

切削用量对车削 40CrNiMo 切削力影响的仿真研究

陶亮¹,刘爱军¹,陈超²,纪斌¹,潘克强¹

¹贵州理工学院;²襄阳汽车轴承股份有限公司

摘要: 利用有限元分析软件 ABAQUS 建立了车削 40CrNiMo 的有限元模型,并在不同切削用量条件下对切削力进行仿真,得到了主切削力、进给力的变化规律,分析了引起切削力变化的主要原因。结果表明:切削分力中主切削力最大;切削深度对切削力尤其是主切削力的影响最大,进给量次之,切削速度的影响最弱。

关键词: 切削用量;硬态干式切削;切削力;ABAQUS

中图分类号: TG714;TH161

文献标志码: A

Influence Simulation Research of Cutting Parameter on Cutting Force in Turning 40CrNiMo

Tao Liang, Liu Aijun, Chen Chao, Ji Bin, Pan Keqiang

Abstract: A finite element model for turning 40CrNiMo steel is established by using ABAQUS software, which is used to simulate the cutting force with different cutting parameters, the variation range of the main cutting force and feeding force are obtained in the simulation, at last the main reasons for the variation of cutting force are analyzed. The results indicate that the cutting force increases linearly with the cutting feed and the cutting depth, the cutting depth has a greater impact on the cutting force than cutting feed, the cutting speed has smallest effect to the cutting force.

Keywords: cutting parameter; hard-dry cutting; cutting force; ABAQUS

1 引言

40CrNiMo 属于中碳 Cr-Ni-Mo 系高强度调质钢,适用于制造高负荷、大截面、承受冲击载荷的大型齿圈、采煤机截齿和桩基钻孔工程截齿^[1]。采用立方氮化硼刀具对 40CrNiMo 材料进行硬态干式车削能有效提高材料加工效率、减小环境污染,达到以车代磨的效果。但切削过程中产生的切削力严重影响了工件加工表面质量和尺寸精度等重要加工指标,而切削用量又是影响切削力特性的重要因素之一。因此研究切削用量对切削力的影响规律对于提高工件加工质量和加工效率有着重要的意义。

基金项目: 贵州省科技合作项目(LH字[2015]7087)
收稿日期: 2017年6月

本文以硬态干式车削 40CrNiMo 钢为例,研究了切削用量对切削力的影响,可为优化切削用量、提高加工质量和增加刀具寿命提供理论依据。

2 建立切削模型

2.1 材料本构模型

Johnson-Cook 本构模型适用于实际切削过程中的高温、大变形以及大应变速率场合,实验采用该模型,其具体形式为

$$\sigma = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + c \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (1)$$

式中, A 、 B 、 C 、 m 、 n 分别为材料模型参数,数值见表 1; ε 为等效塑性应变; $\dot{\varepsilon}$ 为等效塑性应变率, $\dot{\varepsilon}_0$ 为参考塑性应变率; σ 为流动应力; T_r 、 T_m 分别为环境温度

- [5]张昌娟,焦锋,赵波,等. 基于灰色—马尔可夫模型的刀具磨损预测[J]. 河南理工大学学报(自然科学版),2015(6):807-812.
- [6]Checkina O G, Goryacheva I G, Krasnik V G, et al. The model for tool wear in rock cutting[J]. Wear, 1996, 198(1):33-38.
- [7]解丽静,郑丹, Schmidt C, 等. 基于“差分”磨损模型的车削刀具磨损仿真预测研究[J]. 工具技术, 2007(5):17-21.
- [8]马廉洁,于爱兵,韩廷水,等. 氟金云母陶瓷车削参数对

刀具磨损的影响[J]. 兵器材料科学与工程, 2007(1): 1-4.

- [9]韩荣第,王辉,刘俊岩,等. 难加工材料绿色切削刀具磨损试验研究[J]. 制造技术与机床, 2008(4):78-81.

