

文章编号: 2095-2163(2020)03-0186-03

中图分类号: TG146.15

文献标志码: A

超声椭圆振动和微量润滑耦合切削 Inconel718 的性能研究

林靖朋, 王大中

(上海工程技术大学 机械与汽车工程学院, 上海 201620)

摘要: 本文利用仿真软件 AdvantEdge 研究了微量润滑量 (MQL) 和超声椭圆振动 (UEV) 切削对加工性能的影响, 与常规切削 (CT) 相比, 显著降低了切削力和切削温度。同时比较了 UEV 车削条件下不同喷嘴角度对加工性能的影响。不同的喷嘴角度会影响温度和应力的变化, 选择合适的喷嘴角度有利于提高工件的表面质量, 提高刀具的使用寿命。

关键词: 超声椭圆振动; 微量润滑; 喷嘴角度; 车削

Study on the performance of coupling Inconel718 with ultrasonic elliptical vibration and micro-lubrication

LIN Jingpeng, WANG Dazhong

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] In this paper, the simulation software AdvantEdge is used to study the effect of micro-lubrication (MQL) and ultrasonic elliptical vibration (UEV) cutting on machining performance. Compared with conventional cutting (CT), cutting force and cutting temperature are significantly reduced. The effects of different nozzle angles on machining performance under UEV turning conditions are also compared. Different nozzle angles affect changes in temperature and stress, selecting the proper nozzle angle is conducive to improving the surface quality of the workpiece and increasing the service life of the tool.

[Key words] ultrasonic elliptical vibration; minimal lubrication; nozzle angle; turning

0 引言

镍基高温合金具有优异的高温强度, 化学稳定性、耐蚀性、抗热震性等性能, 广泛用于航空航天、能源和化学领域、燃气轮机、火箭发动机和核反应堆等^[1]。Inconel718 的常规车削 (CT) 工艺中的主要问题是切削力高和切削温度高, 这会加剧刀具磨损并降低加工质量^[2]。

超声椭圆振动 (UEV) 车削 Inconel718 可以降低切削力和温度, 提高工件的表面质量, 并延长刀具和工件的使用寿命^[3]。超声振动车削, 也称为超声辅助车削, 是一种基于普通车削加工在一个方向或多个方向上施加频率超过 20 KHz 的周期性振动的加工技术。UEV 车削示意图如图 1 所示。

绿色制造和可持续发展已成为新时代机械制造业的主要发展趋势之一, 如何最大限度地减少切削液的危害并确保加工质量已成为当前国内外机械制造业面临的主要问题^[4]。目前, 金属切削领域有许多冷却和润滑方法, 例如液氮冷却、低温冷却、空冷、喷雾冷却和微量润滑 (MQL)^[5]。MQL 是指使用非常少量的切削液, 通常为 100 ml/h 或更少, 其使用

量约为传统湿切削液的六十分之一^[6]。MQL 可以显著减少切削液的使用, 大大减少传统泛流冷却对环境造成的危害^[7]。本文将 MQL 与超声振动耦合车削, 研究了不同喷嘴位置对切削性能的影响。

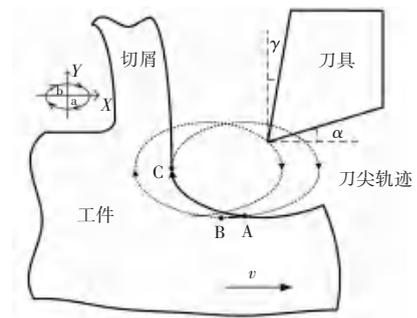


图1 超声椭圆振动切削示意图

Fig. 1 Schematic illustration of UEV turning

1 实验设置

实验装置如图 2 所示。工件材料选用 Inconel718, 材料加工选用 11°前角和 10°后角的 CBN 刀具。切削速度 (25 m/min), 进给量 (0.005 mm/r), 背吃刀量 (0.005 mm)。刀具的振动频率是 40 KHz, x 方向的振幅

作者简介: 林靖朋 (1994-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 精密加工、微量润滑; 王大中 (1966-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 精密切削加工、超声振动切削与微量润滑、刀具优化设计与开发。

收稿日期: 2019-11-25

为 $7\ \mu\text{m}$, y 方向的振幅为 $7.5\ \mu\text{m}$ 。润滑作用如图 3 所示, 喷嘴有 2 个方向, 一是垂直于工件, 二是平行于前刀面, θ 是前刀面和喷嘴中心线的夹角。



