

平地机齿圈连续式热处理生产线的研制

孙畅

(江苏科技大学,江苏 镇江 212100)

摘要:针对平地机齿圈经常出现严重磨损的情况,研究平地机齿圈连续式热处理生产线。通过设计各个模块,增加可单独控温与加热的控制回路,结合 FHI-334R 传感器,并且采用算术平均滤波处理技术平滑处理信号,利用 Flexism 软件构建设计生产线的仿真模型,实现生产线的设计。实验表明:所设计的生产线 6 h 时的最高设备吞吐量达到 77 个,并且机床故障率在前 9 h 中均是 0%,阻塞率最高仅为 0.29%。该生产线的生产速度更快、效率更高。

关键词:平地机齿圈;连续式热处理生产线;机械手;龙门桁架系统;位置传感器

中图分类号:TH16 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2022)04-0081-04

Development of Continuous Heat Treatment Production Line for Gear Ring of Motor Grader

SUN Chang

(Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212100, China)

Abstract: To improve the the frequent severe wear of gear ring, continuous heat treatment production line of grader gear ring is studied. By designing each module, the control loop controlling temperature and heating separately is added. By combining FHI-334R sensor, arithmetic average filter processing technology is applied to smoothen signal processing. Flexism software is adopted to build the simulation model of the design of production line and realize it. Experiments show that the production speed of the designed production line is faster and more efficient with its equipment throughput reaching 77 pieces in the six hours, its failure rate of the machine tool being all 0% in the first nine hours and the highest blocking rate being only 0.29%.

Keywords: grader gear ring; continuous heat treatment production line; manipulator; gantry truss system; position sensor

0 引言

齿圈构件是平地机刮刀执行刮土工作时的核心零部件,其寿命会对平地机的实际使用寿命造成直接影响,因此必须对其实施连续式热处理,以提升其耐磨性、可靠性以及使用寿命^[1]。除此之外,目前平地机的使用范围已经得到了推广,在露天矿场、矿山等处平地机均有一定程度的应用,主要用于推平冰雪、树桩、大石块、碎石等^[2]。在这种更加恶劣的工况下,平地机齿圈往往会过早出现严重磨损情况,从而引发用户对设备的不满^[3]。因此优化平地机齿圈连续式热处理的方式,研制平地机齿圈连续式新型热处理生产线势在必行。基于该背景对平地机齿圈连续式热处理生产线进行研制,既优化了平地机齿圈连续式热处理的方式,还可提升平地机的产品性能与使用可靠性。

当前各国平地机齿圈连续式热处理的工艺路线整体比较相似,主要差异在于生产线设备的工艺技术手段水平的高低,需要有所突破。对于平地机齿圈连续式热处理生产线的研制,目前已经取得了很多成果,并且一些成果已经投入到实际应用中,取得了较为满意的应用效果。实际应用的技术有自动化上料、下料技术、关节机器人技术、单机自动化技术、物流自动化技术等。为研发自动化程度更

高的生产线,需借鉴现有的一些研究成果,设计一种新的平地机齿圈连续式热处理生产线并进行试验。

1 平地机齿圈连续式热处理生产线的研制

对平地机齿圈连续式热处理生产线实施模块化设计,生产线示意图如图 1 所示。

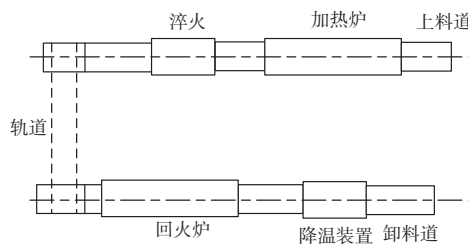


图 1 生产线示意图

1.1 热前加工模块设计

平地机齿圈热前加工模块的加工设备包括热前加工的剃齿、倒角倒棱、滚齿、插齿、拉齿、搓齿、车削等工序对应机床设备^[4]。具体包括剃齿机、倒棱机、复合机床、滚

作者简介:孙畅(1996—),男,江苏徐州人,硕士研究生,研究方向为机械制造工程。

齿机、车削中心、车床等。

1.2 物流模块设计

物流模块由龙门桁架系统、桁架机械手组成。

龙门桁架系统的具体构造包括:数控系统、拖链、电缆、伺服电机、减速机、润滑系统、竖梁、移动载板、精密齿轮齿条、直线导轨、龙门构架。其中龙门构架选择回型钢梁与钢结构立柱作为主要构件,以提高整体刚性^[5]。在回型钢梁上对精密齿轮齿条与直线导轨进行定位安装,可组成传动导向系统,用于机械手的移动。

