

文章编号: 2095-2163(2020)05-0248-03

中图分类号: TH161

文献标志码: A

超声椭圆振动与微量润滑耦合切削 Inconel718 的性能研究

杭 华¹, 林靖朋²

(1 柏宜照明(上海)股份有限公司, 上海 201712; 2 上海工程技术大学, 上海 201620)

摘要: 加工镍基合金 Inconel718 时, 常规切削(CT)的性能往往不能满足要求。本文比较了不同条件下加工 Inconel718 的切削性能, 目的是研究微量润滑(MQL)和超声椭圆振动切削(UEC)对加工性能的优化。结果表明, 与常规切削相比, 超声椭圆振动切削以及与微量润滑耦合切削的情况下, 在切削温度、切削力、切削应力三个性能上都有了明显的优化。优化的切削性能能保证更好的切削质量。

关键词: 微量润滑; 超声椭圆振动; Inconel718; 切削性能

Study on the performance of coupling cutting Inconel718 with ultrasonic elliptical vibration and minimum quantity lubrication

HANG Hua¹, LIN Jingpeng²

(1 Baiyiled(Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 201712, China; 2 Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] When machining nickel-based alloy Inconel718, the performance of conventional cutting (CT) is often insufficient. This paper compares the cutting performance of machining Inconel718 under different conditions. The purpose is to study the optimization of machining performance by minimum quantity lubrication (MQL) and ultrasonic elliptical vibration cutting (UEC). The results show that compared with conventional cutting, ultrasonic elliptical vibration cutting and coupled with micro-lubrication cutting have obvious optimizations in the three properties of cutting temperature, cutting force and cutting stress. Optimized cutting performance guarantees better cutting quality.

[Key words] minimum quantity lubrication; ultrasonic elliptical vibration; Inconel718; cutting performance

0 引言

镍基高温合金具有优异的高温强度、化学稳定性、耐腐蚀、抗热震等性能, 广泛应用于航空航天、能源化工、燃气轮机、火箭发动机、核反应堆等领域^[1]。镍基合金在金属加工中属于难加工材料。Inconel718 常规车削工艺存在的主要问题是切削力大、切削温度高, 会加剧刀具的磨损, 从而降低了加工质量^[2]。

超声椭圆振动车削 Inconel718 可以降低切削力和温度, 提高工件表面质量, 延长刀具和工件的使用寿命^[3]。超声振动车削(UEV)是在普通车削加工的基础上, 在一个方向或多个方向上, 施加频率超过 20 kHz 的周期振动加工技术。

绿色制造和可持续发展已经成为机械制造业的主要发展趋势。如何在确保加工的质量的同时减少切削液的危害, 已成为当前国内外机械制造业所面临解决的一大难题^[4]。目前, 在金属切削领域有许多冷却和润滑方法, 如液氮冷却、低温冷却、空气冷却、喷雾冷却和微量润滑(MQL)^[5]。微量润滑

加工是指在金属加工过程中使用非常少量的切削液, 一般为 100 mL/h 或者更少, 其用量约为传统湿切削的万分之一^[6]。微量润滑可以大幅降低切削液的用量, 在很大程度上降低了对环境的危害。

本文研究了在微量润滑和超声椭圆振动耦合条件下车削 Inconel718 的性能优化。

1 超声椭圆振动切削模型

超声椭圆振动切削中的刀尖轨迹如图 1 所示。在这个过程中, 刀具在 X、Y 方向上被施加超声振动, 进而运动合成为超声椭圆振动。刀具振动的轨迹可以表示为

$$\begin{cases} X_{(t)} = A \sin(2\pi f_x t + T_x), \\ Y_{(t)} = B \sin(2\pi f_y t + T_y). \end{cases} \quad (1)$$

式中, A、B 分别是 X、Y 两个方向的振幅; f_x 、 f_y 是两个方向的振动频率; t 是时间; T_x 、 T_y 是两个方向的初始角度。

刀尖相对于工件的运动速度可以表示为

$$\begin{cases} v'_x = 2\pi f_x A \cos(2\pi f_x t + T_x) - v, \\ v'_y = 2\pi f_y B \cos(2\pi f_y t + T_y). \end{cases} \quad (2)$$

作者简介: 杭 华(1976-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 金属加工及光电控制; 林靖朋(1994-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 超声振动、微量润滑。

