

基于 AdvantEdge 的麻花钻钻削 45 钢切削参数优化

吴燕

上海大学机电工程与自动化学院;上海大众动力总成有限公司

摘要: 针对麻花钻钻削 45 钢建立钻削模型,并使用 AdvantEdge FEM 有限元软件对钻削过程中的钻削力、扭矩以及钻削温度进行了仿真实验。以有限元仿真值作为正交实验值对钻削力、扭矩以及钻削温度进行分析,得到最优的切削参数组合。

关键词: 深孔加工;有限元;45 钢;AdvantEdge

中图分类号: TG501;TG713+.1;TH161+.1 **文献标志码:** A **DOI:**10.3969/j.issn.1000-7008.2019.12.016

Cutting Parameters Optimization of Twist Drill 45 Steel Based on AdvantEdge

Wu Yan

Abstract: The drilling model is established for drilling 45 carbon steel with twist drill, and in order to study on the drilling force, torque and drilling temperature, the AdvantEdge FEM finite element software are used to simulate in the drilling process. The drilling force, torque and drilling temperature are analyzed by using the finite element simulation value as the orthogonal experimental value, and the optimal combination of cutting parameters are obtained.

Keywords: deep hole processing; finite element; 45 carbon steel; AdvantEdge

1 引言

孔加工是机械制造中常见的材料处理方法^[1],分为深孔加工和浅孔加工两大类。在实际工作中,深孔加工占孔加工总量的 40% 左右,深孔加工的钻削效率相对较低,且深孔加工工艺在半封闭或完全封闭的作业状况中进行,所以影响效率和加工质量的因素复杂多样。深孔钻削技术工艺难度较大,加工精度和加工质量要求高,因此,对深孔钻削进行深入系统的研究显得尤为重要。

国外钻削加工参数优化研究相对成熟,国内已

运用模拟技术研究麻花钻。Etienne Robert Perron 等^[2]研究了高质量钻孔加工参数优化的问题,分析了刀具的选择以及钻削参数对孔加工质量的影响。Panagiotis Kyratsis 等^[3]对钻削轴向力和扭矩的分析预测进行了研究,为参数优化提供数据条件。D. Kim 等^[4]以钻孔质量为目标进行钻削参数选择,利用多目标优化进行参数优化分析。张文全等^[5]基于高速钻削中的钻头寿命,对主轴转速以及进给量进行了参数优化。刘儒军等^[6]运用正交分析以钻孔加工质量为目标进行了优化。臧雪柏等^[7]运用遗传算法优化的人工神经网络对振动钻削进行了钻削参数优化。张永军等^[8]运用人工神经网络对钻削参数进行

收稿日期:2018年8月

参考文献

- [1] 余功炎,朱变平.小压力角滚刀的设计与应用[J].机械制造,2015(5):35-36.
- [2] Faydor L Litvin, Alfonso Fuentes. Gear geometry and applied theory[M]. New York: Cambridge University Press, 2011.
- [3] 李维杰,于冬艳.基于 Kisssoft 变模数变压力角滚齿模拟[J].金属加工(冷加工),2014(24):60-62.
- [4] 四川省机械工业局.齿轮刀具设计理论基础[M].北京:机械工业出版社,1982.
- [5] 刘树香,刘志忠,裴帮.变参数滚刀加工非标齿轮的探讨[J].机械工程师,2018(9):32-33,36.
- [6] 孙建华,于继龙.代用滚刀的选用与计算[J].工具技术,1999(6):26-28.

