图，上料机构的托爪处于传送带的下方，待铝型材到位后升起，将铝型材搬到传送带模组上，检测机构可以对铝型材进行质量检测。

传送带模组由多段传送带组成，相邻传送带之间具有一定间隙。搬运机构的托爪托举铝型材从间隙落下，降至传送带模组下方，铝型材被留在传送带模组上，搬运机构归位等待下一次的铝型材搬运。该方案相较于常规整段式传送带而言，中间的空隙可以使得搬运机构托爪自由通过，不需要工人借助滚轮进行推送，实现了型材上下料自动化，且保证

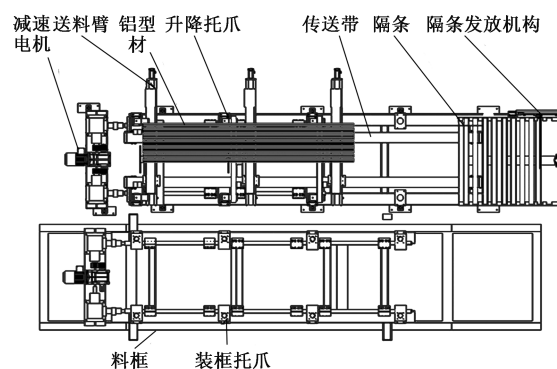


图 9 自动装框机构

Fig. 9 Automatic framing mechanism

机构。如图 9 所示，铝材自动化装框机构主体由减速电机、送料臂、升降托爪、传送带、隔条发放机构、料框、装框托爪等组成。

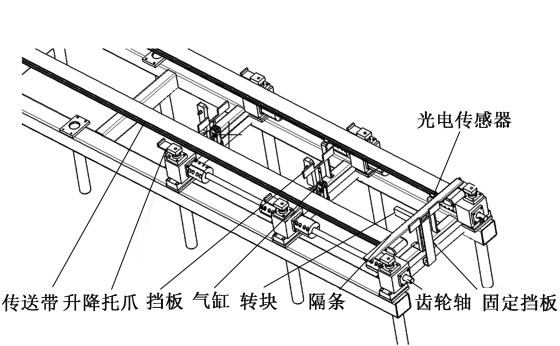


图 10 隔条定位机构  
Fig. 10 Positioning mechanism for spacer bar

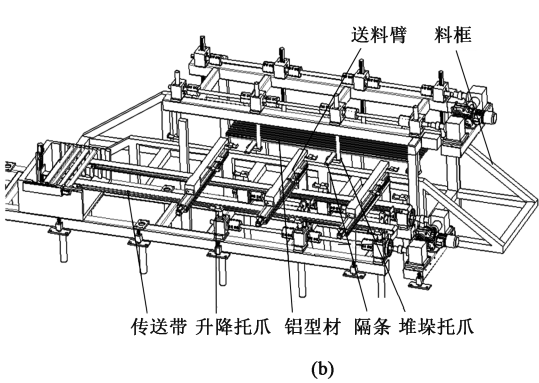
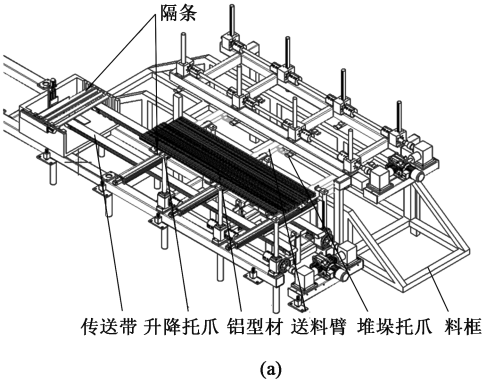


图 11 自动装框机构主要工作状态  
(a) 初始状态 (b) 装框状态  
Fig. 11 Main working status of automatic framing mechanism  
(a) Initial state (b) Framing state

2.5 改造后的生产线

改造后的生产线布局如图 12 所示，对改造后的生产线与原生产线进行比较，改造后的生产线并未对原有布局进行大幅度改动，仅在原有布局的基础上增设相关自动化机构以实现自动挤压生产。