图 2 实验装置

Fig. 2 Experiment apparatus

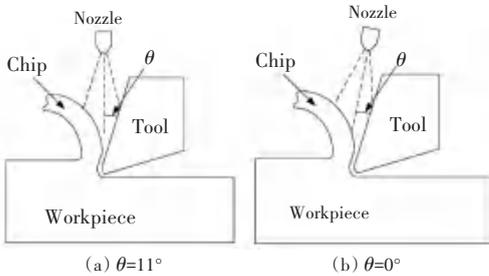


图 3 润滑作用示意图

Fig. 3 Lubrication schematic

2 仿真有限元模型

仿真过程中使用了商用软件 AdvantEdge。该模型采用了拉格朗日有限元公式和自适应网格划分技术。仿真模型采用自适应网格生成技术。硬车削是一种剧烈的变形过程。自适应网格技术提高了工件表面质量判断的准确性, 节省了大量的时间。

材料的本构模型描述了流动应力与应变、应变速率和温度之间的函数关系。本文采用 Power Law 模型^[8], 通过应变、应变速率和温度的 Power Law 关系来描述材料的等效流动应力 (σ), 通常为:

$$\sigma(\varepsilon^p, \dot{\varepsilon}, T) = g(\varepsilon^p) \times \Gamma(\dot{\varepsilon}) \times \Theta(T). \quad (1)$$

其中, $g(\varepsilon^p)$ 是应变硬化; $\Gamma(\dot{\varepsilon})$ 是应变率灵敏度; $\Theta(T)$ 是热软化。

3 结果与讨论

3.1 温度对比

当切削状态稳定时, 多次实验的平均温度比较如图 4 所示。与常规切削相比, 其他两种加工方法的温度优化效果明显, UEV 的温度降低幅度约为 10.2%, UEV 与 MQL 耦合切削的温度降低幅度为 16.9%。

接下来, 研究得到的温度分布如图 5 所示。从图 5 可以看出, 当喷嘴垂直于工件时, 切削变形区温度较高, 分布范围较大。不同喷嘴角度的温度对比

如图 6 所示。由图 6 可以看出, 当喷嘴与前刀面平行时, 切屑与刀具温度较低, 在超声振动切削中温度差为 $20\ \text{℃} \sim 30\ \text{℃}$ 。

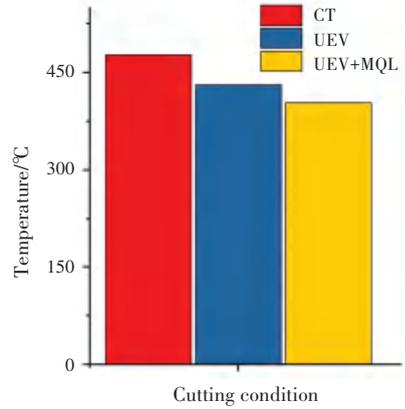


图 4 不同加工条件下的温度

Fig. 4 Temperature of different cutting conditions

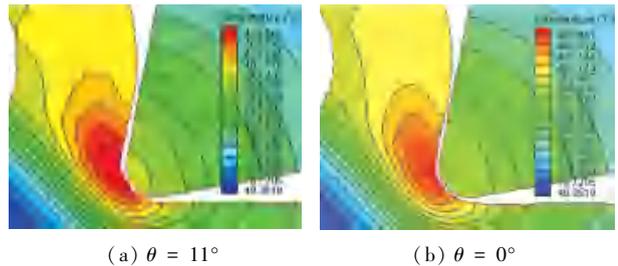


图 5 温度分布

Fig. 5 The temperature distribution

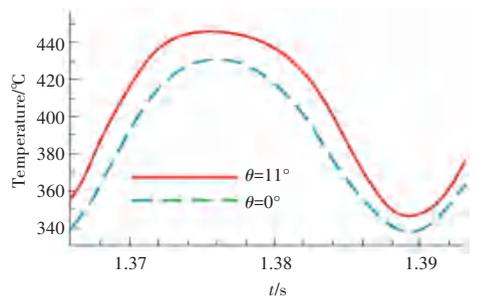


图 6 不同喷嘴角度的温度对比

Fig. 6 Temperature contrast in different nozzle directions

3.2 切削力对比

切削力对比的仿真结果如图 7 所示。在图 7 中, 当振动频率从 0 增加到 40 KHz, 切削速度固定在 $25\ \text{m/min}$ 时, 主切削力 (x 方向) 和推力 (y 方向) 分别下降了约 61.7% 和 72.9%, 耦合切削时主切削力和推力分别下降了 67.8% 和 79.7%。喷嘴角度对切削力影响不大。

