

基于 DEFORM-3D 的钻削过程数值模拟研究

杨彩云,张磊

(青海大学 机械工程学院,青海 西宁 810016)

摘要:在钻削加工过程中为了获得更好的孔加工基准平面,关键因素是选择合理的机加工工艺参数来控制良好的钻削孔型。针对不同的钻削速条件,利用商业化的 DEFORM-3D 金属塑性成型仿真分析软件,建立理想状态下的三维动态模型,仿真分析动态钻削过程中刀具的受力变化情况及被加工件表面的应力分布情况,为优化机加工工艺参数提供参考。

关键词: 钻削;钛合金;有限元模拟;DEFORM-3D

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2019)04-0129-03

Numerical Simulation of Drilling Process Based on DEFORM-3D

YANG Caiyun, ZHANG Lei

(School of Mechanical Engineering, Qinghai University, Xining 810016, China)

Abstract: In the process of drilling, the key factor is to select reasonable machining parameters to control the good drilling hole. According to different drilling speed conditions, this paper uses commercial DEFORM 3D metal plastic forming simulation software to establish 3D the dynamic model and makes the simulation analysis of the change of the force on the drilling tool and the stress distribution on the surface of the work piece in the drilling process. The reference is given to the optimization of parameters for machining.

Keywords: drilling; titanium alloy; finite-element simulation; DEFORM-3D

0 引言

钻削加工技术在我国当前机加工领域占有举足轻重的作用。据文献统计,在我国金属零部件钻削加工过程中总切除量的 30%来自于最初的孔型加工,此外,在我国近几年机加工刀具生产总量中钻头生产量达到了 60%,且呈现逐年增加的趋势^[1]。目前世界机械制造业已逐步进入了历史性变革的新时代,机加工技术正在朝着精密化与超精密化、自动化与数字化、高速化与超高速化、智能化与无人化的方向飞速发展^[2-3]。因此,为了紧跟世界发展的脚步,进一步提高钻削孔型加工技术的精度要求以及钻削孔型的加工质量显得尤为重要。况且,在钻削过程中,由于材料的难加工性引起的机床主轴振动对加工零件的表面精度和刀具寿命均影响较大^[4]。目前有限元仿真模拟技术在金属钻削加工过程中的应用不断深入,早在 1980 年,Lajkzok M.R.等人就应用有限元的方法研究了切削加工工艺参数对切削过程的影响,初步分析了切削工艺^[5]。2004 年,Strenkowsk JS 等人在国际机床与制造杂志上发表了采用有限元方法分析钻削过程中麻花钻钻孔载荷分布情况的相关文章^[6],Kalidas S 等人同样采用了有限元法分析了孔型加工过程中被加工件的温度瞬间变化趋势^[7]。在国内近几年也有很多行业学者采用有限元方法对钻削过程进行了研究。清华大学的方钢教授 2003 年在《机械科学与技术》杂志上发表了采用 DEFORM-2D

方法研究被加工件切削后的残余应力、温度分布以及切削过程中切削断裂准则等一系列问题^[8]。

本文采用商业化的 DEFORM-3D 金属塑性成型仿真分析软件,建立理想状态下钻削过程三维动态模型,仿真分析钻削过程中不同主轴转速下刀具的受力变化情况及被加工件表面的应力分布情况。

1 钻削过程三维几何模型创建

1.1 四刃钻头几何模型创建

利用 UG-8.0 创建钻头几何模型,其中重要的几何参数如下:钻头直径 d 、顶角 2ϕ 、螺旋角 β 、后角 α_p 、钻心厚度 W_b 以及刃带宽度 k 。具体参数如表 1 所示,钻头几何模型如图 1 所示。

表 1 四刃钻头几何参数表

钻头类型	直径 d/mm	顶角 $(2\phi)/(^{\circ})$	螺旋角 $\beta/(^{\circ})$	后角 $\alpha_p/(^{\circ})$	钻心厚度 W_b/mm	刃带宽 k/mm
四刃钻头	10	150	30	10	1.2	0.5

