

砂带磨削参数对材料去除深度的影响

王航, 罗敏峰

(福建工程学院 机械与汽车工程学院, 福建 福州 350118)

摘要: 为探究金属工件在砂带磨削加工中的材料去除机理, 对砂带磨削系统简化后建立几何模型, 并设置模型参数及运动建立了砂带磨削加工的离散元动态仿真。仿真结果表明: 通过单因子试验研究不同的磨削参数对材料去除深度(material removal depth, MRD)的影响规律; 通过正交试验得到不同磨削参数对 MRD 的影响贡献率, 其中砂带转速的影响最大、其次是砂带进给量, 同时得到磨削参数的最优组合为工件进给量为 0.5 mm, 砂带转速为 1 800 r/min, 工件速度为 40 mm/s, 水平夹角为 40°; 最后通过实验验证仿真结果与结论的正确性。

关键词: 砂带磨削; 材料去除深度; 离散元; 正交试验

中图分类号: TH161

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2021)06-0524-08

Influence of abrasive belt grinding parameters on the depth of material removal

WANG Hang, LUO Minfeng

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: In order to explore the material removal mechanism of metal workpieces in abrasive belt grinding, a geometric model was established after simplifying the abrasive belt grinding system; and the model parameters and movement were set up to establish a discrete element dynamic simulation of abrasive belt grinding. Simulation results show that the influence of different grinding parameters on the MRD(material removal depth) was studied by single factor experiment; the contribution rate of different grinding parameters on MRD was obtained by orthogonal experiments, among which the influence of belt speed was the largest, followed by that of the feed rate of the abrasive belt. The optimal combination of grinding parameters is that the workpiece feed is 0.5 mm, the belt's rotation speed is 1 800 r/min, the workpiece speed is 40 mm/s, and the horizontal angle is 40°. Finally, the simulation results and conclusions were verified by experiments.

Keywords: abrasive belt grinding; material removal depth; discrete element; orthogonal experiment

砂带磨削是具有多种功能的加工工艺, 可对工件进行磨削、研磨、抛光。利用砂带进行磨削时, 过程平稳, 磨削精度高, 成本较低, 加工完成后工件的表面质量也较好, 砂带磨削具有很高的加工效率^[1]。砂带磨削技术的良好发展前景引起了国内外众多学者和研究人员关注。

黄智等^[2]通过实验分析后得到, 砂带转速、工件进给速度对材料去除影响较大。刘月明

等^[3]通过砂带磨削钢轨试件加工实验研究了砂带磨削速度等工艺参数对材料去除率、磨削比的影响规律, 得出磨削速度越高对钢轨去除越好。Xiao Guijian 等^[4]通过改变磨削速度、接触力和振荡频率的大小进行实验, 并得到材料去除、砂带磨损和磨削比之间的关系, 但是没有研究针对材料去除的最优参数组合。WU Xiaojun 等^[5]对 M300 钢进行了表面抛光实验以及参数优化研究, 得到

收稿日期: 2021-07-20

第一作者简介: 王航(1996—), 男, 河南濮阳人, 硕士研究生, 研究方向: 砂带磨削工艺。

通信作者: 罗敏峰(1970—), 男, 福建福清人, 副教授, 硕士, 研究方向: 机械设计及理论。

满足条件的最优参数组合中磨削速度为4 500 r/min,切削深度为 0.4 mm,进给速度为 80 mm/s。吉林大学张阳^[6]利用 MATLAB 软件对材料去除深度进行单因素仿真分析,得出材料去除深度随法向磨抛力的增加而增大,随着砂带线速度的增加成正比例增加,材料去除深度随着工件进给速度的增加而减小。

目前国内外关于砂带磨削对金属材料加工过程中的磨削工艺及机理的研究还不够深入。Cundall 等在 1979 年首次提出离散元法 (DEM),研究颗粒状物质的运动及相互作用,并得到许多学者的关注。该方法是一种新型的数值方法,能够对复杂的离散系统动力学问题进行相关的分析和求解^[7],被广泛应用于岩土、矿冶、农业等领域,但在砂带磨削方面的应用较少。本课题基于 DEMSlab 离散元分析软件,构建砂带磨削仿真模型,在构建好的砂带模型上生成磨粒,实现砂带磨削工件的动态模拟。研究通过单因子试验主要研究砂带转速、工件的进给速度、工件进给量以及工件的水平夹角等 4 个因素对 MRD 的影响;通过正交试验得到不同磨削参数对 MRD 的影响贡献率及最优参数组合,最后通过实验验证仿真的正确性。