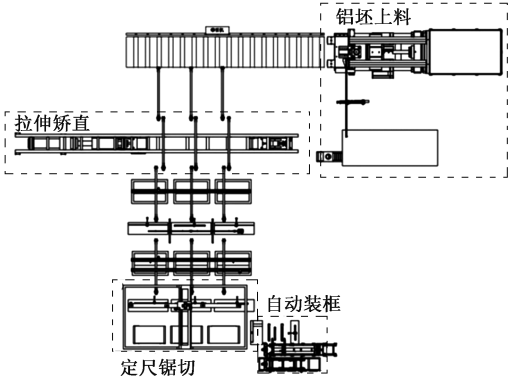


图 12 改造后的生产线  
Fig. 12 Production line after transformation

将所设计的机构建模后导入 ADAMS 进行运动学仿真验证，如图 13 所示。以隔条定位机构为例，

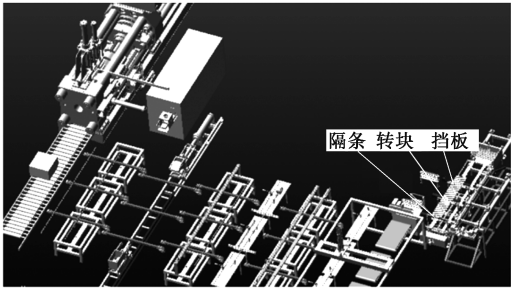


图 13 生产线 ADAMS 模型  
Fig. 13 ADAMS model of production line

图 14 为隔条定位机构中隔条、转块、挡板的运动曲线，图 14a 为 3 根隔条到达指定位置的时间与运动距离曲线，图 14b 为两处转块的运动时间与距离曲线，图 14c 为挡板与转块 2 的运动时间与距离曲线。仿真结果表明，所有机构的运动过程正常，无干涉，能够保证生产线的顺利运行。

