

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2019.01.015

基于 AdvantEdge 的表面微织构刀具 切削性能仿真研究

张永波, 张敏良

(上海工程技术大学 机械与汽车工程学院, 上海 201620)

摘 要:表面微织构的刀具与无微织构刀具的切削性能不同,为了研究前刀面带有沟槽微织构的硬质合金刀具的切削性能,通过三维绘图软件绘制织构刀具的二维简化图导入 AdvantEdge 中,利用有限元软件 AdvantEdge 构建切削过程的二维仿真模型,在相同条件下,运用单一变量法对微织构和无微织构刀具进行二维切削仿真,通过对比发现织构刀具在应力、切屑形态方面都有积极的改善作用,刀具表面微织构能够降低切削力、切削温度。

关 键 词:切削刀具;微织构;切削力;切削温度;切屑形态;AdvantEdge 软件;有限元

中图分类号:TC506

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2019)01-0078-05

Simulation Study on Surface Micro Textured Tool Cutting Performance Based on AdvantEdge

ZHANG Yongbo, ZHANG Minliang

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

Abstract: Tools with a micro texture on surface shows different cutting performance with ordinary cutting tools. In order to study carbide cutting tool's cutting performance with micro channel texture on the rake face, three-dimensional drawing software was used in this study to make two-dimensional modeling of textured tools, finite element analysis software AdvantEdge was used to construct the two-dimensional simulation model of cutting process, and the single variable control method was adopted to simulate the two-dimensional cutting of non-micro-texture and micro-texture cutter under the same conditions. Through comparison, the results show that micro texture tools can improve the stress, chip shape and reduce cutting force, cutting temperature.

Keywords: cutting tool; micro texture; cutting force; cutting temperature; chip shape; AdvantEdge; FEA (Finite Element Analysis)

机械加工过程中,刀屑接触区一直是研究切削加工的重点对象。接触区的切削条件影响着切削加工的效果,制约刀具的使用寿命、工件的品质及产品的加工成本,因此研究切削加工过程对于指导生产具有实际意义。刀具在切削加工时受到工件的挤压作用,加大了刀具前刀面及主切削刃的磨损,同时工件的表面局部产生一定的塑性变形,从而出现应力集中现象,对产品的后期使用产生一定的负面影响。由于刀具与工件之间的互相挤压作用,切屑变形、伸长增加了刀具与切屑的接触面积。在金属加工过程中,随着切削的不断

进行,接触区高切削温度和切削区域的剧烈摩擦产生巨大的热量,刀屑界面摩擦因数增大,主切削刃处应力及其温度梯度增大,大量的热量无法及时散出,刀具前刀面上更容易发生扩散磨损和粘结磨损,对于高精密、高精度设备的加工是一项挑战,降低了切削效率,缩短了刀具的使用寿命^[1]。为了改善刀具在加工过程中的切削性能,目前常用的方法有添加润滑冷却液,改变刀具的金相组织和表面涂层技术。

对于难加工材料,高速切削加工作为主要加工方式,加工过程中刀屑界面上的材料温度升高,分子移动

收稿日期:2018-08-21;修回日期:2018-11-10

第一作者简介:张永波(1992),男,河南淮阳人,硕士研究生,主要研究方向为金属切削加工。E-mail:yb_123@outlook.com

互相渗入导致紧密结合,外界的润滑液很难进入切削区,无法达到降温、润滑的效果,刀具的磨损加快。为了减少刀具磨损,提高刀具耐用度和改善表面加工质量,国内外学者分别从刀具的材料、几何参数、切削参数、冷却润滑方式以及刀具表面技术等方面进行研究^[2]。表面微结构处理技术在提高刀具的使用寿命、耐磨性和改善切削性能等方面有一定的优势。

金属在粗加工阶段往往对加工质量要求不高,更多关注提高加工效率。粗加工阶段的切削为低速切削,切削速度小,切削量和切削深度较大,刀具磨损严重。表面微凹坑刀具在低速切削阶段对提高刀具耐用度具有突出的优势。Johannes Kümmel 等^[3]应用高速摄像机分析表面微凹坑刀具在切削过程中增大积屑瘤的尺寸,减小刀屑接触面积,延长积屑瘤存在的时间,提高稳定性并充当切削刀具参与切削,同时减缓刀具磨损,减小加工工件的表面粗糙度。Noritaka Kawasegi 等^[4]使用飞秒激光器在刀具的前刀面加工出微沟槽结构,当结构的方向与切屑的流动方向垂直时,切削力减小;结构方向平行于切屑流动方向时,切削力与无结构刀具时的切削力基本相同。Shuting Lei 等^[5]利用飞秒激光在硬质合金刀具前刀面的刀屑区加工微孔阵列。针对微结构对刀具切削性能的影响进行实验研究,与普通刀具切削过程进行对比,结构刀具所受的切削力降低,并改变了切屑的形态,减小了刀具与切屑的接触长度。王亮^[6]利用激光打标机在硬质合金刀具前刀面上加工出不同的微结构,通过切削实验表明微结构具有改善刀具切削性能,降低切削力和切削温度的效果。Koshy 等^[7]在高速钢刀具表面加工纹理和线性沟槽结构,分别对 6061 铝合金和 1045 号钢材材料做切削实验,与无结构刀具对比发现,结构刀具可降低摩擦角,减小主切削力和进给力,并且结构参数不同也会影响刀具的切削性能。