1 砂带磨削离散元建模

1.1 离散单元法及接触模型

离散单元法通过生成和胶结一些具有特定力学性质的颗粒来构建模型,在此基础上通过时间步迭代算法来进行数值模拟。本课题建立模型时所选用的是 Hertz - Mindlin 接触模型,由于在 DEMSlab 软件中有内置 Hertz - Mindlin 接触模型,因此设置应用十分简便。该模型的力 - 位移方程如下^[8-12]:

$$F_n = m^* \frac{d^2 u_n}{dt^2} - F_n^d - F_{JKR}$$

(1)

$$F_t = m^* \frac{d^2 u_t}{dt^2} - F_\tau^d - F_\tau$$

(2)

$$M = I^* \frac{d^2 \theta}{dt^2} - (F_\tau^d + F_\tau) S$$

(3)

式中, F_n 为颗粒外法向力; F_t 为颗粒外切向力; M 为颗粒外力矩; m^* 为颗粒等效质量; I^* 为颗粒等效转动惯量; u_n 为颗粒之间法向相对位移; u_t 为颗粒之间切向相对位移; θ 为颗粒旋转角度; S 为颗粒旋转半径; F_n^d 为颗粒之间的法向阻尼; F_{JKR} 为颗粒之间的法向弹力; F_τ^d 为颗粒之间的切向阻尼; F_τ 为颗粒之间的切向弹力。

1.2 建立模型

在实际磨削过程中,大部分工件是靠砂带机的带轮上进行平移运动以完成磨削,因此主要对这一工作过程进行研究。在磨削过程中主要的部件为工件及砂带带轮,工件选用的是棒料,因此都可以简化为圆柱体。由于 DEMSlab 的模型需要外部导入,因此先利用 UG 软件建立出砂带磨削工件的三维模型,在测量实验材料与设备后设置砂带带轮半径 50 mm,高度 47 mm,工件半径 14 mm,高 180 mm。

将建立的三维模型转化格式后导入 DEMSlab 软件中,然后对模型进行参数设置,颗粒材料选择氧化铝,工件材料选择 45#钢,材料参数设置见表 1。为与实验所用砂带属性保持一致,设置粒度为 240 目,查阅资料后设置颗粒直径为 60 μm ;颗粒为 Hard Particle Model,参考文献^[13]设置颗粒密度为 2.96 mm^{-2} ,工件位于带轮正上方,可通过调节间距以改变进给量,随后在砂带模型的曲面上生成颗粒。由于砂带带轮在左侧,工件在右侧,因此砂带带轮设置竖直方向顺时针旋转,工件设置向左平移运动,随后设置运动时间开始模拟仿真。模拟结束后,打开视图设置选择 Wear Extent 选项,记录的数值即为磨削过程中的材料去除深度,记录的数值为一组数据,在此选择最大值作为 MRD。

表 1 砂带和工件相关参数

Tab.1 Related parameters for abrasive belt and workpiece

材料参数 类型	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量/ GPa	泊松比	比热容/ ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	导热系数/ ($\text{W} \cdot \text{mK}^{-1}$)	硬度
颗粒	3 940	380	0.240	780	29	莫氏硬度 9
工件	7 850	210	0.269	465	45	HRC50