- [7] Iulian Stănușel, Florin Blaga, Traian Buidos. Parametric design of gear hob cutter[J]. Applied Mechanics & Materials, 2015, 809-810:736-741.
- [8] 徐锐,汪列隆,潘培道.凸角型滚刀的加工过程模拟研究[J].装备制造技术,2018(3):145-146,159.
- [9] 王军.渐开线齿轮滚刀 CAD 辅助设计[J].山东冶金,2012(5):42-43,46.
- [10] 樊善池.用不等模数不等压力角的滚刀滚切留磨量齿轮的分析计算[J].汽车齿轮,1991(2):53-56.
作者:樊凡,工程师,南京高速齿轮制造有限公司制造技术及过程控制处,211100 南京市
Author: Fan Fan, Engineer, Nanjing High Speed Gear Manufacturing Co., Ltd., Manufacturing & Process Control Department, Nanjing 211100, China

了优化。王力维^[9]利用基于粒子群优化的人工神经网络算法对钻削加工进行了参数优化。

为优化麻花钻钻削45钢的深孔钻削参数,本文建立了麻花钻钻削45钢的钻削模型以及摩擦模型,利用有限元软件 AdvantEdge FEM 对其进行了有限元仿真分析,为钻削参数优选提供了理论依据。

2 建立钻削模型

钻削过程中,材料受到高温高压时会发生弹性形变,为了准确描述材料的物理特性,选择 Advant-Edge FEM 的 Power Law 材料模型,包含热软化 $\theta(T)$,应变硬化 $g(\varepsilon^p)$ 以及应变率灵敏度 $\tau(\dot{\varepsilon})$ 。材料模型的表达式为

$$\sigma(\varepsilon^p, \dot{\varepsilon}, T) = g(\varepsilon^p) \tau(\dot{\varepsilon}) \theta(T) \quad (1)$$

在钻削过程中,材料去除区域会发生大变形,该部分会在仿真过程中不断进行网格重划分,使得每隔增量步后模型的网格不会因为过畸变使仿真无法继续进行。工件的表面加工质量、各部分温度变化、刀具所受钻削力和扭矩都是仿真时需要着重观察的参数量。

45钢的力学性能:硬度200BHN,拉强度不小于600MPa,屈服强度不小于355MPa。本文以硬质合金麻花钻作为仿真试验对象,采用自适应网格重划分技术得到最优网络,钻削过程的仿真图见图1。

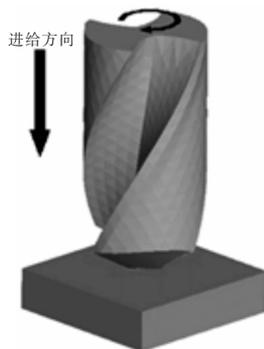


图1 钻削过程仿真

3 正交试验设计

针对深孔麻花钻钻削45钢进行试验设计,工件材料为45钢。选择的因素为刀具刃径 d 、切削速度 V_c 、进给量 f 、钻削深度 h 和芯厚倒锥量 K_1 ,分别对五个因素取四个水平进行试验研究。试验因素水平表见表1。设计的正交试验见表2。

4 钻削过程及数据分析

4.1 钻削过程

在五因素四水平正交试验设计要求下进行麻花

钻钻削45钢的有限元仿真。如图2所示,模拟麻花钻加工45钢的钻削过程,分析钻削过程中切削力、扭矩以及温度随加工参数变化的规律。

表1 因素水平

水平	刀具刃径 d (mm)	切削速度 V_c (m/min)	进给量 f (mm/r)	钻削深度 h (mm)	芯厚倒锥量 K_1 (/10)
1	6	70	0.12	60	0.03
2	8	80	0.15	70	0.04
3	10	90	0.18	80	0.05
4	12	100	0.2	100	0.08

表2 正交试验

实验序号	刀具刃径 d (mm)	切削速度 V_c (m/min)	进给量 f (mm/r)	钻削深度 h (mm)	芯厚倒锥量 K_1 (/10)
1	6	70	0.12	60	0.03
2	6	80	0.15	70	0.04
3	6	90	0.18	80	0.05
4	6	100	0.2	100	0.08
5	8	70	0.15	80	0.08
6	8	80	0.12	100	0.05
7	8	90	0.2	60	0.04
8	8	100	0.18	70	0.03
9	10	70	0.18	100	0.04
10	10	80	0.2	80	0.03
11	10	90	0.12	70	0.08
12	10	100	0.15	60	0.05
13	12	70	0.2	70	0.05
14	12	80	0.18	60	0.08
15	12	90	0.15	100	0.03
16	12	100	0.12	80	0.04