在移动载板与竖梁的设计中,选用铝材制作竖梁,制作尺寸为 80 cm×80 cm,并对移动载板实施紧凑设计,将其厚度控制在 300 mm 以内^[6]。利用 VEC-VC 伺服电机对精密齿轮齿条进行驱动,通过齿条的传动实现竖梁垂直方向上 z 轴的移动与移动载板水平方向上 x 轴的移动,从而使机械手实现移动定位。

数控系统采用主机模块中的自动集成控制系统,并对带显示屏的手持式操作盒进行配置。通过该操作盒可以对基本技术参数进行显示并对运行程序进行选择。

拖链选用 TP15 系列的半封闭拖链;电缆选用矿物绝缘电缆;减速机选用斜齿轮-蜗轮蜗杆减速电机;润滑系统选用 VOGEL 润滑系统。

设计双工位桁架机械手,其构件包括上下料手爪与旋转摆缸。其中上下料手爪的构件设计包括:推料器、手指、手爪本体,能够执行松开、卡紧等指令动作,对工件能够进行内孔撑紧或外圆抱紧等操作^[7]。可以根据控制过程与工件姿态对上下料手爪进行定义,完成工件的上料与卸料动作。在上下料手爪的工作过程中,推料器能够通过工件端面实施定位,而旋转摆缸能够实现上下料手爪 180° 旋转角度的双工位定位。

为双工位桁架机械手设计了位置检测与断气保护功能。当出现位置未到、抓空或出现其他错误时,机械手将会停止动作并进行报警信息的发送,直到排除故障^[8]。这两种功能能够保障抓取动作的可靠与稳定。

双工位桁架机械手的设计参数具体如表 1 所示。

表 1 双工位桁架机械手的设计参数

序号	项目	对象	设计参数值
1	加速度/(m/s ²)		0.5
2	运行速度/(m/min)	水平轴	100
3	速度/(m/s ²)		0.5
4	z 轴运行速度/(mm/min)	垂直轴	80
5	储料高度/mm		400
6	储料工位个数/个	输送存料量	16
7	控制方法	独立电控	
8	驱动方法	轴齿轮齿条	

1.3 自动化加工模块设计

在自动化加工模块中对关节型机器人进行配置,通过供料装置的配合,利用关节型机器人即可实现工件的搬

运、卸载以及装载^[9]。

对 PC 主机与机床进行如下自动化装置设计。

1) 在机床侧向或正向设计工件取放的固定工位;在机床内部设置工件上下料自动装置,保障上料区、机床切削区工件上下料的抓取自动化。

2) 通过主机对机床顶部空间或正面空间进行自动开放控制。当该空间为开放状态时,桁架机械手能够在切削区直接对工件进行抓取,实现工件物流自动化传递。

3) 在机床上安装自动集成控制系统,使机械手与其他设备能够以统一的信号进行交流,实现工件抓取与传递中交互信号的统一。该自动集成控制系统选择 GS-35i-01-RA 数控系统,能够利用 I/O 端口实现交互信号的统一。

其中上下料自动装置的零部件包括位置传感器、称质量传感器、升降梯电机、管理和通信设备^[10]。PHam 位置传感器选用的型号是 FHI-334R,在各料箱上均安装一个位置传感器,通过多个位置传感器实现料箱位置的追踪。

称质量传感器选用电阻式称质量传感器,将其安装在进料口下方,能够对料箱和进料机构的总质量进行称取^[11]。使用总质量减掉进料机构的质量就能够获得料箱的质量。共设置 4 个称质量传感器。