2 砂带磨削参数对 MRD 影响的仿真试验结果及分析

在砂带的磨削过程中,许多磨削参数数值大小的变化会影响到磨削后的 MRD 值,其中包括砂带转速、工件进给速度、工件进给量和工件水平夹角等。

2.1 单因素仿真试验结果及分析

(1)砂带转速对 MRD 的影响

保持工件进给量为 0.2 mm、工件进给速度为 30 mm/s、水平夹角 0°的条件下,通过调整带轮的自转速度以改变砂带转速,进行仿真试验,结果如图 1 所示。

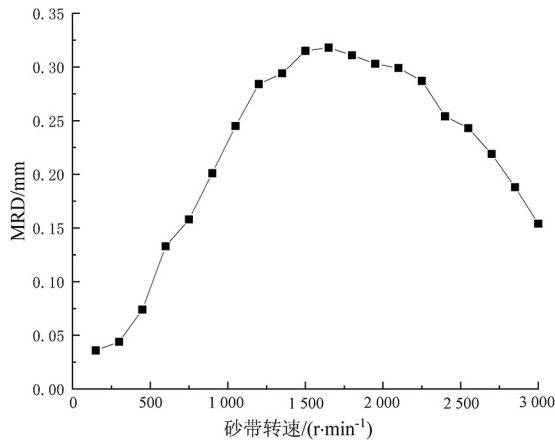


图 1 砂带转速对 MRD 的影响

Fig.1 Influence of belt speed on MRD

由图 1 可知,砂带速度低于 1 200 r/min 时,随着砂带速度的增加,MRD 也增加;当砂带速度在 1 200~1 650 r/min 时,MRD 虽然也随砂带速度的增加而增长,但增长速率变小;当砂带速度大于 1 650 r/min 时,MRD 开始逐渐减小。考虑这是由于前期砂带速度增加,单位时间内砂带上的磨粒与工件接触次数增加,提高了磨削效率,因此 MRD 增加;后期由于砂带速度过大,造成磨粒没有有效地接触工件完成磨削,并且砂带速度过大使其弹性退让增加,造成 MRD 减小。砂带转速增大会使法向压力变大^[14],棒料受到的反作用力也会增大,由于棒料材料设置为低刚度,会产生振动使实际切入深度增加,造成部分 MRD 大于 0.2 mm。

(2)工件进给量对 MRD 的影响

保持砂带转速为 600 r/min、工件进给速度为

30 mm/s、水平夹角 0°的条件下,通过调整模型中工件的相对位置以改变工件进给量,进行仿真试验,结果如图 2 所示。

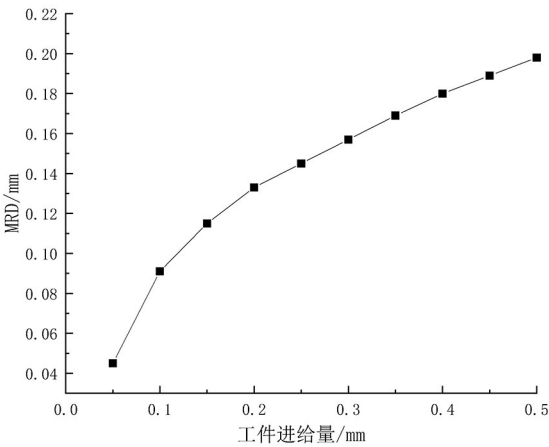


图 2 工件进给量对 MRD 的影响

Fig.2 Influence of workpiece feed on MRD

由图 2 可知,在所选取的取值范围内,工件的 MRD 随工件进给量的增加而增加,增长速率逐渐减小。考虑这是由于进给量的变化会使砂带和工件间的压力发生改变,压力会随着进给量的增大而增大,而压力增大会使砂带弹性退让增加,使 MRD 的增加速率减小。

(3)工件进给速度对 MRD 的影响

保持砂带转速为 600 r/min、工件进给量为 0.2 mm、水平夹角 0°的条件下,通过调整棒料横向进给方向的速度以改变工件进给速度,进行仿真试验,结果如图 3 所示。

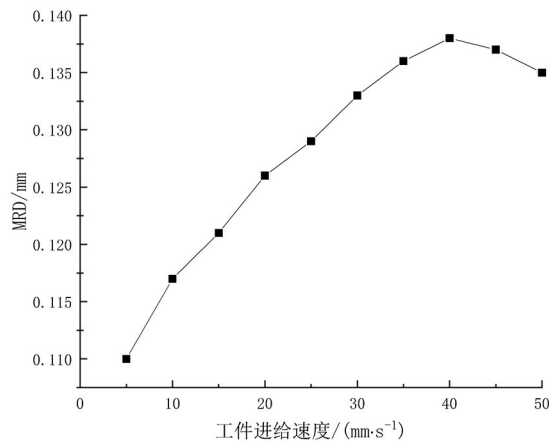


图 3 工件进给速度对 MRD 的影响

Fig.3 Influence of workpiece feed speed on MRD

由图 3 可知,工件进给速度低于 40 mm/s 时,随着进给速度的增加,MRD 也增加;考虑是由于进给速度增大使砂带与工件间压力改变,造成磨粒的实际切入深度增加,导致 MRD 增加;当进给速度大于 40 mm/s 后,MRD 开始逐渐减小。考虑这是由于进给速度的增大,工件移动过快,砂带并没有对工件充分磨削,导致 MRD 减小。

