

切削速度对微织构刀具切削力的影响

李庆华, 潘晨, 矫雨芯, 胡恺星

(长春大学 机械与车辆工程学院, 长春 130022)

摘要: **目的** 研究微织构刀具在不同切削速度下切削力的变化规律, 从而改善刀具的切削性能。**方法** 利用激光技术在 PCBN 刀具前刀面进行微织构处理, 加工微槽宽度分别为 30、40 μm 的垂直微槽和平行微槽, 并选择 60、72、85 m/min 三种不同的切削速度, 分别用微织构 PCBN 刀具干式切削 AISI 52100 材料, 使用测力仪收集切削过程产生的主切削力、径向力和轴向力。结合有限元仿真技术, 设置与实际切削试验相同的切削用量、微织构刀具材料和工件材料等切削条件, 从刀具表面应力角度分析微织构刀具在不同切削速度下的切削力变化, 并与切削试验结果进行对比。**结果** 在不同的切削速度条件下, 不同微织构刀具产生的切削力受切削速度的影响程度不同。30 μm 垂直微槽和 40 μm 平行微槽 PCBN 刀具在较高的切削速度下均能取得较小的切削力, 切削速度的变化对主切削力、径向力和轴向力的影响均较大。**结论** 随着切削速度的增大, 垂直微槽和平行微槽可有效减小主切削力和径向力。在相同的切削速度下, 垂直微槽比与平行微槽更有利于获得较小的切削力。试验结果对微织构 PCBN 刀具切削淬硬钢材料奠定了基础。

关键词: 微织构刀具; 切削速度; 主切削力; 径向力; 轴向力

中图分类号: TG712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2019)08-0090-08

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2019.08.013

Effect of Cutting Speed on Cutting Force of Micro-textured Tools

LI Qing-hua, PAN Chen, JIAO Yu-xin, HU Kai-xing

(School of Machinery and Vehicle Engineering, Changchun University, Changchun 130022, China)

ABSTRACT: The work aims to study the variation rules of cutting force of micro-textured tool at different cutting speed, thus improving the cutting performance of tools. Laser technology was used to process the micro textures on the rake face of PCBN tools to fabricate 30 μm perpendicular micro groove and 40 μm parallel micro groove. The main cutting force, radial force and axial force produced in the cutting process were collected by dynamometer at cutting speed $v=60$ m/min, $v=72$ m/min and $v=85$ m/min when micro-textured PCBN tools were used to dry-cut AISI 52100 material respectively. Moreover, the cutting conditions same as the actual cutting tests such as cutting parameters, micro-textured tool materials and workpiece materials were set up according to the finite element simulation technology so that the changes of cutting force of micro-textured tools at different cutting speed could be analyzed theoretically from stress of tool surface and the results could be compared with the cutting test results. Finally, under different cutting speed, the cutting force produced by each micro-textured tool was affected by cutting speed to different extent. Both 30 μm perpendicular micro-groove PCBN tools and 40 μm parallel micro-groove PCBN tools could obtain smaller cutting force at higher cutting speed, and the change of cutting speed had greater influence on the

收稿日期: 2018-10-09; 修订日期: 2018-11-19

Received: 2018-10-09; Revised: 2018-11-19

基金项目: 吉林省科技厅重点科技研发项目 (2018B0201066GX)

Fund: Supported by the Jilin Science and Technology Department Key Technology Research and Development Project (2018B0201066GX)

作者简介: 李庆华 (1968—), 男, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为机械数字化设计与制造技术。邮箱: liqh@ccu.edu.cn

Biography: LI Qing-hua (1968—), Male, Ph. D., Professor, Master's guide, Research focus: mechanical digital design and manufacturing technology research. E-mail: liqh@ccu.edu.cn

main cutting force, radial force and axial force. Perpendicular micro groove and parallel micro groove can effectively reduce the main cutting force and radial force along with the increase of cutting speed. At the same cutting speed, perpendicular micro groove can obtain smaller cutting force when compared with parallel micro groove. The results lay a foundation for cutting AISI 52100 materials with micro-textured PCBN tools.