升降梯电机使用的是三相异步滚筒线电机,采用机械制动方式对电机进行制动。

将 FWD34-F 工控机作为上下料自动装置的管理和通信设备。

系统软件的整体流程如图 2 所示。

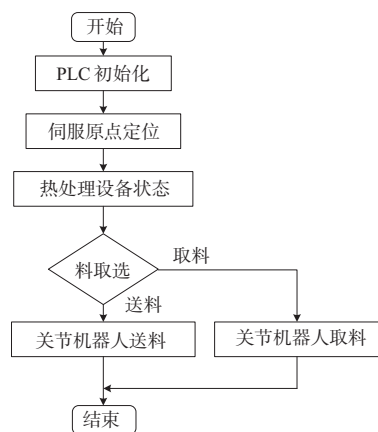


图 2 系统流程图

在整个生产线中,可以根据 PLC 实现所有的控制,包括温度、初始化、物流等,可以实现自动化生产,提高生产效率,节省人力。

1.4 温度控制模块设计

温度控制模块由热电偶传感器、高温电阻丝、可控硅三相调功器、PLC 模块、工业计算机构成,是一种闭环控制系统^[12]。

温度控制模块的运行流程如图 3 所示。

在温度控制模块中,可以对各个温区进行独立的温度控制。具体来说,热电偶传感器、高温电阻丝、可控硅三相调功器均能够以温度段为单位实施单独控制。

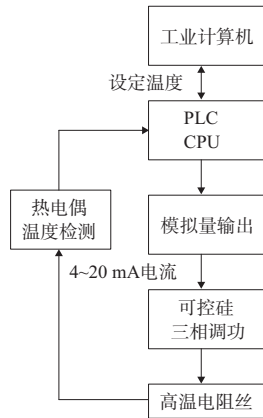


图3 温度控制模块的运行流程

热电偶传感器是温度控制模块中的重要检测元件,选用的热电偶传感器为K型工业热电偶传感器,由热电偶丝、绝缘套管、保险套管、接线盒构成^[13]。选用的可控硅三相调功器是B160-PAC35P-MTX120A调功器。选用的高温电阻丝是耐高温铁铬合金电阻丝。

PLC模块的设计,选择的是西门子312系列PLC,使用的是STEP7编程软件。通过该软件对312系列PLC的中央机架进行配置,对CPU参数进行设定以及对其他模块进行配置^[14]。模块中的上位机选用SIMATIC 87-300系列上位机,该上位机自带MPI通信适配器。

1.5 机床生产结构模块设计

机床生产结构模块包括回火炉、清洗槽、淬火槽、淬火炉以及上下料自动装置。其中淬火炉设计为长方体结构,在其内壁上附着一堵硅酸铝纤维墙,起到耐火作用^[15]。在炉中设置两组电加热区,在各区中设置一个可单独控温与加热的温度控制回路。

在淬火炉中安装一个滚筒,滚筒的长度为2750mm,直径为750mm。在滚筒内部焊接一个150mm高、间距为100mm的螺旋板,滚筒的支撑方式为悬臂梁式。

淬火槽也设计为长方体结构但没有上顶,在其内部装载淬火油9500L作为平地机齿圈连续式热处理的淬火介质。在淬火槽中增设两个滚筒,其长度分别为800mm、3000mm;直径分别为600mm、850mm。二者有100mm的重合部分。在两个滚筒内部分别焊接一个螺旋板,间距为100mm。油幕箱安装在在滚筒出口处。

在清洗槽安装清洗滚筒,并装入1.8%浓度的纯碱溶液作为清洗液。同时在底部设置排水孔。

回火炉与淬火炉的形状和内壁设计相同,分为3个能够独立加热的加温区。将其长度设计得比淬火炉更长,安装一个更长的滚筒。在炉顶设置3台风机。

1.6 初始化模块设计

在连续式热处理生产线的最初运行时,初始化模块对生产线实施初始化处理与自检处理。其中硬件初始化处理是对生产线上的各种硬件资源进行初始状态的设定^[16]。软件初始化处理是指对生产线参数进行初始化处理以及对各种变量、堆栈实施初始化处理。

1.7 复合滤波模块设计

复合滤波模块主要通过复合滤波程序实施信号的平滑处理,保障生产线的正常运行。

复合滤波程序的运行步骤具体如下:

- 1) 保护现场;
- 2) 对采样次数进行设定;
- 3) 调用滤波子程序;
- 4) 对信号进行算术平均滤波处理,具体公式如下:

$$Y = \frac{1}{n-2} \sum_{i=2}^{n-1} x_i \quad (1)$$

式中:Y为算术平均滤波值;n为采样值; x_i 为第i个信号。

- 5) 向内存单元传送滤波结果;
- 6) 恢复现场。

通过以上步骤实现生产线运行信号的复合滤波处理。

2 生产线仿真测试

2.1 生产线仿真

利用Flexsim软件构建所设计的平地机齿圈连续式热处理生产线的仿真模型。构建步骤如图4所示。

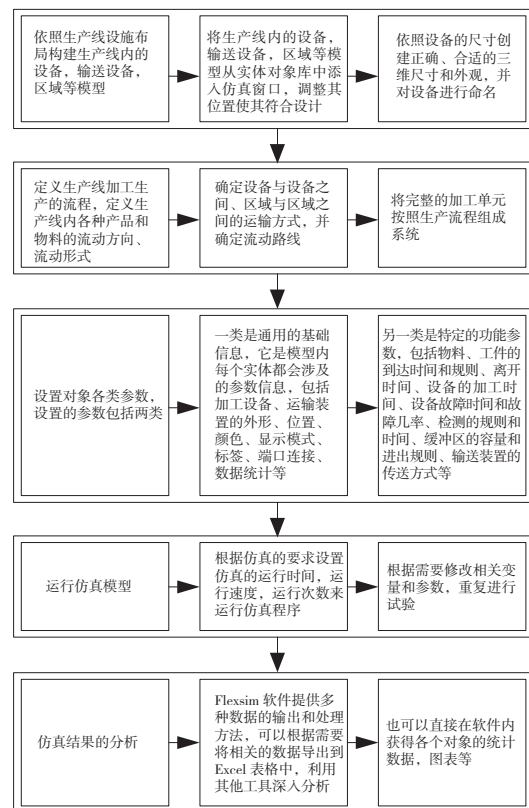


图4 仿真模型构建步骤

通过成员选项卡进行参数选择和对设备成员进行添加,对生产线中的故障进行模拟。

2.2 仿真模型运行

将仿真时间设为70000s。参数设置完后,进行仿真

模型的运行,并考察其运行效果。

参数的设置情况以及考察项目如图 5 所示。

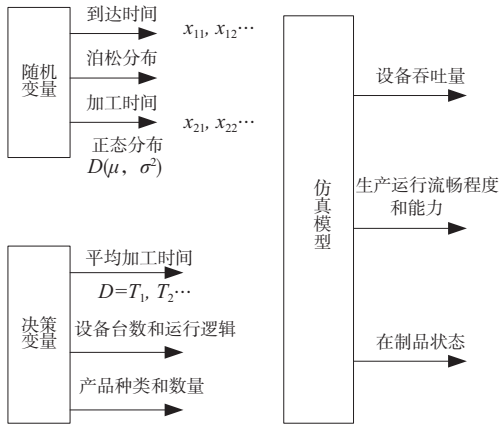


图 5 参数的设置情况以及考察项目

根据考察项目开展仿真测试与分析。

2.3 仿真结果分析

1) 齿圈在制品状态测试

首先对设计的平地机齿圈连续式热处理生产线 70 000 s 仿真后的齿圈在制品状态进行测试。测试结果如表 2 所示。

表 2 齿圈在制品状态测试结果

测试项目	生产线					
	1 段 (32 m)	2 段 (16 m)	3 段 (18 m)	4 段 (24 m)	5 段 (26 m)	6 段 (9 m)
每小时输入总数/个	176	65	75	120	95	38
每小时输出总数/个	146	63	72	114	84	32
平均等待时间/ms	4 653.85	3 256.32	2 836.32	4 256.25	3 632.52	3 563.30
暂存区平均容量/个	59	32	42	59	48	26
暂存区平均最大容量/个	68	41	45	68	52	30

根据表 2 的齿圈在制品状态测试结果,可以发现所设计的生产线输出率较高,平均等待时间较短,暂存区平均容量与最大容量较低。原因是生产线运行较快,不需要较大的暂存区容量,同时这样做还能增加暂存区的利用率。整体来说,所设计的生产线生产齿圈在制品的产量高,速度快,设计合理。

2) 设备吞吐量测试

所设计的生产线设备吞吐量测试结果如图 6 所示。

图 6 中设备吞吐量测试结果表明:机床 3 为传统方法,没有应用本文设计的生产线。机床 1 和机床 2 均使用本文设计的生产线。根据图 6 可知,传统方法在生产的过程中,其吞吐量随着时间的增加而攀升,但是其量并不够大,最高为 66 个,而应用本文设计的机床的吞吐量最高均达到了 80 个以上,超过传统生产线 14 个以上,并且是两组机床均超过。由此说明本文设计的生产线运行稳定,同