(4)水平夹角对 MRD 的影响

保持砂带转速 600 r/min、工件进给量 0.2 mm、工件进给速度 30 mm/s 的条件下,通过调整模型中棒料的角度以改变工件水平夹角,进行仿真试验,结果如图 4 所示。

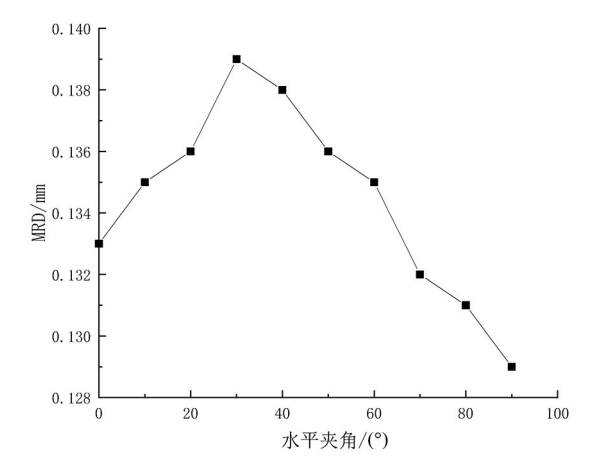


图 4 水平夹角对 MRD 的影响

Fig.4 Influence of horizontal angle on MRD

由图 4 可知,工件与水平夹角成 20°~50°时,MRD 较大;当水平夹角大于 30°时,MRD 随水平夹角的增大而逐渐减小。考虑这是在 20°~50°的区间里,磨削过程中的倾斜角度与法向压力使砂带磨粒对工件磨削效果较好,使 MRD 较大。

单因素试验表明,砂带速度低于 1 200 r/min 时,MRD 随着砂带速度的增加而增加;当砂带速度为 1 200~1 650 r/min 时,MRD 也随之增长但增长速率变小;当砂带速度大于 1 650 r/min 时,MRD 开始逐渐减小。MRD 随着工件进给量的增加非线性增加,增长速率逐渐下降。工件进给速度低于 40 mm/s 时,MRD 随着进给速度的增加而增加;当进给速度大于 40 mm/s 后,MRD 开始逐渐减小。工件与水平夹角成 20°~50°时,MRD 较大;当水平夹角大于 30°时,MRD 随水平夹角的增大而逐渐减小。

2.2 正交仿真试验及结果分析

在砂带磨削工件的过程中,磨削系统的磨削参数对工件的 MRD 有直接的影响关系,改变工件的进给量会使法向磨削力变化,使砂粒的切入深度发生改变,进而改变 MRD;工件的进给速度会使工件与砂带间接接触面积变化,进给速度越快,接触面积越大,进而 MRD 越大;砂带转速越大,单位时间内砂粒与工件的接触次数增加,使砂粒切入的深度变大,MRD 变大。

由于单因素试验的结果不能反映出多个工艺参数的改变对工件 MRD 的影响及相互作用,因此采用正交试验法进行仿真试验,得到各个工艺参数对 MRD 的贡献率以及找到参数的最优组合。试验因素选择工件进给量、砂带转速、工件进给速度和工件水平夹角作为对象,4 个因素选取的水平如表 2 所示。

表 2 因素选择及水平划分

Tab.2 Factor selection and level division

水平	工件进给量/ mm	砂带转速/ (r · min ⁻¹)	工件进给速度/ (mm · s ⁻¹)	水平夹角/ (°)
1	0.1	600	10	0
2	0.2	1 200	20	20
3	0.3	1 800	30	40
4	0.4	2 400	40	60
5	0.5	3 000	50	80

由于此试验为 4 因素 5 水平,因此选择正交表L₂₅(5⁴)进行试验,正交试验结果如表 3 所示。

对此次试验研究的工件 MRD,采用信噪比描述特性,MRD 希望越大越好,试验的结果处理适用望大特性,望大公式^[15]为:

$$S/N = 10 \lg \sum_{i=1}^n y_i^2$$

(4)