1.2 DEFORM 前处理器几何模型创建

将 UG 中创建的钻头几何模型以 STI 格式导出,导入到 DEFORM 前处理器中,利用 DEFORM 自带的简易几何模型创建模块建立被加工件模型($\phi 20 \times 10 \text{ mm}$),通过位

基金项目:青海大学中青年科研基金项目(2014-QGT-1)

作者简介:杨彩云(1989—),男,青海海东人,硕士研究生,研究方向为材料加工数值模拟。

置关系约束刀具和坯料之间的相对位置,如图 2 所示。

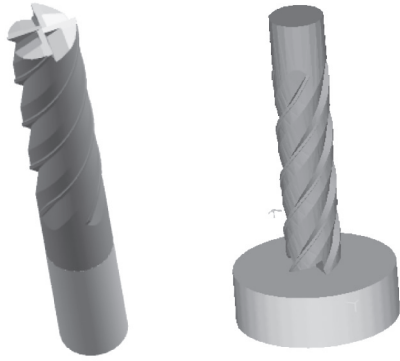


图 1 钻头几何模型 图 2 前处理几何模型

1.3 边界条件

为简化计算,约束被加工工件底面沿 x 、 y 、 z 3 个方向上的速度为 0,即设定选取面沿 x 、 y 、 z 3 个方向的自由度为 0。定义刀具与被加工工件所有表面与外界环境为自然热交换面。刀具沿 z 轴方向进给,且沿刀具进给方向顺时针旋转。在模拟过程中为确保计算结果的精确性并减少因工件变形带来的网格畸变问题,计算前激活体积补偿选项。在确定两者之间的位置关系时,定义工件为从动件 (Slave),刀具为主动件 (Master)^[9]。选取刀具与工件之间的摩擦类型为剪切摩擦,摩擦系数经查阅文献设定为 0.6,刀具与工件之间的热交换系数选取系统钻削模拟默认值:45 N/sec/mm²/℃^[10]。在几何位置约束选项中激活刀具磨损分析选项,选取磨损类型为:Usui'S 模型,设定系数 a 值为:1×10⁻⁷, b 值为 855^[11]。

1.4 网格单元划分

在有限元仿真分析计算过程中,几何模型的网格单元划分是一项关键技术。网格划分越精密,计算结果越精确,相应的网格单元的基数越大。但是计算时长会随着网格数量的增加成倍增加,并且网格单元基数增加时,对计算机硬件的要求也会增加。

本文对工件几何模型的网格划分采用 DEFORM-3D 前处理器自带的绝对网格划分方式,网格单元尺寸比例系数设定为 4,最小网格单元选取刀具进给量的 1/4,即:0.06,并采用网格局部细化功能对工件中心部位进行细化加密,如图 3 所示。刀具的网格划分采用相对网格划分方式,设最大最小网格比例尺寸系数为 6,网格单元总数为 6 万,如图 4 所示。

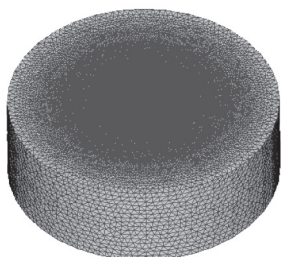


图 3 工件网格划分示意图



图 4 刀具网格划分示意图

1.5 材料属性及模拟参数设定

建立 DEFORM 前处理器仿真模块时选择 SI 国际单位制,计算类型为拉格朗日增量法 (lagrangian incremental)。模拟步数设定为 3000 步,步长采用时间增量方式控制,选取最小网格单元的 1/10 位步长增量,即 0.006 s/step。工件定义为弹性体 (Plastic),材料选取钛合金材料库中的 Ti-6Al2Sn4Zr2Mo 合金。刀具定义为刚性体 (Rigid),沿 z 轴方向进给并顺时针旋转,进给量为 0.2 mm/s,转速分别为 2000 r/min、5000 r/min、7000 r/min。