KEY WORDS: micro-textured tool; cutting speed; main cutting force; radial force; axial force

聚晶立方氮化硼（Polycrystalline Cubic Boron Nitride, PCBN）是立方氮化硼材料合成的新型材料，其性能比立方氮化硼还优异，被广泛应用在高速硬车削加工行业，适用于切削加工淬硬合金钢、碳工钢、轴承钢等高硬度碳钢零件，以及各种高温合金、耐磨铸铁类等难加工材料。众多学者不断研究减小 PCBN 刀具切削过程中产生的切削力的方法，并取得了一定的成果。吴明阳等研究了 PCBN 刀具切削高温合金 GH4169 的切削力，指出切削力随切削深度、进给量的增大，基本上呈增大趋势^[1]，同时又指出径向力明显大于主切削力、轴向力，并且切削力随 PCBN 刀具负倒棱变化呈非线性变化^[2]。Grzesik 等用 CBN 刀具切削球墨铸铁时，发现高的切削速度有利于减小主切削力和进给力，随进给量的增加，主切削力和进给力呈非线性增加^[3]。Habeeb 等进行了 CBN 刀具干式切削镍合金 242 的试验，研究切削参数与表面粗糙度的关系，总结出切削速度和背吃刀量对表面粗糙度起到重要的作用^[4]。夏锡全等指出随着 PCBN 刀具负倒棱宽度的增大，主切削力、进给力和轴向力呈现出先明显增大，再减小，最后缓慢增大的趋势^[5]。从上述研究中发现，切削用量以及刀具形状对切削力具有很大的影响，并且 PCBN 刀具产生的切削力受切削速度、切削深度和进给量的影响程度不同。

为了改善刀具的切削性能，降低切削过程产生的切削力，有学者将微织构方法应用在刀具表面，研究微织构对切削加工的影响。Kümmel 等作了关于无涂层硬质合金刀具的微织构在改善疲劳特性和积屑瘤稳定性方面的研究，指出微槽织构可以减少积屑瘤的粘附，从而形成较少的积屑瘤，使刀具具有较高的耐磨损率，同时得到表面质量较好的工件^[6]。杨超等研究了微织构对硬质合金刀具 YT15 切削性能的影响，结果表明，合理的微织构可以有效地减小切削力，提高工件表面质量^[7]。刘泽宇等研究了表面微织构对陶瓷刀具摩擦磨损性能的影响，试验表明，微织构能够延缓刀具磨损^[8]。Lei 等研究了在润滑条件下，微织构硬质合金刀具切削低碳钢的切削力，试验结果证实

微织构能够有效地减小切削过程中产生的主切削力、进给力、切深抗力^[9]。Sugihara 等发现无论切削过程中有无润滑剂，硬质合金前刀面的微沟槽结构均可以有效抑制月牙洼磨损，后刀面的微织构使后刀面能够产生很好的抗磨损性能，并且大量试验表明，后刀面微织构与前刀面的抗磨损机制和最佳织构形式是不同的^[10]。Sugihara 和 Enomoto 得出硬质合金刀具表面的纳米/微米织构能够改善抗粘性能^[11]。Chang 等研究了微织构在微细加工时对硬质合金铣刀磨损的影响，发现与切削刃垂直的微槽结构能够延缓刀具磨损，提高加工精度^[12]。Kawasegi 等研究了织构形状对铝合金切削加工性的影响，发现由于前刀面摩擦力的减小，织构能够降低切削力^[13]。通过学者们大量的研究，均发现合理的微织构可以减小切削力，改善刀具的切削性能。

此外，随着有限元仿真技术的发展和应⤵用，很多学者将有限元仿真技术作为从理论角度研究切削力的方法之一。徐明刚^[14]和张蓉蓉^[15]利用 DEFORM-3D 有限元软件进行了切削力仿真；邓杰勇^[16]和 S. Bhopale^[17]利用 ABAQUS 软件对切削力进行了模拟仿真研究；杨树财^[18]和 Necpal^[19]均利用有限元仿真方法对切削力进行了研究与分析，并取得了良好的结果。

结合上述文献对切削力的研究，发现微织构方法大多数应用在硬质合金刀具表面，很少应用在 PCBN 刀具，并且很少研究切削速度对微织构刀具切削力的影响。因此文中将在 PCBN 刀具前刀面进行微织构处理，结合有限元仿真技术，研究切削速度对不同微织构 PCBN 刀具切削淬硬钢 AISI 52100 的切削力产生的影响。

1 有限元仿真模型及刀具微织构制备

本试验共设计两种微织构类型，即与主切削刃垂直和平行的微槽织构。微织构尺寸见表 1。根据表 1 中微织构数据，利用软件画出如图 1 所示的 PCBN 刀具仿真模型。

表 1 微织构尺寸
Tab.1 Size of micro textures

Type of micro texture	Width/ μm	Depth/ μm	Distance from the cutting edge/ μm
Perpendicular micro grooves	30	5	200
Parallel micro grooves	40	5	200