式中 S/N 为信噪比; y_i 为仿真试验得到的 MRD 值,由试验数据计算得到的 S/N 值如表 4 所示。

第 i 个因素在第 j 个水平下的平均信噪比计算公式如下:

$$(\overline{S/N})_{ij} = \frac{\sum (S/N)_{ij}}{T_{ij}}$$

(5)

信噪比主效应图如图 5 所示,信噪比响应表如表 5 所示。

表 3 正交仿真试验结果

Tab.3 Orthogonal simulation test results

试验号	工件进给量/ mm	砂带 转速/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	工件进给速度/ ($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)	水平 夹角/ ($^{\circ}$)	MRD/ mm
1	1	1	1	1	0.076
2	1	2	2	2	0.239
3	1	3	3	3	0.274
4	1	4	4	4	0.219
5	1	5	5	5	0.107
6	2	1	2	3	0.131
7	2	2	3	4	0.286
8	2	3	4	5	0.312
9	2	4	5	1	0.256
10	2	5	1	2	0.141
11	3	1	3	5	0.155
12	3	2	4	1	0.313
13	3	3	5	2	0.340
14	3	4	1	3	0.267
15	3	5	2	4	0.173
16	4	1	4	2	0.188
17	4	2	5	3	0.338
18	4	3	1	4	0.297
19	4	4	2	5	0.292
20	4	5	3	1	0.201
21	5	1	5	4	0.202
22	5	2	1	5	0.331
23	5	3	2	1	0.369
24	5	4	3	2	0.322
25	5	5	4	3	0.229

表 4 仿真结果 S/N 值

Tab.4 S/N value of simulation results

试验号	S/N	试验号	S/N	试验号	S/N
1	-22.383 7	10	-17.015 6	19	-10.692 3
2	-12.432 0	11	-16.193 4	20	-13.936 1
3	-11.245 0	12	-10.089 1	21	-13.893 0
4	-13.191 1	13	-9.370 4	22	-9.603 4

续表

试验号	S/N	试验号	S/N	试验号	S/N
5	-19.412 3	14	-11.470 0	23	-8.659 5
6	-17.654 6	15	-15.239 1	24	-9.842 9
7	-10.872 7	16	-14.516 8	25	-12.803 3
8	-10.116 9	17	-9.421 7		
9	-11.835 2	18	-10.544 9		

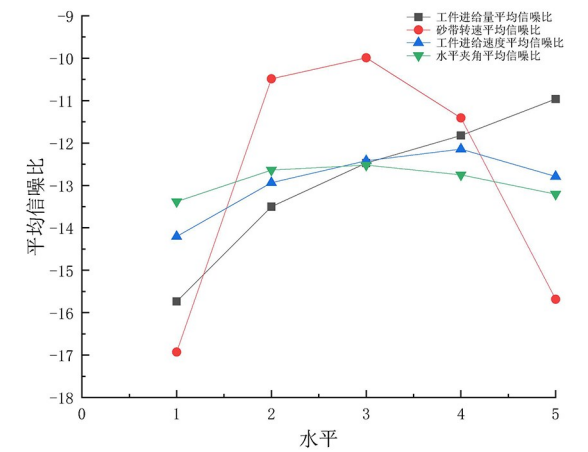


图 5 信噪比主效应
Fig.5 Major effects of S/N ratio

表 5 信噪比响应

Tab.5 SNR response

水平	工件进给量/ mm	砂带 转速/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	工件进给速度/ ($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)	水平 夹角/ ($^{\circ}$)
1	-15.732 8	-16.928 3	-14.203 5	-13.380 7
2	-13.499 0	-10.483 8	-12.935 5	-12.635 5
3	-12.472 4	-9.987 3	-12.418 0	-12.518 9
4	-11.822 4	-11.406 3	-12.143 4	-12.748 2
5	-10.960 4	-15.681 3	-12.786 5	-13.203 7
极差	4.772 4	6.941	2.060 1	0.861 8

根据图 5 分析可得最优参数组合:进给量为 0.5 mm,砂带转速为 1 800 r/min,工件速度为 40 mm/s,水平夹角为 40 $^{\circ}$ 。

