

基于仿真与试验分析的新型可换头钻头切削性能研究

易亮¹,周利平¹,江凡¹,彭路贵²,唐永华²

¹西华大学;²成都锋宜精密工具制造有限公司

摘要: 利用有限元仿真软件 AdvantEdge FEM 对新型钻头孔加工的钻削过程进行虚拟仿真分析,研究钻削力、扭矩等随钻削用量、刀具大小改变的变化规律,分析可换头钻头较传统麻花钻的优势。运用极差分析法得出不同仿真条件下的各钻削参数、刀具大小对钻削力、温度、扭矩的影响程度。以正交试验为基础,通过搭建试验平台进行钻削试验,根据试验结果优化仿真试验参数,使试验值与仿真值误差在一定范围内,以确定有限元仿真分析对新型刀具的可行性。

关键词: 可换头钻头;钻削力;正交试验;仿真分析

中图分类号: TG115;TG61;TH161.3

文献标志码: A

Research on Cutting Performance of Inter-changeable Head Drill Based on Analysis of Simulation and Experiment

Yi Liang, Zhou Liping, Jiang Fan, Peng Luguai, Tang Yonghua

Abstract: The finite element simulation software AdvantEdge FEM is used to simulate the drilling process of the new drill hole machining. Based on the analysis of the advantages of inter changeable head drill compared to traditional twist drill, the variation rules of drilling force, torque and so on while drilling amount and tool size are studied. The range analysis method is used to analyze the data under different simulation conditions to get the influence of drilling parameters and tool size on drilling force, temperature and torque. Based on the orthogonal experiment, the drilling experiment is carried out by setting up an experimental platform. According to the experimental results, the experimental parameters are further optimized so that the error between the experimental value and the simulation value is within a certain range to ensure the feasibility of finite element simulation analysis on the new tool.

Keywords: interchangeable head drill; drilling force; orthogonal experiment; simulation analysis

1 引言

在机械加工中,孔加工的地位非常重要,一般孔加工量约占整个机械加工量的 1/3,其中钻孔约占 25%,其余孔加工约占 13%,很多机械产品的生产制造都离不开孔加工技术^[1,2]。目前,国内外应用最广泛、生产实用性最强的孔加工方法仍然是采用麻花钻的钻削加工。在近年发展应用中,其使用量一直保持在较高的水平^[3]。可换头钻头最早出现在 20 世纪 90 年代后期,由刀头和刀体两部分组成。相对于传统麻花钻,当刀头切削刃磨损严重需要更换时,只需要将刀头直接取下,不需要将整个钻头取下,减少了换刀过程的操作时间,刀头、刀体可采用不同的材料制成,且一个刀体可以搭配多个尺寸的刀头。节省资金投入的同时,还可为使用者提供多种选择^[4,5]。

目前,新型可换头钻头的市场主要由国外知名刀具公司占领,国内研究较少。成都锋宜精密工具制造有限公司自主研发的此类钻头在结构设计上更加地方便、快捷,被广泛应用于钻孔加工中。但针对切削性能的研究均采用试验方法,由于产品型号规格太多,很大程度增加了研发成本。本文通过有限元仿真软件 AdvantEdge FEM 对可换头钻头钻削过程进行模拟仿真,分别对不同直径大小钻头在钻削常见材料状态时的钻削力等参数进行研究,分析钻削要素对钻削力的影响。利用正交试验方法设计钻削用量试验方案,对比仿真与试验结果,确定有限元仿真方法对于新型刀具的可行性。

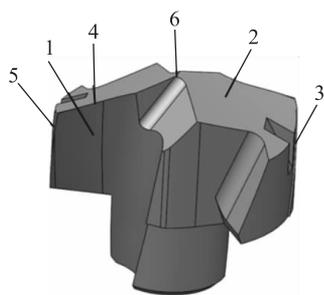
2 可换头钻头结构

本文研究的可换头钻头为成都锋宜精密工具制造有限公司自主研发的新型自锁式可换头硬质合金钻头,由刀头和刀杆两部分组成,采用自锁式结构连接。刀头采用硬质合金材料,刀杆采用普通钢材,增加工作效率时制造成本可得到控制。新型可换头钻

基金项目: 四川省科技厅“四川省应用基础研究项目”(2015JY0276);四川省省级大学生创新创业训练计划项目(201610623037)