1 建立切削的几何及仿真模型

1.1 切削的几何及有限元模型

金属切削过程中,为了便于研究,可将复杂的三维切削模型简化为二维仿真模型,利用二维仿真技术研究结构刀具和无结构刀具切削时的应力、残余应力、温度分布及切屑形态变化,研究表面微结构刀具的优越性,同时二维仿真能够加快实际仿真的计算速度。简化后的二维几何模型,如图 1 所示。

刀具材料为硬质合金,采用干切削方式。课题组采用垂直于切屑流动方向的沟槽结构具有较好的效果,平行于切屑流动方向的沟槽结构反而增加切削

力^[8]。图 2 所示为沟槽型结构刀具的二维模型。

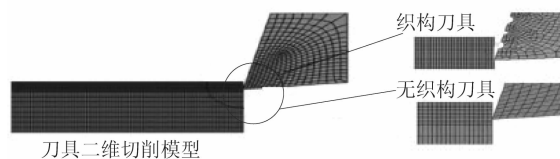


图 1 刀具二维仿真几何模型

Figure 1 2D simulation geometry model of tool

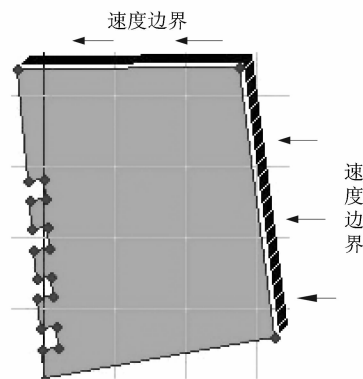


图 2 沟槽型结构刀具的二维模型

Figure 2 2D model of grooved texture tool

刀尖处及前刀面微结构尺寸较小的部分,应力集中较为明显。为了得到较为精确的仿真结果,划分网格时应划分较为密集的网格;为了提高仿真计算速度,其他部位网格划分可以较为稀疏。综合考虑,选择 AdvantEdge 软件进行表面微结构的刀具切削仿真。图 3 所示为 AdvantEdge 仿真切削时参数设置及二维仿真模型的界面,通过界面能够直观地看到整个切削仿真模拟过程。

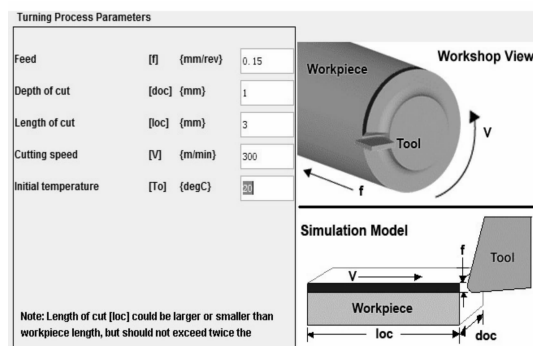


图 3 AdvantEdge 的参数设置及二维模型

Figure 3 Parameter setting and 2D model of AdvantEdge

1.2 材料的本构模型

切削工件材料为 2024-T3511 的铝合金棒料,整个切削仿真过程为干切削,不添加冷却润滑液以减少对

仿真结果的影响,使得对比效果更加明显。本次仿真模拟采用 Johnson-Cook 模型作为材料的本构方程,该模型能够反映此金属材料在加工过程中的变形特性。Johnson-Cook 模型为:

$$\sigma = [A + B\varepsilon^n] \cdot [1 + C \ln(\frac{\mu}{\mu_0})] \cdot [1 - (\frac{T - T_r}{T_m - T_r})^m]$$

式中: A, B, C, m 和 n 为 5 个待定的系数,依据材料的本身属性及状态而定; μ 为应变速率; μ_0 为塑性应变速率; ε 为等效应变; T 为材料初始温度; T_r 为初始环境温度; T_m 为材料熔点温度。