每个因素对 MRD 的影响大小是由各个因素的贡献率体现的,总的平均信噪比^[16]为:

$$\overline{S/N} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^n (S/N)_i$$

(6)

式中, k 代表试验次数, $(S/N)_i$ 代表第 i 次试验的信噪比, 总离差平方和为:

$$SS = \sum_{i=1}^k ((S/N)_i - \overline{S/N})^2 \tag{7}$$

第 i 个因素的离差平方和为:

$$SS_i = \sum_{j=1}^l T_j \times ((\overline{S/N})_{ij} - \overline{S/N})^2 \tag{8}$$

式中, l 是水平数, 此次试验中 $l = 5$; T_j 为第 i 个因素在第 j 个水平的试验次数, 此次试验中 $T_j = 5$; $(\overline{S/N})_{ij}$ 是第 i 个因素在第 j 水平处的平均信噪比。

第 i 个因素的贡献率计算式如下:

$$P_i = \frac{SS_i}{SS} \times 100\% \tag{9}$$

所研究的各参数贡献率如表 6 所示。

表 6 各参数贡献率

Tab.6 Contribution rate of each parameter

数学变量	SS	$P_i/\%$
工件进给量	67.448	23.09
砂带转速	202.579 5	69.37
工件进给速度	15.86	5.43
水平夹角	6.13	2.11

由表 6 可知,砂带转速的影响比重最大,占到了 69.37%,其次是进给量 23.09%,工件速度第三为 5.43%,水平夹角的贡献率最小为 2.11%。因此为了保证工件的 MRD,在选择磨削参数时应在砂带机可调范围内选择较高的转速,但不要高于 1 800 r/min,增加工件进给,提高工件速度,但工件进给速度不要超过 40 mm/s。水平夹角对工件 MRD 影响较小,可将工件放置与水平成 20°至 60°夹角提高 MRD。

对最优参数组合进行验证,其结果如表 7 所示。

通过表 7 可知,当设置为最优参数组合时,仿真得到的 MRD 平均值为 0.375 mm,比正交试验中所有得到的 MRD 都大,从而验证最优参数组合的正确性。

从正交试验结果可以得出,在所研究的这些磨削参数中,砂带转速对 MRD 的影响比重最大,占到了 69.37%,其次是进给量 23.09%,工件速度

第三为 5.43%,水平夹角的贡献率最小为 2.11%。在所研究选取的数值范围内,最优参数组合为进给量 0.5 mm,砂带转速 1 800 r/min,工件速度 40 mm/s,水平夹角 40°。

表 7 最优参数组合条件下的 MRD 试验结果

Tab.7 MRD test results under optimal parameter combination conditions

试验次数	MRD/mm
1	0.374
2	0.378
3	0.373
4	0.375
平均值	0.375

3 磨削参数对 MRD 影响的实验结果及分析

3.1 实验材料及实验设备

工件:材料 45 钢,尺寸 $\varphi 28\text{ mm} \times 180\text{ mm}$,密度 7 850 kg/m³,硬度 HRC50,由于仿真材料属性根据实验材料设置,因此实验材料属性与仿真设置相同。

实验设备主要有:工业机器人、砂带机、千分尺。实验过程如图 6 所示,设备的基本参数如下:

(1)实验用砂带机:恒速砂带机型号 DH-1101,由伺服电机控制最大功率 2 kW。

(2)实验用工业机器人:型号为 KUKA KR10 R900 sixx。

(3)砂带:小太阳牌砂带,粒度 240 目;磨料为氧化铝,密度 3 940 kg/m³,莫氏硬度 9。

(4)千分尺:上海申量 25 ~ 50 mm 外径千分尺。

3.2 实验方案与结果分析:

在工件进给量为 0.2 mm、工件进给速度为 30 mm/s、水平夹角 0°的条件下,改变砂带转速,测量工件的 MRD,每组测 3 次取平均值,实验方案及结果见表 8。