收稿日期: 2020-02-28

当刀具在切削方向上的最大振动速度大于进给速度 ($v'_x > v$) 时, 刀具会与切屑和工件分离, 从而降低了切削温度和切削力。

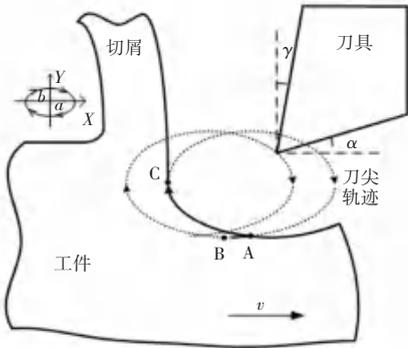


图 1 超声椭圆振动切削原理图

Fig. 1 Schematic diagram of ultrasonic elliptical vibration cutting

2 实验设计

仿真实验如图 2 所示, 工件材料选择 Inconel718, 刀具选择前角 11° 和后角 10° 的 CBN 刀具。实验参数设置为切削速度 (25 m/min)、进给速度 (0.005 mm/r)、背吃刀量 (0.005 mm)。刀具的振动频率为 40 kHz。振幅在 X 方向上为 $7 \mu\text{m}$, 在 Y 方向上为 $7.5 \mu\text{m}$ 。MQL 的冷却剂量为 50 mL/h。实验为多次实验结果取平均值。



图 2 仿真实验

Fig. 2 Simulation experiment

3 结果与讨论

3.1 切削温度

当开始金属切削时, 车削状态的不稳定, 振动的能量反而会使得加工区域的温度上升。在车削状态不稳定时, 切削温度为 $T_{UEC} > T_{CT} > T_{UEC+MQL}$, 其中 UEC 表示超声椭圆振动切削, CT 表示常规切削, UEC+MQL 表示超声椭圆振动和微量润滑耦合切削。

当切削状态稳定时, 3 种加工条件下的温度对比如图 3 所示, 为一个振动周期的温度变化。振动切削的温度呈周期性变化。与常规切削相比, 其他两种加工方法的温度优化效果很明显, 超声椭圆振动切削时的温度降低约 10.8%, 超声椭圆振动和微量润滑耦合切削时的温度降低约 15.7%。

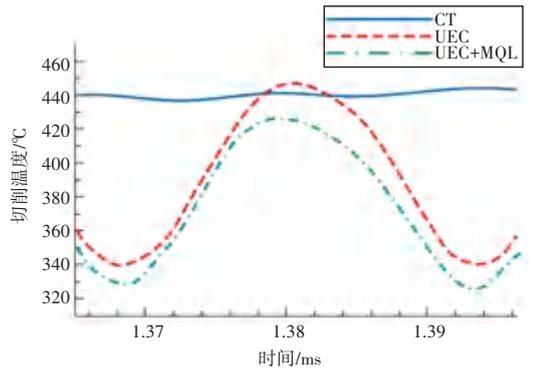
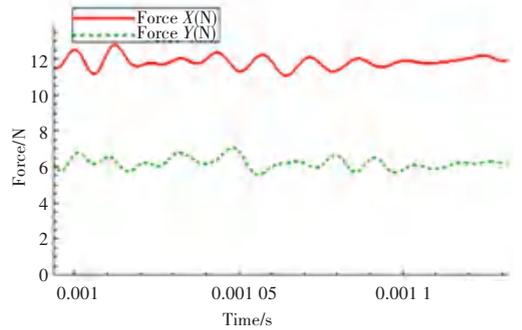


图 3 三种加工条件的温度对比

Fig. 3 Temperature comparison of three processing conditions

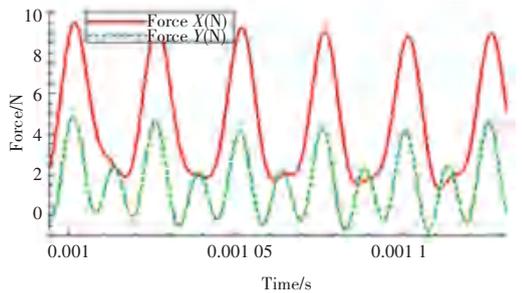
3.2 切削力对比

在切削达到稳态后, 切削力的变化如图 4 所示。图 4(b)、4(c) 表明, 由于刀具的振动, 切削力会呈现周期性变化。



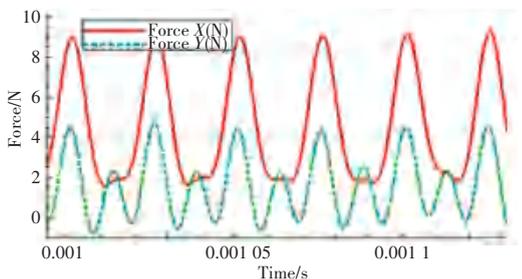
(a) 常规切削力

(a) Conventional cutting force



(b) 超声椭圆振动切削力

(b) Ultrasonic elliptical vibration cutting force



(c) 超声椭圆振动微量润滑耦合切削力

(c) Ultrasonic elliptical vibration MQL coupled cutting force

图 4 3 种加工条件的切削力对比

Fig. 4 Comparison of cutting forces of three processing conditions

当刀具在切削方向上的最大振动速度大于刀具进给速度时,刀具与切屑和工件分离,使得切削力迅速下降。由于振动,主切削力和推力先减小后增大。当振动频率从0增加到40 kHz,切削速度稳定在25 m/min时,与常规切削相比较,超声椭圆振动切削的主切削力会降低61.5%、推力会降低73.9%;超声椭圆振动和微量润滑耦合切削的主切削力降低67.6%、推力会降低79.4%。