第一作者:毕长波,副教授,东北大学秦皇岛分校控制工程学院,066004 河北省秦皇岛市

First Author: Bi Changbo, Associate Professor, School of Control Engineering, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao, Hebei 066004, China

度与材料熔点。

表1 工件材料 J-C 本构参数

A (MPa)	B (MPa)	C	m	n
792	510	0.014	1.03	0.26

2.2 断裂准则

采用 Johnson-Cook 断裂准则模拟实际切削过程中材料 40CrNiMo 的材料断裂,其数学模型为^[2]

$$\bar{\varepsilon}_f = \left[d_1 + d_2 \exp\left(\frac{d_3 \sigma_p}{\sigma_q}\right) \right] \left[1 + d \ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right) \right] \left[1 + d_5 \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r}\right) \right] \quad (2)$$

式中, $\bar{\varepsilon}_f$ 为材料临界等效塑性应变; d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 、 d_5 分别为材料失效参数,数值见表2; σ_p 为3个方向主应力平均值; σ_q 为 Mises 应力。

表2 工件材料 J-C 失效模型参数

d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
0.05	3.44	-2.12	0.002	0.61

该模型中材料断裂衡量参数为

$$D = \sum \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon_f} \right) \quad (3)$$

式中, $\Delta \varepsilon$ 为每个增量步的等效塑性应变 ε 的增量。当 $D \geq 1$ 时,材料失效。

2.3 切削模型与网格划分

考虑到切削过程中切削层的厚度远小于宽度,切屑在垂直切削刃各个截面上的应变状态、流经方向大致相同,可假设处于平面应变状态,因此可将复杂的三维切削简化为二维直角切削^[3]。在 ABAQUS 中采用热一位移耦合模型来研究切削用量对切削力的影响规律。切削模型包含工件基体、分离层、切削层以及刀具四部分(见图1)。刀具角度和切削用量见表3。

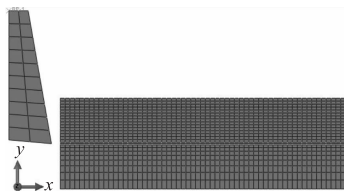


图1 二维正交切削模型

表3 刀具角度和切削用量

刀具前角 (°)	刀具后角 (°)	切削深度 (mm)	进给量 (mm/r)	切削速度 (m/s)
10	5	0.1	0.1	1
		0.2	0.2	2
		0.3	0.3	3
		0.4	0.4	4
		0.5	0.5	5

在工件基体底部施加固定约束,工件基体左右

两边和切削层右边施加 X 方向平移约束,不考虑切削过程中的刀具变形,将其设为刚体并施加 Y 方向平移约束。由于室温会对切削过程产生影响,因此工件和刀具的初始温度均设为 20℃。工件和刀具单元均采用平面应变热力耦合缩减积分单元 CPE4RT。

2.4 材料力学物理性能

刀具材料为聚晶立方氮化硼 PCBN,工件材料为 40CrNiMo,两者主要力学和物理性能见表4。

表4 刀具和工件材料力学物理性能

材料性能	刀具	工件
密度(kg/m ³)	3.12 - 4.28	7830
杨氏模量(GPa)	587 - 680	208
泊松比	0.15 - 0.22	0.3
导热系数(W/m·K)	40 - 100	44.5
热膨胀系数(×10 ⁻⁶ /°C)	2.1 - 4.8	11.5
比热(J/kg·K)		477
熔点(°C)		1520

3 仿真结果与分析

图2和图3是在 $V_c = 2\text{m/s}$ 、 $a_p = 0.1\text{mm}$ 、 $f = 0.1\text{mm/r}$ 切削条件下得到的切屑应力云图和切削力变化曲线。由图2可见,在该切削条件下得到的切屑呈带状,说明整个切削过程较为平稳。图3表明,在切削前期,由于切屑刚开始形成,切削力增加较快;在切削后期,随着切削过程的持续,切削力逐渐稳定且变化较为平缓,该变化规律与实际切削过程相符^[4]。

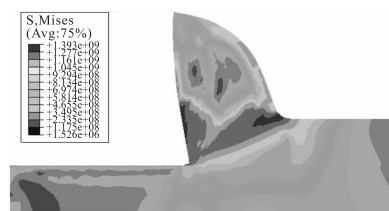


图2 切削过程的带状切屑

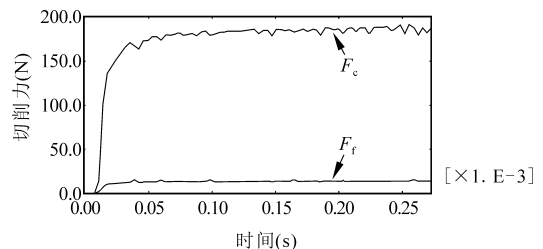


图3 切削力随时间变化曲线

3.1 切削深度对切削力的影响

图4为切削深度对切削力的影响曲线。由图可见,随着切削深度的增加,主切削力 F_c 和进给力 F_t

均明显增大,呈线性增长关系,主要原因是:切削深度的增加使切削宽度和切削层横截面积增大,在切削过程中切削变形和摩擦变大从而使切削力增大;主切削力增加速率最大,进给力相对较缓,主要原因是切削深度的变化影响了工作主偏角,切削深度增大时主偏角也随之增大,从而导致进给力增长较缓^[5]。