图 6 为单因素下仿真数据与实验数据对比,可以看出,实测结果与仿真结果误差不大。

表 8 单因素实验结果

Tab.8 Signal factor experiment results

实 验 号	工件进 给量/ mm	砂带 转速/ $(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	工件进 给速度/ $(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	水平 夹角/ $(^{\circ})$	MRD/ mm
1	0.2	300	30	0	0.053
2	0.2	600	30	0	0.147
3	0.2	900	30	0	0.193
4	0.2	1 200	30	0	0.276
5	0.2	1 500	30	0	0.302

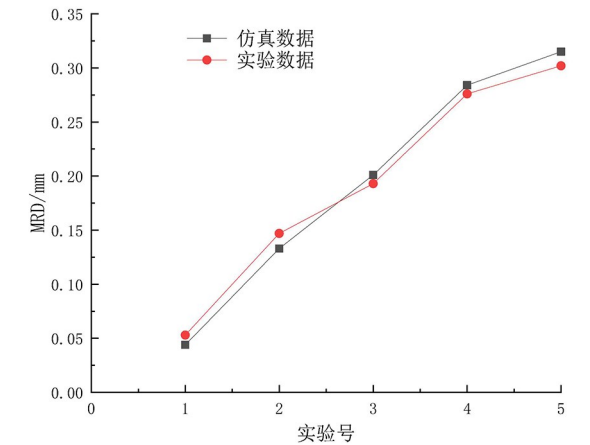


图 6 仿真与实验结果对比

Fig.6 Comparison of simulation and experimental results

取 5 组仿真参数进行正交实验,正交实验方案及结果见表 9。

表 9 正交实验结果

Tab.9 Orthogonal experiment results

实 验 号	工件进 给量/ mm	砂带 转速/ $(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	工件进 给速度/ $(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	水平 夹角/ $(^{\circ})$	MRD/ mm
1	0.1	600	10	0	0.084
2	0.2	600	20	40	0.142
3	0.3	600	30	80	0.159
4	0.4	1 800	10	60	0.303
5	0.5	1 200	10	80	0.327

图 7 为正交仿真数据与实验数据对比,可以看出,实测结果与仿真结果趋势大致相同,从而验证仿真正确性。

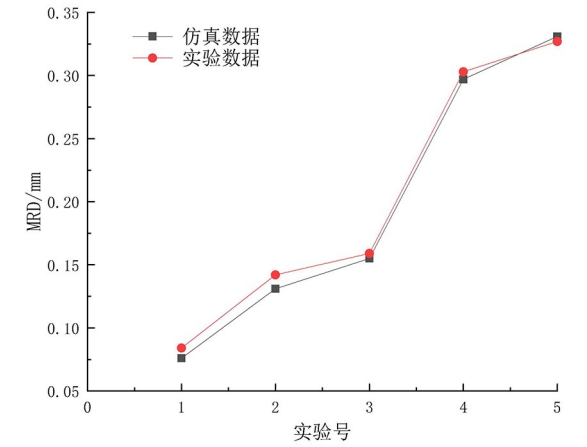


图 7 仿真与实验结果对比

Fig.7 Comparison of simulation and experimental results

4 结论

通过单因素试验表明,砂带速度低于 1 200 r/min 时,MRD 随着砂带速度的增加而增加;当砂带速度在 1 200 ~ 1 650 r/min 时,MRD 也随之增长但增长速率变小;当砂带速度大于 1 650 r/min 时,MRD 开始逐渐减小。MRD 随着工件进给量的增加非线性增加,增长速率逐渐下降。工件进给速度低于 40 mm/s 时,MRD 随着进给速度的增加而增加;当进给速度大于 40 mm/s 后,MRD 开始逐渐减小。工件与水平夹角成 20° ~ 50° 时,MRD 较大;当水平夹角大于 30° 时,MRD 随水平夹角的增大而逐渐减小。

正交试验表明,在研究的这些磨削参数中,砂带转速对 MRD 的影响比重最大,占到了 69.37%,其次是进给量 23.09%,工件速度第三,为 5.43%,水平夹角的贡献率最小为 2.11%。在所研究选取的数值范围内,最优参数组合为进给量 0.5 mm,砂带转速 1 800 r/min,工件速度 40 mm/s,水平夹角 40°。通过实验验证仿真结果的正确性,表明仿真结果与结论是可靠的。

参考文献:

[1] 陈育辉. 步枪机匣表面机器人恒力砂带抛光技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
[2] 黄云, 黄智. 现代砂带磨削技术及工程应用[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2009.
[3] 刘月明, 何喆, 王荣全, 等. 钢轨试件砂带磨削行为试验研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2017, 25(2): 419-426.