3 结论

(1) 在不大幅度改变企业生产线布局的情况

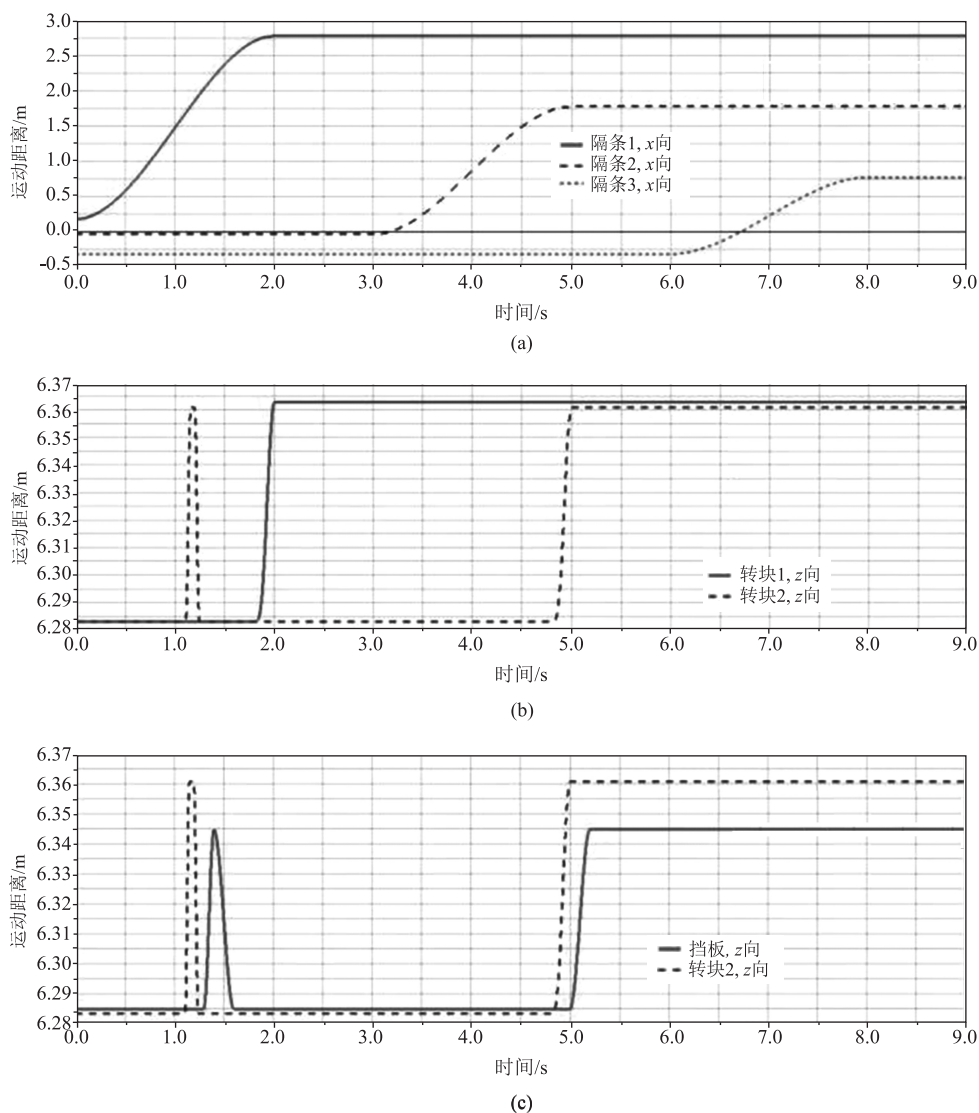


图 14 隔条、转块、挡板运动曲线

(a) 隔条 (b) 转块 (c) 转块 2 与挡板

Fig. 14 Motion curves of spacer bar, rotary block and baffle

(a) Spacer bars (b) Rotary blocks (c) Rotary block 2 and baffle

下,进行了相关自动化机构设计,通过较小的改造幅度获得了高自动化水平的生产线。

(2) 设计的铝坯上料机械臂具有 4 个自由度,可以灵活地完成铝坯上料工作;拉伸矫直定位机构具有定位拨正功能,保证铝型材在拉伸矫直时的位置精度;定尺锯切上料机构实现铝型材自动上下料,并保证铝型材在不同工序之间转移的位置精度;隔条与型材装框机构实现了隔条全自动定位与铝型材自动化装框,能够提高生产效率与生产稳定性。

(3) 通过建模仿真,验证了机构的运动逻辑与可靠性,对铝型材企业生产过程的自动化改造具有借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1] 曹伟. 我国工业铝型材生产的现状及发展趋势 [J]. 世界有色金属, 2021, (3): 1-2.  
Cao W. Current situation and development trend of China's industrial aluminum profile production [J]. World Nonferrous Metals, 2021, (3): 1-2.
- [2] 杨东艳, 张燕斌, 刘畅. 我国铝型材的未来发展 [A]. 2016 中国铝加工产业技术创新交流大会 [C]. 霍林郭勒, 2016.  
Yang D Y, Zhang Y B, Liu C. Future development of aluminum profiles in China [A]. Proceedings of 2016 China Aluminum Processing Industry Technology Innovation Exchange Conference [C]. Holingol, 2016.
- [3] 赵紫阳. 铝型材立式喷涂线上下料辅助系统设计及关键技术

- 研究 [D]. 福州: 福州大学, 2018.
- Zhao Z Y. Research on Design and Key Technology of Blanking Auxiliary System for Aluminum Profile Vertical Spraying Line [D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2018.
- [4] 何海岗, 杨银初, 王志艺, 等. 铝型材包装机构和包装工艺的研究 [J]. 机电工程技术, 2022, 51 (8): 135-140.
- He H G, Yang Y C, Wang Z Y, et al. Research on aluminum profile packaging mechanism and packaging process [J]. Electromechanical Engineering Technology, 2022, 51 (8): 135-140.
- [5] 范冬. 铝型材自动堆垛包装生产线的研发 [D]. 福州: 福州大学, 2018.
- Fan D. Research and Development of Automatic Stacking and Packaging Production Line for Aluminum Profiles [D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2018.
- [6] 马玉婷. 铝型材自动化立体仓库仿真系统的研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- Ma Y T. Research on Simulation System of Aluminum Profile Automated Warehouse [D]. Changsha: Central South University, 2012.
- [7] 曹辉. 铝型材自动化立体仓库优化调度算法的研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- Cao H. Research on Optimal Scheduling Algorithm of Aluminum Profile Automated Warehouse [D]. Changsha: Central South University, 2012.
- [8] Li S T, Zhou X G, Li X X. Installation and debugging of pneumatic sorting station in flexible automatic production line [A]. 2021 3rd International Conference on Electronic Engineering and Informatics (EEI 2021) [C]. Dali, 2021.
- [9] Pan R R, Li G Q. Intelligent recognition of automatic production line of metal sodium rod [A]. Lecture Notes in Electrical Engineering, Advanced Manufacturing and Automation XI [C]. Changzhou, 2018.
- [10] Xu Q Q, Zhu X F, Wu F. Autonomous steel casting recognition and positioning on the unmanned automatic production line based on binocular vision [A]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering [C]. London, 2019.
- [11] Ma D B, Qu M F. Research on on-line monitoring method of automatic production line based on industrial internet of things [A]. 2020 IEEE International Conference on Industrial Application of Artificial Intelligence [C]. Bangkok, 2020.
- [12] 何向问. 智能化在铝加工中的现状及展望 [J]. 有色金属加工, 2020, 49 (3): 1-5.
- He X W. Current situation and prospect of intelligence in aluminum processing [J]. Nonferrous Metal Processing, 2020, 49 (3): 1-5.
- [13] 王子舒. 铁路道岔钢轨锻造生产线自动化方案设计 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (6): 67-74.
- Wang Z S. Automation scheme design of railway turnout and rail forging production line [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (6): 67-74.