2 仿真及结果分析

考虑 Al2024-T3511 材料的加工性能,课题组选择的切削参数如表 1 所示,刀具的前角为 -5° ,后角为 5° ,刀尖半径为 0.02 mm ,织构距刀尖的距离为 $150 \mu\text{m}$ 。

表 1 切削仿真参数

Table 1 Cutting simulation parameters

切削速度/ ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	切削深度/ mm	进给量/ ($\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$)	温度/ $^\circ\text{C}$
166	0.2	0.1	20

无织构刀具切削参数见表 1。为了研究加工过程中织构刀具相比于无织构刀具的优越性,设置了不同尺寸的沟槽宽度和沟槽间距的织构刀具,如表 2 所示。对织构宽度及织构间距 2 因素采用单一变量法进行切削仿真,分别从切削力、温度和切屑形态指标衡量织构刀具的切削性能。

表 2 织构刀具的结构参数

Table 2 Structural parameters of textured tool

刀具编号	织构宽度/ μm	织构深度/ μm	织构间距/ μm
I	10	10	80
II	20	10	80
III	30	10	80
IV	20	10	50
V	20	10	110

2.1 织构的宽度对切削性能的影响

以织构的宽度为变量进行切削仿真试验,并与无织构刀具对比,分别从切削力、应力和切屑形态方面进行分析。取表 2 中 3 种织构宽度沟槽织构刀具切削仿真结果与无织构刀具进行对比。

图 4 和图 5 分别为提取的无织构刀具和织构刀具 II 切削力的波形,从切削的稳定性方面进行分析,织构能够改善切削的平稳性,在切削加工过程中能够容纳

接触面出现的对切削产生一定阻力的碎屑等颗粒物,使切削力偏离平均值的幅度减小,而无织构刀具则表现出切削力波形不稳定。

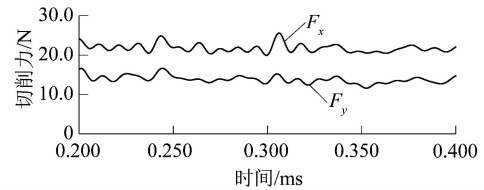


图 4 无织构刀具切削力波形图

Figure 4 Cutting force waveform of non-woven tool

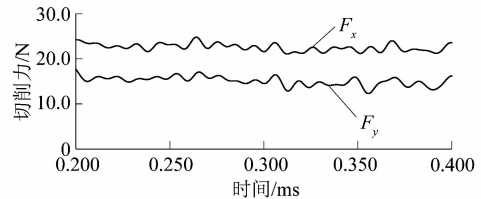


图 5 织构刀具 II 切削力波形图

Figure 5 Cutting force waveform of textured tool II

图 6 所示为仿真结束后无织构刀具及不同宽度织构刀具切削力。从图中明显可以看出,织构宽度为 $20 \mu\text{m}$ 的刀具 II 的切削力最小,与无织构刀具相比较,切削力 F_x 减小了 15.8% , F_y 减小了 20.7% 。微织构的宽度由 $10 \mu\text{m}$ 增大到 $30 \mu\text{m}$ 时,切削力先减小后增大,刀屑之间的接触面积不断减小。在微织构的数量相同情况下,织构的宽度越小,刀屑接触的面积减小得越小,对刀具前刀面摩擦力的减小就越不明显,因此织构宽度由 0 增加到 $10 \mu\text{m}$ 时,切削力的变化不太明显。如图 6 所示,织构宽度为 $30 \mu\text{m}$ 时,切削力增大,与织构宽度为 $10 \mu\text{m}$ 时的切削力相差不大,原因是出现了图 7 所示的二次切削,切屑经过织构时进行了二次切削^[9],增大了切削力,消耗更多的能量使温度升高,削弱了织构在切削过程中减小刀屑接触面积的作用。