2 模拟结果分析

2.1 刀具转速对合金表面温度分布的影响

钻削过程产生的热量一方面会影响刀具的磨损,另一方面会影响被加工工件表面质量。因此,针对不同的材料在钻削加工过程中选择合适的钻削速度显得尤为重要。图 5 是在不同主轴转速条件下,钛合金钻削过程表面温度分布云图 (从左至右转速分别为 2000 r/min、5000 r/min、7000 r/min)。由图 5 可以明显看出:随着刀具转速的增加,钛合金表面温度呈现出递增的趋势,且由钻头中心向四周扩散。图 6 给出了温度随钻削速度的变化趋势,可以看出,在控制刀具进给速度一定的前提下,即 0.2 mm/s,刀具转速由 2000 r/min 增加到 7000 r/min 时,工件表面温度呈现出明显上升的趋势;刀具转速由 2000 r/min 增加到 5000 r/min 时温度的增量与转速由 5000 r/min 增加到 7000 r/min 时温度的增量相比,后者温度的增量较小。说明钛合金在高速钻削条件下,当刀具转速达到 5000 r/min,继续增加转速,被加工工件表面升温幅度有所减缓。

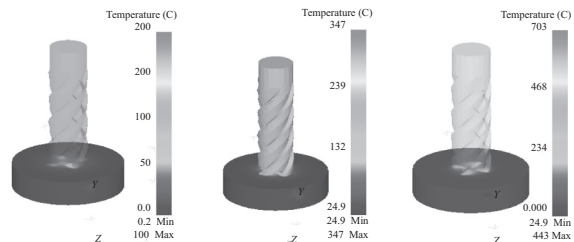


图 5 不同主轴转速下被加工工件表面温度分布云图

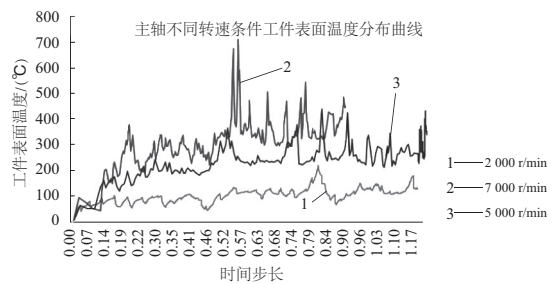


图 6 不同主轴转速下被加工表面温度分布随时间变化曲线图

表 2 给出了在不同钻削速度下,钛合金表面平均温度,表中数据显示,主轴转速在 2000 r/min 时,钛合金表面

的加工温度均值为 95.50 ℃; 主轴转速增加到 5 000 r/min 时, 钛合金表面的加工温度均值上升到 245.23 ℃; 继续增加主轴转速到 7 000 r/min 时, 工件表面温度上升到 315.18 ℃。当转速由 2 000 r/min 增加到 5 000 r/min 时, 温度的增量均值为 149.73 ℃, 而当转速由 5 000 r/min 增加到 7 000 r/min 时, 温度的增量均值仅为 69.95 ℃。这同样说明转速增加前期升温更加明显; 即转速每增加 1 转, 温度提升 0.05 ℃; 而到转速增加后期升温放缓, 即转速每增加 1 转, 温度提升仅 0.03 ℃。

表 2 不同主轴转速下工件表面温度分布表

参数/单位	数值		
转速(r/min)	2 000	5 000	7 000
工件表面平均温度/(℃)	95.50	245.23	315.18

2.2 转速对刀具所受转矩的影响

转矩是高速钻削过程中评估刀具性能的重要因素之一, 钻削过程中若转矩过大, 将直接导致钻削刀具折断。合理选择主轴转速, 不仅可以有效控制被加工工件表面形貌, 还可以延长刀具的使用寿命。图 7 是不同主轴转速下, 刀具所受转矩分布图。图中曲线表明: 刀具所受的转矩随着钻削时间的增加而增大, 主要是由于随着时间的增加, 钻削深度越深, 相应的刀具所受转矩随之增加。同样, 从图中可明显看出, 主轴转速为 7 000 r/min 时, 刀具所受的转矩相对最小。表 3 是通过离散点均值法求得的不同主轴转速下刀具所受的转矩平均值, 通过表中数据也可以明显看出, 随着主轴转速的增加, 刀具所受的转矩逐渐减小。这说明主轴转速对刀具所受转矩的影响很大, 主轴转速越低, 刀具所受的转矩越大。