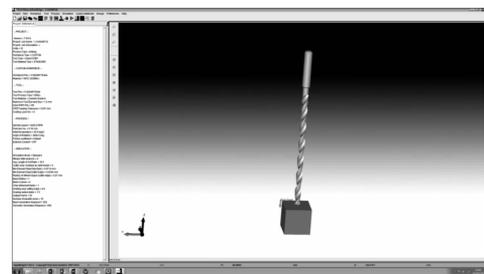


图2 钻削过程仿真

4.2 正交试验分析

根据表2所示的钻削用量仿真正交试验表,得到图3所示的麻花钻钻削45钢时的钻削力、扭矩以及温度的实时变化曲线。将图像过滤后得到如表3所示的仿真结果数据表。

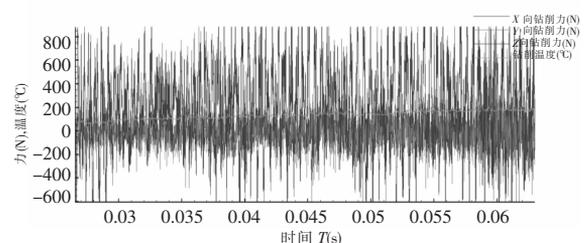


图3 钻削力、扭矩以及温度的实时变化曲线

表3 正交试验仿真结果数据

实验号	d	V_c	f	h	K_1	F	M_z	T
1	6	70	0.12	60	0.03	102.12	0.27	243.29
2	6	80	0.15	70	0.04	55.43	0.23	121.45
3	6	90	0.18	80	0.05	230.59	1.10	454.38
4	6	100	0.2	100	0.08	386.45	1.28	549.05
5	8	70	0.15	80	0.08	524.28	0.25	211.95
6	8	80	0.12	100	0.05	428.68	0.21	203.33
7	8	90	0.2	60	0.04	486.24	1.23	396.87
8	8	100	0.18	70	0.03	384.22	1.13	416.01
9	10	70	0.18	100	0.04	327.65	0.32	166.63
10	10	80	0.2	80	0.03	394.86	0.59	245.40
11	10	90	0.12	70	0.08	222.43	0.17	157.91
12	10	100	0.15	60	0.05	263.81	0.39	251.13
13	12	70	0.2	70	0.05	309.62	0.33	154.94
14	12	80	0.18	60	0.08	229.01	0.31	155.82
15	12	90	0.15	100	0.03	190.32	0.23	145.33
16	12	100	0.12	80	0.04	126.97	0.15	137.30

由于 F_x 以及 F_y 的数据变化很小,且与轴向力相比很小,在仿真结果数据表中不涉及。采用直观分析法进行分析得到麻花钻钻削 45 钢的钻削用量最佳选取方案。钻削力的仿真试验结果计算表如表 4 所示,扭矩的仿真试验结果计算如表 5 所示,温度的仿真试验结果计算如表 6 所示。

表4 F_z 仿真结果计算表

指标	A (刀具 刃径)	B (切削 速度)	C (进给量)	D (钻削 深度)	E (芯厚倒 锥量)
K_1	774.59	1263.67	880.20	1081.18	1071.52
K_2	1823.42	1107.98	1033.84	971.70	996.29
K_3	1208.75	1129.58	1171.47	1276.70	1232.70
K_4	855.92	1181.45	1577.17	1333.10	1362.17
k_1	193.65	315.92	221.55	270.30	267.88
k_2	455.86	277.00	258.49	242.93	249.07
k_3	302.19	282.40	292.87	319.18	308.18
k_4	213.98	295.37	394.30	333.28	340.54
极差 R	262.21	38.92	172.75	90.35	91.47
主次顺序	A>C>E>D>B				
优水平	A1	B2	C1	D2	E2
优组合	A1C1E2D2B2				

在各试验结果计算表中, K 为各因素的每一水平求和, k 为各因素各个水平的平均值, R 为极差。

根据表 4、表 5 以及表 6,可得到如下结论:

(1) 因素 A (即刀具刃径) 对钻削力、扭矩以及钻削温度的影响都很大,随着刀具刃径的增大,钻削力、扭矩以及钻削温度都随之减小。综合分析,可以选取四个水平中的刀具刃径 $d = 12\text{mm}$ 为仿真结果最优解。

表5 M_z 仿真结果计算表

指标	A (刀具 刃径)	B (切削 速度)	C (进给量)	D (钻削 深度)	E (芯厚倒 锥量)
K_1	2.88	1.17	0.80	2.20	2.22
K_2	2.82	1.34	1.10	1.86	1.93
K_3	1.44	2.73	2.86	2.09	2.03
K_4	1.02	2.95	3.43	2.04	2.01
k_1	0.72	0.29	0.20	0.55	0.555
k_2	0.71	0.34	0.28	0.465	0.483
k_3	0.36	0.68	0.72	0.52	0.51
k_4	0.26	0.74	0.86	0.51	0.50
极差 R	0.46	0.45	0.66	0.085	0.072
主次顺序	C>A>B>D>E				
优水平	A4	B1	C1	D2	E2
优组合	C1A4B1D2E2				

表6 T 仿真结果计算

指标	A (刀具 刃径)	B (切削 速度)	C (进给量)	D (钻削 深度)	E (芯厚倒 锥量)
K_1	1368.17	776.81	741.83	1047.11	1050.03
K_2	1228.16	726.00	729.86	850.31	822.25
K_3	821.07	1154.49	1192.84	1049.03	1063.78
K_4	593.39	1353.49	1346.26	1064.34	1074.73
k_1	342.04	194.20	185.46	261.78	262.51
k_2	307.04	181.50	182.47	212.58	205.56
k_3	205.27	288.62	298.21	262.26	265.95
k_4	148.35	338.37	336.57	266.09	268.68
极差 R	193.69	156.87	154.10	53.51	63.12
主次顺序	A>B>C>E>D				
优水平	A4	B2	C2	D2	E2
优组合	A4B2C2E2D2				

(2) 因素 B (即切削速度) 对钻削力的影响不显著,对扭矩的影响也不明显,对钻削温度的影响较大,且随着切削速度的增大,钻削温度随之上升。当钻削速度为 $80\text{m}/\text{min}$ 时,钻削力以及钻削温度取值最小。综合分析,可以选取四个水平中的钻削速度 $V_c = 80\text{m}/\text{min}$ 为仿真结果最优解。

(3) 因素 C (即进给量) 对钻削力的影响以及扭矩的影响较大,对钻削温度也有影响。随着进给量的取值增加,钻削力、扭矩以及钻削温度随之增加。综合分析,可以选取四个水平中的进给量 $f = 0.12\text{mm}/\text{r}$ 为仿真结果最优解。

(4) 因素 D (即钻削深度) 对钻削力、扭矩以及钻削温度的影响都不显著,当钻削深度为 70mm 时,钻削力、扭矩以及钻削温度的取值最小,故在四个水平中的选取钻削深度 $h = 70\text{mm}$ 为仿真结果最优解。

(5) 因素 E (即芯厚倒锥量) 对钻削力略有影响,且在芯厚倒锥量取 0.04 时钻削力取最小值。对扭矩以及钻削温度的影响不明显,但是都在芯厚倒

锥量取 0.04 时达到最小值。故在四个水平中选取芯厚倒锥量 $K_1 = 0.04$ 为仿真结果最优解。

综上所述,在本文所选的五因素四水平试验组中,深孔麻花钻在钻削 45 钢的参数最优组合为 $d = 12\text{mm}$, $V_c = 80\text{m/min}$, $f = 0.12\text{mm/r}$, $h = 70\text{mm}$, $K_1 = 0.04$ 。