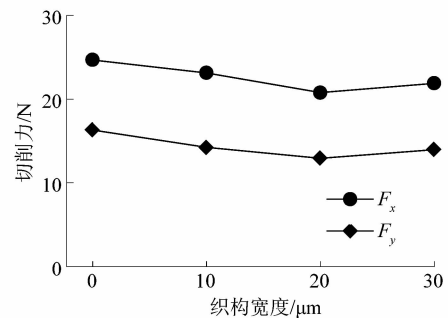


图 6 不同织构宽度刀具的切削力

Figure 6 Cutting force of different texture width tool

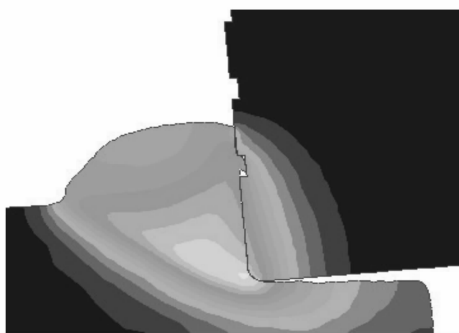


图7 刀具切削过程的二次切削

Figure 7 Secondary cutting in tool cutting process

图8所示为不同织构宽度的刀具仿真的温度,整体来看带有微织构刀具切削的最高温度低于无微织构刀具切削的最高温度,说明织构的存在确实能够降低温度。从织构的减摩机理上分析,刀-屑紧密接触区域,切屑形成后与织构部分形成真空空腔,便于热量的散布,提高热对流效果,这是织构刀具能够降低切削温度的重要因素之一。织构刀具Ⅲ在切削时温度反而升高,其主要原因是织构宽度为 $30\ \mu\text{m}$ 时,二次切削产生的热量无法及时散发,导致温度升高,但仍低于无微织构刀具切削的温度。

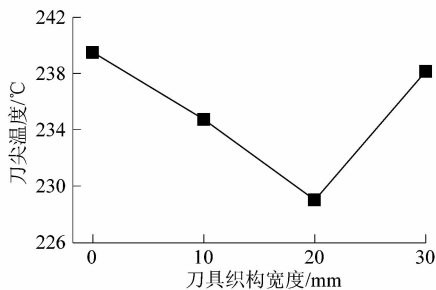


图8 不同织构宽度刀具仿真温度

Figure 8 Different texture width tool simulation temperature

2.2 织构间距对切削性能的影响

选取最佳织构宽度,改变织构之间的间距,其它因素不变,分别对织构刀具进行仿真试验分析。图9所示为不同织构间距的切削力的对比,图10所示为不同织构间距的切削温度。从图9和图10可以看出,织构刀具切削力和切削温度都随着织构间距的增大而缓慢增加。这是由于织构间距增大,前刀面同样的长度范围内,织构的个数减少,刀屑之间的实际接触面积增大,进而增大了刀屑之间的摩擦力,因此切削力增大,温度升高。

通过分析切削后切屑的卷曲程度来说明织构间距的变化对切屑形态的影响。图11所示为衡量切屑卷

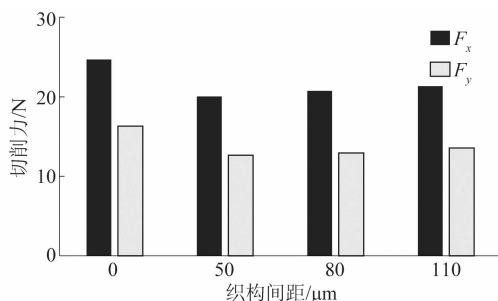


图9 不同织构间距的切削力

Figure 9 Cutting force with different texture spacing

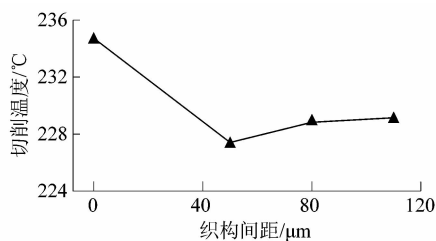


图10 不同织构间距的切削温度

Figure 10 Cutting temperature of different texture spacing

曲程度的方法,通过测量过切屑卷曲最高点的切线与未加工表面的距离 H , 根据 H 判断切屑的卷曲程度。如图12所示, H 越小,切屑的卷曲程度越大;反之,卷曲程度越小。

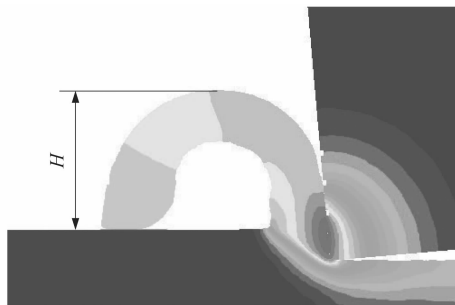


图11 衡量切屑卷曲程度

Figure 11 Measure degree of chip curl

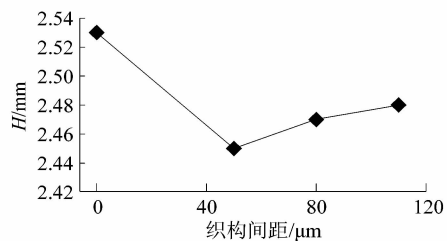


图12 不同织构间距的切屑卷曲程度

Figure 12 Chip curling degree with different texture spacing

图13所示为无织构刀具和织构刀具切削仿真同一时刻的切屑形态,通过对比,不难发现织构刀具对改变切屑形态有着明显的效果。结合图12得出:织构刀具切削下的切屑卷曲程度较大,卷曲半径小,切屑提早与刀具前刀面分离,从而减小了刀屑接触面积,减摩作用明显,增大了空气和刀具的热对流,从而降低切削温度。分析改变织构间距对切屑形态的影响,直观得出织构间距的变化对切屑形态影响较小,切削形态基本相似。由图12看出随着织构间距的增大,切屑卷曲程度缓慢降低,卷曲半径逐渐增大。