3.3 切削应力

3种加工条件下的应力分布如图5所示,5(a)、5(b)为常规切削,5(c)、5(d)为超声椭圆振动切削,5(e)、5(f)为超声椭圆振动和微量润滑耦合切。其中,图5(a)、5(b)为常规切削过程,切屑形状变化剧烈且连续不断,局部应力增大且无法释放,导致在刀尖及剪切面附近应力集中严重。在超声椭圆振动切削加工中,当刀具与切屑和工件分离时,应力分布明显减小,在与微量润滑耦合后,应力分布范围更小;当刀具开始切削工件时,刀具上的应力主要集中在前刀面和后刀面,刀尖处的应力相对较小。这种现象有利于减少刀尖的破损,增加刀具的使用寿命。

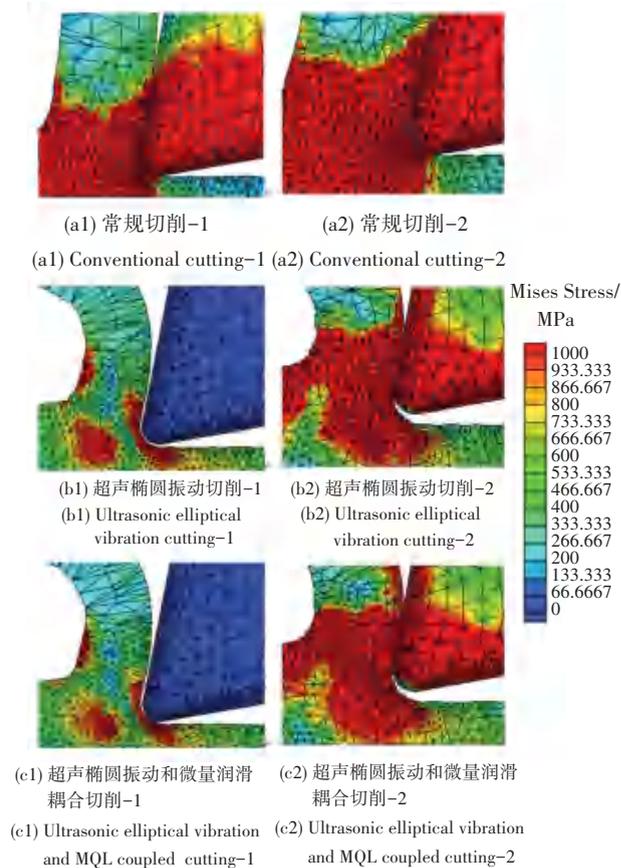


图5 应力分布

Fig. 5 Stress distribution

4 结束语

在切削 Inconel718 时,与常规切削相比,超声椭圆振动切削和超声椭圆振动微量润滑耦合切削会较好的优化切削性能,提高加工质量。在切削温度方面,超声椭圆振动切削时的温度降低约 10.8%,超声椭圆振动和微量润滑耦合切削时的温度降低约 15.7%;在切削力方面,超声椭圆振动切削的主切削力会降低 61.5%、推力会降低 73.9%;超声椭圆振动和微量润滑耦合切削的主切削力降低 67.6%、推力会降低 79.4%;在切削应力分布方面,超声椭圆振动及其与微量润滑耦合切削,会减少应力分布范围,降低应力集中,且会延长刀头的使用寿命。

参考文献

- [1] CHOUDHURY I A, ELBARADIE M A. Machinability of nickel-base super alloys: a general review [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1998, 77(1-3):278-284.
- [2] LI H Z, ZENG H, CHEN X Q. An experimental study of tool wear and cutting force variation in the end milling of Inconel 718 with coated carbide inserts [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 180(1):296-304.
- [3] WANG F, LIU Y, SHEN Y, et al. Machining performance of Inconel 718 using high current density electrical discharge milling [J]. Materials and Manufacturing Processes, 2013, 28(10): 1147-1152.
- [4] BOSWELL B, ISLAM M N, DAVIES I J, et al. A review identifying the effectiveness of minimum quantity lubrication (MQL) during conventional machining [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, 92(1-4): 321-340.
- [5] JIA D, LI C, ZHANG D, et al. Experimental verification of nanoparticle jet minimum quantity lubrication effectiveness in grinding [J]. Journal of nanoparticle research, 2014, 16(12): 2758.
- [6] TAWAKOLI T, HADAD M J, SADEGHI M H. Influence of oil mist parameters on minimum quantity lubrication-MQL grinding process [J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2010, 50(6): 521-531.