时提高了设备的吞吐量,增加了产出性能。

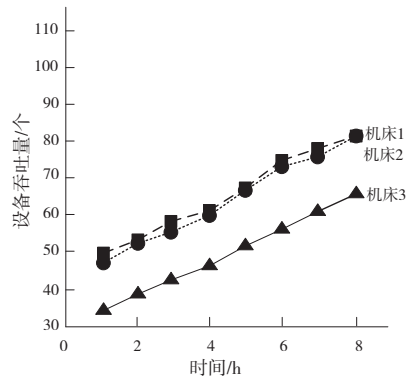


图 6 设备吞吐量测试结果

3) 机床故障率与阻塞率测试

所设计生产线的机床故障率与阻塞率进行测试,测试结果具体如图 7 所示。

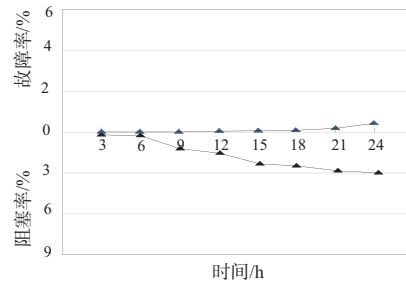


图 7 机床故障率与阻塞率测试结果

根据图 7 的机床故障率与阻塞率测试结果可以发现,所设计生产线的机床故障率在前 9 h 中始终是 0%,在 9 h 以后,曲线开始出现上升趋势,但是趋势并不明显。因此,在运行时间较长后开始出现故障,但故障率整体较低,最高仅为 0.32%;机床阻塞率整体也较低,最高仅为 0.29%。综合来说,本文设计的生产线故障率与阻塞率均较低,有效降低了设备的损耗,提高了生产效率。

3 结语

在研制平地机齿圈连续式热处理生产线的过程中,参考了现有的研究成果,发现其无法实现较高度度的自动化生产。因此设计了一种自动化生产程度较高的平地机齿圈连续式热处理生产线,通过设计温度控制模块的运行流程和系统软件控制,调整系统的设计参数和设施尺寸,结合各个模块,实现平地机齿圈连续式热处理生产,并对该生产线进行了仿真。仿真结果证明:该生产线实现了较高的自动化程度和较大的设备吞吐量,降低了机床的故障率和阻塞率,对于平地机产品性能与使用可靠性的提升有一定意义。

参考文献:

[1] 向小琴. 大型齿圈锻件晶粒和组织均匀性的改善[J]. 金属热处理, 2019, 44(10): 122-124.
 [2] 汪凤林, 周扬, 叶绿, 等. 基于机器视觉的飞轮齿圈缺陷和尺寸检测方法[J]. 中国测试, 2020, 46(5): 31-38.

(下转第 106 页)

- 计[J]. 电子技术与软件工程,2020(10):94-96.
- [4] 谢光强,陈俊宇,郭小全. 基于SDG的集群打印系统故障智能诊断研究[J]. 广东工业大学学报,2020,37(4):15-20.
- [5] 潘志强. 3D打印技术的发展及应用分析[J]. 石河子科技,2020(6):36-37.
- [6] 赵宏伟. 基于FDM技术3D打印控制系统的研究与设计[D]. 廊坊:北华航天工业学院,2020.
- [7] VAZ V M, KUMAR L. 3D printing as a promising tool in personalized medicine[J]. AAPS PharmSciTech, 2021, 22(1): 1-20.
- [8] 周楠. 计算机辅助工业设计与3D打印技术初探[J]. 科技风, 2021(2):13-14.
- [9] 刘智,赵永强. 3D打印技术设备的现状与发展[J]. 锻压装备与制造技术,2020,55(6):7-13.
- [10] 刘长华,张卫华,甄潇杨,等. 基于3D打印设备的机械与控制系统设计研究[J]. 机械研究与应用,2020,33(6):123-128.
- [11] 万海鑫. 3D打印技术在创客培养领域的运用[J]. 无线互联科技,2020,17(24):104-105.
- [12] 吕文艳. 3D打印云平台体系架构及其关键技术研究[J]. 数字技术与应用,2020,38(12):56-58.
- [13] 武瑞刚,韩利萍,楚蓓蓓,等. 3D打印技术在航天企业的应用[J]. 机械工程与自动化,2020(6):225-226.
- [14] 蒋龙,姚晓彤. 浅析3D打印成形方法及在机械加工制造中的优势[J]. 内燃机与配件,2020(23):112-113.
- [15] 王大成,朱云阳. 浅析3D打印技术在航空制造中的应用[J]. 中国新技术新产品,2020(23):35-37.