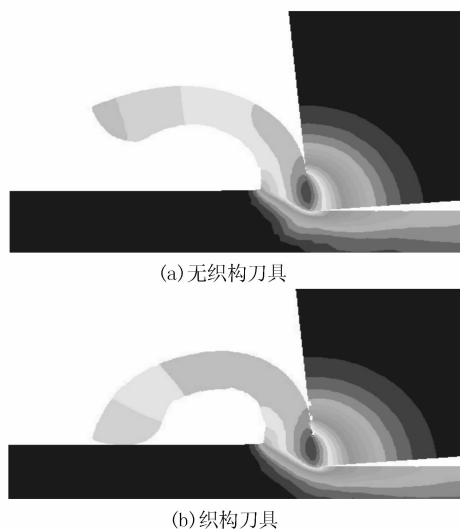


图13 不同刀具仿真的切削形态
Figure 13 Cutting patterns for different tool simulations

3 结语

1) 微织构的存在确实能够改变刀具的切削性能。对于硬质合金刀具切削 Al2024-T3511 材料,在合适的切削参数下,织构刀具表现出突出的优越性。根据加工材料和不同刀具的本身特性,选择恰当的织构参数,能够提高切削加工的效率,延长刀具的使用寿命。

2) 对于文章中的硬质合金刀具切削 2024-T3511

铝合金,在已选取的切削参数下,合理的微织构参数搭配为:沟槽的宽度为 0.02 mm,沟槽的深度为 0.01 mm,沟槽的间距为 0.05 mm,沟槽距切削刃的距离为 0.15 mm,对比无织构刀具的切削,织构刀具切削力降低, F_x 降低 15.8%, F_y 降低 20.7%, 最高温度降低 3.2%, 切屑卷曲程度降低 4.3%。

3) 改变织构的宽度主要影响切削力和温度的变化,对切屑形态的变化影响较小;而织构的间距的变化主要影响切屑形态,改变切屑卷曲程度,对切削力及温度影响不太明显。

参考文献:

- [1] 郝秀清,宋晓路,李亮.表面织构化刀具的研究现状与进展[J].表面技术,2016,45(9):170-181.
- [2] 符永宏,王海波,顾亚勋,等.刀具表面微织构设计和切削仿真分析[J].机械制造,2016,54(6):47-50.
- [3] KUMMEL J, BRAUN D, GIBMEIER J, et al. Study on micro texturing of uncoated cemented carbide cutting tools for wear improvement and built-up edge stabilization [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2015, 215: 62-70.
- [4] KAWASEGI N, SUGIMORI H, MORIMOTO H, et al. Development of cutting tools with microscale and nanoscale textures to improve frictional behavior [J]. Precision Engineering, 2009, 33(3): 248-254.
- [5] LEI Shuting, DEVARAJAN S, CHANG Zenghu. A study of micropool lubricated cutting tool in machining of mild steel [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(3): 1612-1620.
- [6] 王亮.表面微织构刀具切削钛合金的试验研究[D].南京:南京航空航天大学,2012:39-50.
- [7] KOSHY P, TOVEY J. Performance of electrical discharge textured cutting tools [J]. CIRP Annals, 2011, 60(1): 153-156.
- [8] 张文泉,冯益华,田园,等.微织构 Al_2O_3 -TiC 陶瓷刀具切削性能仿真研究[J].工具技术,2017,51(2):25-30.
- [9] 洪继伟,魏昕,谢小柱,等.表面微织构 Al_2O_3 -TiC 陶瓷刀具的切削性能研究[J].机械设计与制造,2017(8):120-122.
- [10] 邓杰勇,郑清春,胡亚辉,等.基于 ABAQUS 的微织构刀具切削机理研究[J].工具技术,2016,50(11):23-27.
- [11] 冯秀亭,邓建新,邢佑强,等.微织构陶瓷刀具切削性能的有限元分析[J].工具技术,2013,47(10):23-28.



www.QCtester.com
因为专业,所以权威
因为用心,所以收获更多



扫一扫 加入我们