# AFDEX

INTELLIGENT METAL FORMING SIMULATOR

智能化金属成形模拟软件

◆**易用**: 简单、友好, 且在不断优化的操作界面, 大量的学习向导以及应用实例, 使工程师不但上手轻松, 更不会在使用中气馁, AFDEX 可以帮助您轻松分析锻造工艺。

◆**准确**: 超过 500 个实际生产应用案例, 包含复杂的冷温热多工位锻造、闭塞锻造、径向锻造、辊锻、辗环等几乎所有锻压成形工艺的模拟。AFDEX 的准确性和能力, 已经在全球百余家制造企业的生产中得到了验证。

◆**各种结果同时展示**: AFDEX 的后处理平台, 可以在运算的同时, 实时显示各种结果: 变形形状、节点的速度、应变、应变率、应力、金属流线、某点流动、边界节点应力、界面应力、温度分布、损伤、磨损、体积变化、载荷等。

◆**自动分析多工步工艺, 轻松进行模具分析**: AFDEX 可以自动对多工位的锻造工艺进行模拟, 无需用户的干预。模具分析与优化是工程师的重要工作, 在 AFDEX 中, 您只需要点击两下鼠标, 即可以对模具进行模拟分析, 结果实时展示给用户。

◆**丰富的材料库与设备模型**: AFDEX 中提供了丰富的开放式材料数据库, 包括美日德标的各种黑色金属、轻合金以及模具钢等两百余种材料数据。用户也可根据自己的需要定制材料库。另外, AFDEX 集成了实际生产中常用的设备模型, 包括液压机、机

械压力机、螺旋压力机、锻锤等。可以满足用户各种成形条件下模拟的需要。

◆**适合多种人群使用**: AFDEX 不强迫锻造工程师了解软件执行的相关理论和有限元方法, 在 AFDEX 的开发理念中, 即使是新手也能轻松的学习和使用它。同时 AFDEX 提供了多国语言界面的支持。

◆**卓越的成本效益**: AFDEX 更了解中国, 专为中国用户而制定的低成本运作政策, 显著降低了用户的采购及使用成本, 具有卓越的成本效益。

◆**我们能够提供的不仅是软件**: AFDEX 一直坚持的开发商与服务商一体化, 可以提供更好的本土化服务与定制服务。中韩技术团队, 为您提供终身的维护服务。在软件之外, 我们更可以为您提供工艺技术开发与制造服务, 协助您进行工艺开发、优化设计、学术研究、装备与生产线建设。

**BRIMET 中国机械总院集团北京机电研究所有限公司**

地址: 北京市海淀区学清路 18 号 2 层 邮编: 100083

电话: 010-82415037, 82415024

传真: 010-62943911

E-mail: info@afdex.com.cn, afdexcn@gmail.com

HTTP://WWW.AFDEX.COM.CN

(以上数据和资料由中国机械总院集团北京机电研究所有限公司提供)