收稿日期:2021-02-22

(上接第68页)

参考文献:

- [1] 孟庆林,谷森,唐飞扬,等. 基于线激光传感器的客车轮廓三维测量方法[J]. 机械制造与自动化,2020,49(6):210-212.
- [2] 吴庆阳,苏显渝,李景镇,等. 一种新的线结构光光带中心提取算法[J]. 四川大学学报(工程科学版),2007,39(4):151-155.
- [3] 贺俊吉,张广军. 结构光三维视觉检测中光条图像处理方法研究[J]. 北京航空航天大学学报,2003,29(7):593-597.
- [4] 雷海军,李德华,王建永,等. 一种结构光条纹中心快速检测方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2003,31(1):74-76.
- [5] 孙军华,王恒,刘震,等. 钢轨磨耗动态测量中激光光条中心的快速提取[J]. 光学精密工程,2011,19(3):690-696.
- [6] 占栋. 线结构光视觉测量关键技术及在轨道交通巡检中应用[D]. 成都:西南交通大学,2016.
- [7] STEGER C. An unbiased detector of curvilinear structures[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(2):113-125.
- [8] LI B C, MA S D. Approximation of an arbitrary filter and its recursive implementation [J]. Pattern Recognition, 1994, 27(12):1767-1774.
- [9] YOUNG I T, VAN VLIET L J. Recursive implementation of the Gaussian filter[J]. Signal Processing, 1995, 44(2):139-151.
- [10] ZHANG Z. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11):1330-1334.

收稿日期:2022-02-18

(上接第84页)

- [3] 崔文夏,张瑞亮,张波. 无同步器式变速器啮合套与接合齿圈啮合性能研究[J]. 机械传动,2019,43(11):150-155.
- [4] 高俊鹏,姜涛,张桂林. 一种ABS齿圈参数检测系统误差校正方法研究[J]. 计量学报,2019,40(2):201-207.
- [5] 李肖,冯志鹏. 行星齿轮箱齿轮组合故障振动频谱特征[J]. 振动与冲击,2020,39(1):15-23.
- [6] 韩军,王静,段荣鑫,等. 工艺参数对齿圈插齿加工切削力的影响规律研究[J]. 机床与液压,2020,48(17):126-129.
- [7] 贾康,张银行,南凯刚,等. 螺旋内齿圈拉刀精切齿磨削方法研究[J]. 机械工程学报,2020,56(7):220-230.
- [8] 王成龙,周建星,孙文磊,等. 行星齿轮传动柔性齿圈齿根动应力计算及光纤光栅检测方法[J]. 西安交通大学学报,2020,54(6):122-132.
- [9] 高洪,徐田恬. 基于神经网络的汽车齿圈锻压工艺优化[J]. 热加工工艺,2020,49(23):100-103.
- [10] 汪正兵,阮瑞杰,米艳军,等. 42CrMo钢齿圈毛坯的水-空交替控时淬火工艺[J]. 金属热处理,2019,44(9):169-173.
- [11] 关亚彬,杨小辉,方宗德,等. 一种鼓形齿联轴器的侧隙设计方法[J]. 西安交通大学学报,2019,53(7):136-143.
- [12] 张晓东,杨林,张毅,等. 基于流体压力渗透法的齿形滑环组合密封有限元分析[J]. 润滑与密封,2019,44(12):12-17,95.
- [13] 郭佳栋,蒋劲,孙强强,等. 外啮合直齿齿轮的耳型浮动套筒参数优化[J]. 排灌机械工程学报,2019,37(4):289-295.
- [14] 马辉,段田堂,孙衍宁,等. 齿顶修形行星轮系啮合刚度分析[J]. 东北大学学报(自然科学版),2019,40(3):380-385.
- [15] 李铭,魏毅,李幼简,等. FOM-EP型板簧淬火生产线的辅助机器人技术[J]. 金属热处理,2019,44(7):207-210.
- [16] 莫易敏,杨君健,王玥琦,等. 装炉方式对等高齿热处理畸变一致性的影响研究[J]. 机械传动,2019,43(6):106-111.

收稿日期:2021-10-28