5 结语

通过正交试验分析了深孔麻花钻钻削 45 钢的参数优化选取,通过计算得到了最优参数组合为刀具刃径 $d = 12\text{mm}$, 钻削速度 $V_c = 80\text{m/min}$, 进给量 $f = 0.12\text{mm/r}$, 钻削深度 $h = 70\text{mm}$, 芯厚倒锥量 $K_1 = 0.04$ 。同时得出,钻头刃径以及进给量对钻削力、扭矩以及钻削温度的影响较大,切削速度对钻削力的影响不显著,但是对温度影响较为明显。在其他参数相同的情况下,建议选取较小的进给量以及较大的切削速度。

参考文献

- [1] 王磊,王贵成,马利杰. 钻削加工有限元仿真的研究进展[J]. 工具技术,2007(8):8-13.
 - [2] Etienne Robert Perron, Carl Blais, Sylvain Pelletier, et al. Drilling of high quality features in green powder metallurgy components[J]. Materials Science and Engineering, 2007, 458:195-201.
 - [3] Panagiotis Kyratsis. CAD-based simulations and design of experiments for determining thrust force in drilling operations[J]. Computer-Aided Design, 2011, 43:1879-1890.
 - [4] D Kim, M Ramulu. Drilling process optimization for graphite/bismaleimide-titanium alloy stacks[J]. Composite Structures, 2004, 63:101-114.
 - [5] 张文全, 韦文术. 不锈钢小深孔高速钻削加工参数优化[J]. 煤矿机械, 2011, 32(4):119-121.
 - [6] 刘儒军, 侯忠滨, 周新鹏. 实验设计(DOE)技术在 PCB 微孔钻削工艺参数优化中的应用[J]. 工具技术, 2009, 43(2):73-76.
 - [7] 臧雪柏, 管秀君, 赵宏伟, 等. 基于遗传算法的神经网络振动钻削参数优化[J]. 吉林工业大学学报(工学版), 2002(1):37-41.
 - [8] 张永军. 基于人工神经网络的钻削加工参数优化[J]. 职大学学报(自然科学版), 2005(4):24-25.
 - [9] 王力维. 基于粒子群优化算法的神经网络钻削参数优化[J]. 科技信息(科学教研), 2007(25):344, 538.
- 作者:吴燕, 硕士研究生, 上海大学机电工程与自动化学院, 201900 上海市
 Author: Wu Yan, Postgraduate, School of Mechanical and Electrical Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 201900, China

欢迎订阅 2020 年《工具技术》《工具展望》

《工具技术》杂志是成都工具研究所主办的切削与测量工程综合性技术刊物。主要报道机械加工中切削与测量技术的最新进展, 金属切削理论研究, 新型刀具研制及其应用, 数控工具系统、新型刀具材料、涂层技术、刀具 CAD/CAM、刀具磨损和破损在线技术, 新材料及难加工材料的切削与刀具技术, 汽车、摩托车等行业专用刀具的开发; 新的测量方法研究与新型量具量仪开发, 精密测量技术与质量控制系统技术, 加工过程中的自动测量与精度控制, 加工误差补偿技术, 传感与图象技术, 智能测量系统, 电子数显量具开发与应用, 量具量仪调修与维护, 工模夹具及五金工具产品与技术, 工厂技术革新和实用技术, 技术市场及技术讲座等。

《工具展望》是综合报道国内外工具工业生产技术发展动态的内部刊物, 主要内容为国内外切削刀具、量具量仪的技术发展趋势, 国内外工具市场预测及经济信息, 国内及国际展览会工具展品综合评述, 国外工具行业考察报告, 国内汽车、摩托车等行业工具国产化调研报告, 有关行业组织的工作活动情况等。

工具技术为月刊, 每月 20 日出版, 全国邮局均可订阅, 邮发代号 62-32; 工具展望为双月刊, 逢双月出版, 可在编辑部订阅。

2020 年《工具技术》定价: 180 元/年, 2020《工具展望》定价: 60 元/年

欢迎机械加工业各类人士踊跃投稿、订阅、刊登广告

工具技术杂志社: 成都市府青路二段 24 号 电话: 028-83242219 传真: 028-83242240

E-mail: toolmagazine@163.com (广告) toolmagazine@chinatool.net(投稿)