[4] XIAO G J, HUANG Y, CHEN G L, et al. Investigations on belt grinding of GH4169 nickel-based superalloy[J]. Advanced Materials Research, 2014, 1017: 15-20.

[5] WU X J, YANG Y, TONG X, et al. The grey theory combining the taguchi method for the best parameters: a case study of polishing M300 steel[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2019, 2019: 1-13.

[6] 张阳. 基于鼓型接触轮的砂带磨抛研究与实验[D]. 长春: 吉林大学, 2018.

[7] 薛亚军, 贺福强, 陈发江, 等. 基于离散元法的木质板材压制成形过程仿真与分析[J]. 林业机械与木工设备, 2021, 49(5): 52-57.

[8] 张恒宇, 李艳洁, 刘春飞, 等. 基于 DEM 仿真与试验验证的双轴螺旋输送机结构优化分析[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(4): 148-156.

[9] 陈彦超. 基于 DEM 螺旋输送机内颗粒运移规律研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2018: 15-30.

[10] 贺一鸣, 向伟, 吴明亮, 等. 基于堆积试验的壤土离散元参数的标定[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2018, 44(2): 216-220.

[11] 刘凡一, 张舰, 李博, 等. 基于堆积试验的小麦离散元参数分析及标定[J]. 农业工程学报, 2016, 32(12): 247-253.

[12] 李永祥, 李飞翔, 徐雪萌, 等. 基于颗粒缩放的小麦粉离散元参数标定[J]. 农业工程学报, 2019, 35(16): 320-327.

[13] 张晓芳. 超声辅助砂带磨削铝合金仿真与实验研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2016.

[14] 谢昊澄. 基于单磨粒仿真的焊缝磨削机器人恒力加工过程建模分析与工艺参数优化[D]. 天津: 天津理工大学, 2021.

[15] GOWRI S, SHIREESHA K, KENNEDY X. Taguchi analysis in optimisation of belt grinding of stainless steel 304[J]. International Journal of Machining and Machinability of Materials, 2009, 5(1): 41-59.

[16] 刘国兴, 任世彬. 田口方法与稳健性设计[J]. 电工电气, 2010(10): 53-57.

(责任编辑: 方素华)

《福建工程学院学报》

“深入学习贯彻党的十九届六中全会精神”栏目征文启事

为深入学习贯彻党的十九届六中全会精神,推动教育发展和学校建设,本刊决定开设“深入学习贯彻党的十九届六中全会精神”专栏,围绕“党的百年奋斗重大成就和历史经验”“学习贯彻和研究党的十九届六中全会精神”主题,从社会学、哲学、历史学、文学、法学、教育学等角度,公开征集、组织刊发相关系列文章。

一、征稿主题

我刊为综合性学术期刊,投稿可围绕上述主题从理论、历史、实践等角度对全会精神进行解读,共同探讨与全会精神密切相关的重大理论和实践问题。

二、征稿要求

来稿应紧扣“深入学习贯彻党的十九届六中全会精神”,兼顾学理性与现实性,政治导向正确,视野开阔、论证严谨;字数 6000~12000 字;恪守学术规范,严格遵守知识产权相关法律法规,不得一稿多投;文章格式与注释体例参照《福建工程学院学报》网站“投稿指南”。

三、投稿方式

1. 投稿方式

方式一: 打开福建工程学院主页 (<http://www.fjut.edu.cn/>) 从“学报纵览”进入学报采编系统, 注册登录进行投稿;

方式二: 打开《福建工程学院学报》首页 (<http://gcxyxb.fjut.edu.cn/>), 点击页面左侧“稿件处理系统”栏目下的“作者投稿”按钮, 注册账号后登录投稿系统进行投稿。

2. 征文截止时间: 2022 年 8 月 31 日。

四、本刊联系方式

通信地址: 福建省福州市大学新区学府南路 33 号《福建工程学院学报》编辑部

邮 编: 350118

电 话: 0591—22863076

网 址: <http://gcxyxb.fjut.edu.cn/>

电子邮箱: gxcb@fjut.edu.cn fjgxcb@126.com