收稿日期: 2017年11月

头模型见图 1。



1. 螺旋槽面 2. 主后刀面 3. 副后刀面
4. 主切削刃 5. 副切削刃 6. 横刃

图 1 可换头钻头模型

钻削加工时,随着加工的持续,钻头逐渐深入工件内部,钻削产生的热不易传导出来,使工件与刀具温度过高导致孔加工质量下降,刀具磨损严重,严重时更可能发生粘刀、崩刀现象。

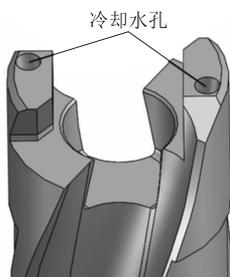


图 2 钻头水孔分布

新型可换头钻头采取内冷却方式,刀杆顶部设有两个出水孔连通至刀杆柄部,切削液通过刀杆内部水孔,从刀杆顶端出水进而对刀头进行冷却。相对于传统麻花钻的外部冷却,内冷却方式能够更高效地带走刀具和工件的钻削热量,同时使切屑排除更加顺畅。内冷却孔的位置见图 2,这种结构要求机床主轴有专门的内冷装置。

3 正交试验方案设计

仿真目的是为了分析新型钻头的钻削加工过程,研究各因素对加工过程的影响,并结合试验结果分析仿真数据的可靠性。由于研究涉及到的变量较多,若逐一进行试验,则试验次数将会非常多。为通过少数试验得到较为全面且精确的结果,采取正交试验设计法^[6-8]。

以钻削用量和钻头直径为研究对象,研究其对钻削力和扭矩等的影响规律。在进行正交试验设计时,选取钻削时的主轴转速 n (r/min)、进给量 f_z (mm/r) 及钻头直径 d (mm) 为试验因素,分别对这三个因素取三个水平进行试验。参考伊斯卡公司的

CHAM 钻头加工优质碳素结构钢的推荐切削参数,在多次试验探索后选取的钻削用量参数及正交试验具体方案见表 1。

表 1 正交试验设计

试验号	主轴转速 n (r/min)	进给量 f_z (mm/r)	钻头直径 d (mm)
1	375	0.16	16.0
2	375	0.18	16.4
3	375	0.20	16.8
4	400	0.16	16.4
5	400	0.18	16.8
6	400	0.20	16.0
7	425	0.16	16.8
8	425	0.18	16.0
9	425	0.20	16.4

4 钻削过程的仿真分析

4.1 仿真过程

采用 Advant Edge 软件进行有限元仿真分析,其主要流程为仿真参数设定、求解以及仿真结果分析。Advant Edge 中有大量的标准刀具库以及多种材料库,但可换头钻头属于新研发产品,因此需要通过其它 CAD/CAE 软件建模后导入到系统中。工件模型可直接输入参数由系统自动生成,选取刀具材料为硬质合金,工件材料为 45 钢,仿真模型见图 3。通过软件的网格自适应技术对网格进行自动划分。

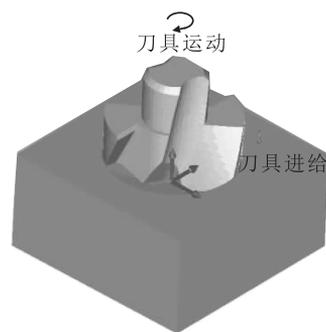


图 3 钻削仿真

Advant Edge FEM 对每一种切削工艺的切削参数有标准定义根据正交试验参数进行设定,对切削时的摩擦系数也需要定义,仿真值设定为 0.6。切削过程中均会产生切削热量,对于一些产生热量较多的切削加工,切削热会对试验结果造成极大影响,故还需对切削液进行设置。选择切削液后,对切削液的初始温度和热传导系数分别定义为 20℃ 和 1E4W/m²·K,进行求解并对仿真结果进行分析(见图 4)。