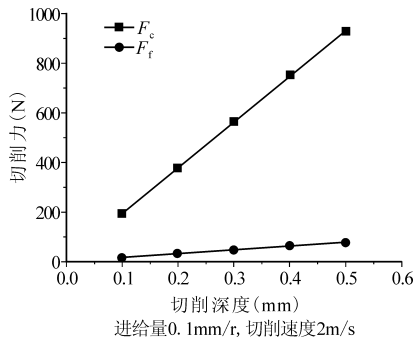


图4 切削深度对切削力的影响

3.2 进给量对切削力的影响

由图5可见,主切削力 F_c 和进给力 F_f 均随着切削深度的增加而增大,但主切削力增长速率小于图4所示的增长速率,且在后期增长幅度明显放缓。主要原因是进给量增加时切削变形和摩擦虽也增大,但幅度小于切削深度所引起的变形和摩擦,最终导致该条件下切削力尤其是主切削力增长速率小于切削深度引起的增长速率。

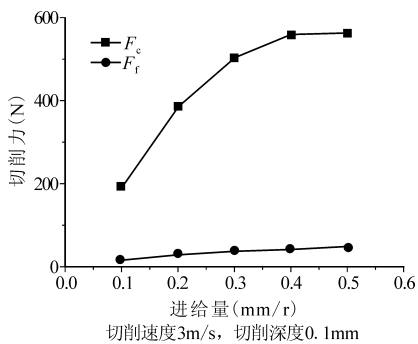


图5 进给量对切削力的影响

3.3 切削速度对切削力的影响

图6表明,在选用的速度范围内,切削速度增大时,主切削力 F_c 和进给力 F_f 减小甚微,并逐渐趋于稳定状态。可见,切削速度对切削力的影响较小,其主要原因是此时切削温度趋近工件材料熔点,切削速度虽增加但切削温度升高较慢且幅度很小,使切削过程中切削变形和切屑流出阻力减小速率渐缓,最终使切削力减小甚微。

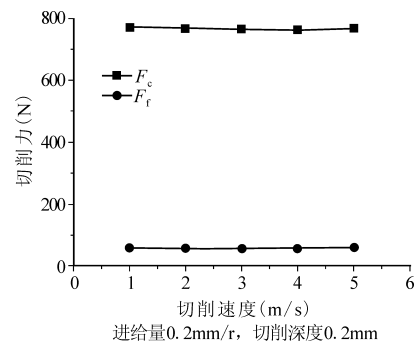


图6 切削速度对切削力的影响

4 结语

在不同切削用量条件下,利用有限元分析软件ABAQUS对工件材料40CrNiMo进行硬态干式切削力仿真研究,得到以下结论:

(1)40CrNiMo硬态干式切削时,主切削力大于进给力;

(2)主切削力、进给力与切削深度和进给量均呈线性增长的关系,但切削深度相比于进给量对切削力尤其是主切削力的影响更大;

(3)在选用的切削速度范围内,切削速度对切削力的影响较小;切削速度较大时,切削力随着切削速度的增加减小甚微,并逐渐趋于稳定状态。

参考文献

- [1]孔德军,付贵忠,王文昌,等.激光淬火对40CrNiMo摩擦与磨损性能的影响[J].中南大学学报(自然科学版),2014(3):714-720.
 - [2]合焯,王昌赢,陈小安,等.硬态车削轴承钢GCr15切屑形成机理分析[J].上海交通大学学报,2013(5):800-805.
 - [3]秦宇,沙智华,刘宇.基于不同前角的航空铝合金切削过程分析[J].航空制造技术,2016(14):97-101.
 - [4]陆剑中,孙家宁.金属切削原理(第5版)[M].北京:机械工业出版社,2011.
 - [5]李玉甫,严复钢,王宇,等.PCBN刀具切削淬硬GCr15轴承钢的切削力研究[J].哈尔滨理工大学学报,2005(2):136-138.
 - [6]庞新福,杜茂华.基于ABAQUS的二维直角切削加工有限元分析[J].工具技术,2008(2):39-42.
 - [7]李琴,梁军华,庞学慧.切削用量对车削42CrMo钢切削力的影响[J].机床与液压,2016(3):163-165.
- 第一作者:陶亮,讲师,贵州理工学院机械工程学院,550003 贵阳市
- First Author: Tao Liang, Lecturer, School of Mechanical Engineering, Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003, China