3.3 刀具应力对比

刀具变形和刀具磨损都与刀具应力有关。较低的刀具应力可以延长刀具寿命。刀具总应力是整个应力张量大小的指标, 其计算公式如下:

$$\sigma_{tool} = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2 + 2\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + 2\sigma_{zx}^2} \quad (2)$$

不同喷嘴方向对于刀具应力影响的对比如图8所示。 $\theta = 0^\circ$ 时的应力比 $\theta = 11^\circ$ 时的应力低6.4%。所以在相同的加工条件下,为了满足不同的加工要求,有必要选择合适的喷嘴方向。

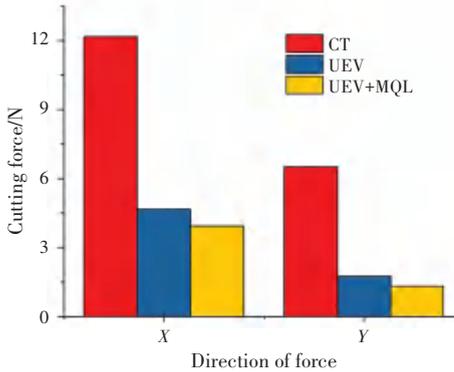


图7 切削力对比

Fig. 7 Comparison of cutting force

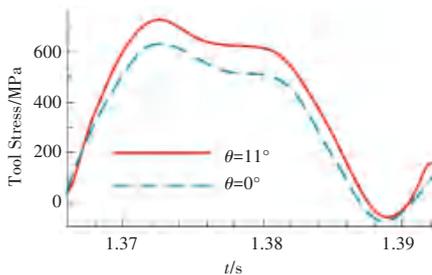


图8 不同喷嘴角度的刀具应力对比

Fig. 8 Tool stress of different nozzle directions

4 结束语

与常规切削相比,UEV车削温度降低了10.2%,UEV与MQL耦合切削温度降低了16.9%;UEV车削的主切削力和推力分别降低61.7%和72.9%,

UEV与MQL耦合切削的主切削力和推力分别降低67.8%和79.7%。当喷嘴角与前刀面平行时,工件和刀具温度较低,刀具应力较小。喷嘴角度对切削力影响不大。为了提高工件质量和刀具寿命,有必要选择合适的喷嘴角度。

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.
- [2] LI Huaizhong, ZENG H, CHEN Xiaoqi. 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(1-3): 296.
- [3] WANG Fei, LIU Yonghong, SHEN Yang, et al. Machining performance of Inconel 718 using high current density electrical discharge milling [J]. Materials and Manufacturing Processes, 2013, 28: 1147.
- [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: 321.
- [5] JIA Dongzhou, ZHANG Dongkun, ZHANG Yanbin, et al. Experimental verification of nanoparticle jet minimum quantity lubrication effectiveness in grinding [J]. Journal of Nanoparticle Research, 2018, 16: 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 & Manufacture, 2010, 50: 521.
- [7] HEE P K, OLORTEGUI-YUME J, YOON M C, et al. A study on droplets and their distribution for minimum quantity lubrication (MQL) [J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2010, 50(9): 824.
- [8] JIANG Zenghui, WANG Xiaoliang, ZHANG Jianhai, et al. Finite element analysis of surface residual stress of titanium alloy TC4 based on high speed cutting [J]. Advanced Materials Research, 2012, 500: 157.

(上接第185页)

4 结束语

结合仓储AGV的具体结构提出了一种新型的举升和回转机构,占用空间小,加工简单、成本低,结构更加合理。对设计的举升机构举升过程中中空圆柱凸轮式举升机构的扭矩进行计算,并对举升进行仿真验证,结果证明这种新型举升机构选用的减速电机是合理的。

参考文献

- [1] 李乐. AGV在汽车零部件厂内物流的应用案例[J]. 企业技术

开发(学术版), 2014, 33(7): 46.

- [2] 彭国勋,肖正扬. 自动机械的凸轮机构设计[M]. 北京:机械工业出版社, 1990.
- [3] 吕顺,费勇. 堆取料机回转驱动分析与计算[J]. 机械工程师, 2011(8): 165.
- [4] 何西泠. 回转支承装置的摩擦阻力矩[J]. 中国工程机械学报, 2006, 4(2): 183.
- [5] 车睿. 基于虚拟样机技术的货叉式AGV稳定性研究与结构优化[D]. 北京:机械科学研究总院, 2015.