4.2 正交试验仿真结果分析

通过仿真试验得到钻削仿真结果数据(见表 2),选用极差分析法对试验结果进行分析。通过分

析得到钻削用量选取的最优方案。 F_z 钻削仿真结果分析见表 3, M_c 钻削扭矩仿真结果分析见表 4, T 钻削温度仿真结果分析见表 5。

表中, K_1, K_2, K_3 分别表示每一水平的试验结果之和, k_1, k_2, k_3 表示每一水平的试验结果之和的平均数, R 表示极差。

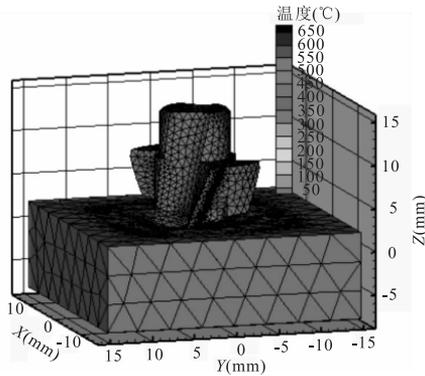


图 4 钻削仿真结果分析

表 2 仿真结果数据表

试验号	n	f_z	d	M_c	F_z	T
1	375	0.16	16.0	7.16	2174	462
2	375	0.18	16.4	9.12	1852	476
3	375	0.20	16.8	11.22	2415	478
4	400	0.16	16.4	10.49	1858	481
5	400	0.18	16.8	12.65	2398	486
6	400	0.20	16.0	8.12	2504	494
7	425	0.16	16.8	13.14	2311	502
8	425	0.18	16.0	8.33	2428	514
9	425	0.20	16.4	11.93	2102	541

表 3 F_z 仿真结果分析计算表

指标		A(转速)	B(进给量)	C(刀头直径)
F_z	K_1	6441	6343	7106
	K_2	6760	6678	5812
	K_3	6841	7022	7124
	k_1	2147	2114	2368
	k_2	2253	2226	1937
	k_3	2280	2340	2374
	极差 R	106	226	437
因素主次		CBA		
优方案		$C_2B_1A_1$		

表 4 M_c 仿真结果分析计算表

指标		A(转速)	B(进给量)	C(刀头直径)
M_c	K_1	27.5	30.79	23.61
	K_2	31.26	30.1	31.54
	K_3	33.4	31.27	37.01
	k_1	9.17	10.26	7.87
	k_2	10.42	10.00	10.51
	k_3	11.13	10.4	12.33
	极差 R	1.96	0.4	4.46
因素主次		CAB		
优方案		$C_1A_1B_2$		

表 5 T 仿真结果分析计算表

指标		A(转速)	B(进给量)	C(刀头直径)
T	K_1	1416	1445	1470
	K_2	1461	1476	1498
	K_3	1557	1513	1466
	k_1	472	481	490
	k_2	487	492	499
	k_3	519	504	488
	极差 R	47	23	11
因素主次		ABC		
优方案		$A_1B_1C_3$		

根据表 3 - 表 5 分析可得到以下结论:

①因素 A (即主轴转速 n) 对刀头轴向力和温度的影响比较明显, 在取值范围内随着转速的增加, 刀头轴向力和温度逐渐变大, 对扭矩影响相对较小, 随着转速的增大, 刀头扭矩有较小的增加量。

②因素 B (即进给量 f_z) 对刀头轴向力和温度有一定的影响, 随着进给量的增加轴向力和温度逐渐增高, 对扭矩基本没有影响。

③因素 C (即刀头直径 d) 对轴向力和扭矩均有较大的影响, 扭矩随着直径增加而有一定增量, 刀头直径对温度的影响较小。

5 钻削试验

为验证运用 AdvantEdge FEM 仿真软件进行的可换头钻头钻削过程仿真分析的可行性与准确性, 在数控加工中心进行了钻削加工试验。在钻削加工试验中选取的钻削用量、钻头直径应与仿真试验保持一致。

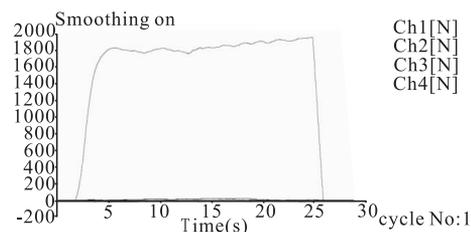


图 5 钻削力曲线(过滤)

(1) 试验材料与设备

刀杆直径选取 $\phi = 16\text{mm}$, 刀头直径分别为 $d = 16.0\text{mm}$ 、 $d = 16.4\text{mm}$ 和 $d = 16.8\text{mm}$ 三种规格。工件材料为 45 号钢, 加工中心为 PL700A 立式加工中心。试验主要目的是测量切削力, 设备采用由瑞士 Kistler 公司生产的测力系统, 主要由 9257B 型压电晶体传感器、5070A 型电荷放大器及数据采集软件 DynoWare 等构成。