表 3 不同主轴转速下刀具所受转矩均值分布

参数/单位	数值		
刀具转速/(r/min)	2 000	5 000	7 000
刀具所受的转矩/(N·mm)	19 744.43	14 449.50	12 779.60

3 结语

本文基于 DEFORM-3D 金属塑性成型仿真分析软件, 针对不同钻削速度条件下的钛合金钻削过程进行了数值模拟研究。研究了钻削速度对钛合金表面温度及刀具转矩的影响。研究发现, 随着刀具转速的增加, 工件表面温度呈递增趋势, 但当转速增加到一定值后继续增加转

速, 工件表面升温速度放缓; 随着刀具转速的增加, 刀具受到的转矩反而下降。说明通过高速钻削, 可改善难加工金属钻削过程中刀具的磨损, 提高加工工件表面质量。

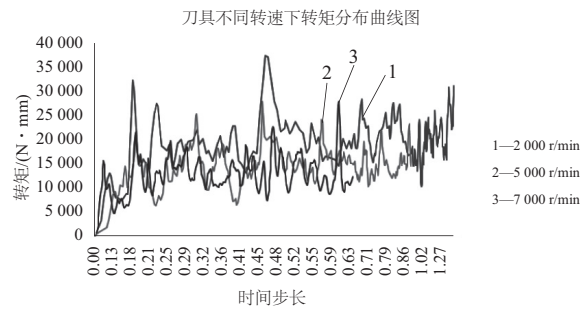


图 7 不同主轴转速下刀具所受转矩分布随时间变化曲线图

参考文献:

- [1] 吴东昇, 陈学永. 钻削技术研究进展[J]. 机电技术, 2014(2): 150-154.
- [2] 周友行, 张建勋, 董银松, 等. 基于振动信号过程特征的批量钻削工序质量检测[J]. 机械工程学报, 2011, 47(7): 171-177.
- [3] 吴绍群, 土丹, 李慧杰, 等. 现代机械加工技术的发展探究[J]. 产业与科技论坛, 2012(3): 117-118.
- [4] 陈璐, 林正英. 碳纤维复合材料钻削加工机床振动测试与分析[J]. 机械制造与自动化, 2016, 45(2): 5-8.
- [5] Lajczok M R. A study of some aspects of metal cutting by finite element method [D]. Ph D disertation NC State University, 1950: 1-20.
- [6] J S Strenkowski, CC Hsieh, AJ Shih. An analytical finite element technique for predicting thrust force and torque in drilling [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2004: 1413-1421.
- [7] Shiva Kalidas, Shiv G. Kapoor, Richard E. DeVor. Influence of thermal effect on hole quality in dry drilling, Part 1: A Thermal model of work piece temperatures [D]. Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Illinois at Urbana - Champaign, Urbana, 2001.
- [8] 方刚, 曾攀. 金属正交切削工艺的有限元模拟[J]. 机械科学与技术, 2003, 22(4): 641-645.
- [9] 邓文君, 夏伟, 周照耀, 等. 有限元法在切削加工过程分析中的应用[J]. 工具技术, 2004, 38(11): 20-27.
- [10] 周友行, 郭辉, 何奇, 等. 基于有限元的麻花钻钻孔过程研究[J]. 湘潭大学自然科学报, 2012, 34(1): 87-90, 112.
- [11] 闰明鹏, 邵华. 超声振动钻削钛合金的刀具温度和磨损分析[J]. 工具技术, 2011, 45(8): 26-30.

收稿日期: 2018-03-12