(2) 试验数据采集

通过数据采集软件 Dynoware 对 Kistler 测力系

统传输数据进行收集和分析(见图5)。对采集到的数据进行综合分析,通常选取相对稳定的一段曲线得到所需的 X 、 Y 、 Z 三个方向的分力。

6 仿真与试验数据分析

根据正交试验设计方案对钻头进行钻削加工试验后记录数据,采用钻削加工过程中的钻削力对仿真试验进行验证。

将采集到的钻削加工中的三个钻削分力 F_x 、 F_y 和 F_z 与有限元仿真结果进行对比,对比结果见表6-表8。

表6 F_x 仿真值与试验值对照表

序号	F_x		
	仿真	试验	误差
1	16.62	16.14	2.9
2	18.31	18.12	1.0
3	20.04	19.89	0.75
4	12.79	12.04	6.2
5	7.23	7.12	1.5
6	14.14	13.51	4.6
7	9.42	9.16	2.9
8	4.52	4.29	5.3
9	18.53	17.06	8.6

表7 F_y 仿真值与试验值对照表

序号	F_y		
	仿真	试验	误差
1	30.48	28.66	6.3
2	3.72	3.69	0.73
3	35.85	32.76	9.4
4	3.55	3.32	6.9
5	38.69	36.58	5.8
6	33.11	30.92	7.1
7	23.31	22.90	1.7
8	40.25	38.70	4.1
9	41.57	40.11	3.6

表8 F_z 仿真值与试验值对照表

序号	F_z		
	仿真	试验	误差
1	2174	2139	1.6
2	1852	1825	1.5
3	2415	2399	0.67
4	1858	1809	2.7
5	2398	2257	6.2
6	2504	2306	8.6
7	2311	2289	0.96
8	2428	2389	1.6
9	2102	1998	5.2

由表可知,仿真值与试验值误差均在10%以内,误差可能来源于工件的热变形以及内应力的影响,大部分误差值较小,试验数据与仿真数据基本吻合。

7 结语

(1)运用 Advant Edge FEM 3D 有限元仿真软件对钻削过程进行仿真分析,该软件与实际加工存在误差,但误差值较小。因此,针对新型钻削刀具切削性能分析时,可以先运用有限元分析软件进行模拟仿真,得到切削加工最佳参数,并运用到实际加工中,以达到节约时间和减少生产成本的目的。

(2)新型可换头钻头在不同主轴转速、进给量以及刀具大小的影响下,三要素对于轴向力的影响程度大小为:钻头直径 $d >$ 进给量 $f_z >$ 主轴转速 n ;对于扭矩的影响程度大小为:钻头直径 $d >$ 主轴转速 $n >$ 进给量 f_z ;对于钻削温度的影响程度大小为:主轴转速 $n >$ 进给量 $f_z >$ 钻头直径 d 。

参考文献

- [1] A Barani, S Amini, H Paktinat, et al. Built-up edge investigation in vibration drilling of B12024 - T6 [J]. Ultrasonics, 2014(54):1300 - 1310.
- [2] 王骏, 柯亚仕, 周丹. 硬质合金孔加工刀具的技术进展 [J]. 工具技术, 2011, 45(5): 9 - 12.
- [3] Jian Wu, Rongdi Han. Friction characteristics in green drilling titanium alloy Ti6Al4V [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Science), 2012, 17(6): 684 - 689.
- [4] 李贻善. 与时俱进, 用创新引领未来 [J]. 金属加工 (冷加工), 2013, 47(2): 5.
- [5] Christer Richt. 新刀头提供了新可能性 [J]. 航空制造技术, 2012, 46(19): 98 - 99.
- [6] 刘瑞江, 张业旺, 闻崇炜, 等. 正交试验设计和分析方法研究 [J]. 实验技术与管理, 2010, 27(9): 52 - 55.
- [7] 郭德勋, 黄榕波. 正交试验层次分析法 [J]. 大学数学, 2004, 20(1): 114 - 117.
- [8] 侯化国, 王玉民. 正交试验法 [M]. 长春: 吉林人民出版社, 1985.

第一作者: 易亮, 硕士研究生, 西华大学机械工程学院, 610039 成都市

First Author: Yi Liang, Postgraduate, College of Mechanical Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China