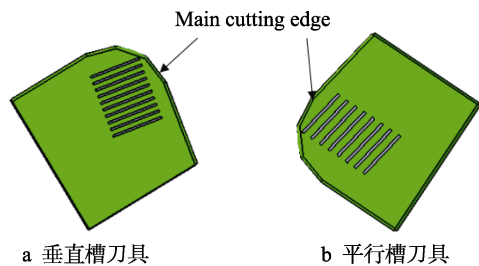


图 1 微结构 PCBN 刀具仿真模型
Fig.1 Simulation model of micro-texture PCBN tools:
a) Perpendicular micro-groove textures; b) Parallel micro-groove textures

本次仿真中, 工件材料的本构模型为 Johnson-Cook 本构模型^[20]。该模型认为, 材料在高应变率下表现为应变硬化、应变速率硬化及热软化效应, 其使用便捷、形式简单, 且在机械切削领域的应用十分广泛。结合研究材料, 本文选用 Johnson-Cook 本构模型进行仿真。

Johnson-Cook 本构模型的经验公式为:

$$\sigma = \left[A + B(\varepsilon)^n \right] \cdot \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \cdot \left[1 - \left(\frac{t - t_0}{t_m - t_0} \right)^m \right] \quad (1)$$

式中: σ 为流动应力; A 材料的初始屈服应力; B 为材料应变硬化模量; n 为材料硬化指数; C 为材料应变速率强化参数; m 为材料热软化指数; ε 为等效塑性应变; $\dot{\varepsilon}_p$ 为等效塑性应变速率; $\dot{\varepsilon}_0$ 为应变速率参考值; t 为变形温度; t_0 为室温; t_m 为材料的熔点。

AISI 52100 的 Johnson-Cook 本构模型参数见表 2^[21-22]。AISI 52100 材料的性能参数见表 3^[21-22], 其中 AISI 52100 的热导率和比热容随温度变化而变化。PCBN 刀具材料的性能参数见表 4^[21-23]。

表 2 AISI 52100 Johnson-Cook 本构模型参数
Tab.2 Johnson-Cook constitutive model parameters of AISI 52100

A/GPa	B/GPa	C	m	n	$t_0/^\circ\text{C}$	$t_m/^\circ\text{C}$
1.204	1.208	0.036	0.89	0.12	20	1180

表 3 AISI 52100 材料性能参数
Tab.3 Mechanical and physical properties of AISI 52100 materials

Young's modulus/GPa	Poisson ratio	Thermal conductivity/($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	Specific heat/($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$)	Density/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Rockwell hardness (HRC)
210	0.3	33.6~41.8	340~1200	7.85	58

表 4 PCBN 刀具材料性能参数
Tab.4 Mechanical and physical properties of PCBN tool

Young's modulus/GPa	Thermal conductivity/($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	Poisson ratio	Density/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Specific heat/($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$)
690	120	0.2	3.8	700

在有限元仿真软件 ABAQUS 中, 根据实际刀具加工角度, 在仿真软件中设置刀具前角 $r = -6^\circ$, 后角 $a = 6^\circ$, 主偏角 $k_r = 91^\circ$ 。通过控制变量法, 设定进给量 $f = 0.1 \text{ mm/r}$, 背吃刀量 $a_p = 0.2 \text{ mm}$, 切削速度分别为 $v_1 = 60 \text{ m/min}$ 、 $v_2 = 72 \text{ m/min}$ 、 $v_3 = 85 \text{ m/min}$ 。根据上述各表中有有限元参数进行仿真, 研究切削速度对微结构 PCBN 刀具切削力的影响。

2 有限元仿真切削力分析

根据刀具有限元模型和所设定的试验参数, 进行不同切削速度条件下微结构刀具有限元切削仿真, 并对仿真切削力结果进行分析。微结构刀具的有限元仿真模型如图 2 所示。由于刀具表面存在微结构, 需要对表面微结构处的网格进行细微划分。利用 ABAQUS 软件中自带的任意拉格朗日-欧拉 (ALE) 自适应网格重划方法, 选择三角形 (Tri) 单元网格形状, 网格最小尺寸为 0.02 mm , 最大尺寸为 0.1 mm , 以保证微结构位置的网格精度。选取仿真过程中 $0 \sim 30 \text{ ms}$ 内的稳定切削力作为数据分析选取点 (Collected Points), 使用 MATLAB 软件进行切削力数据画图,

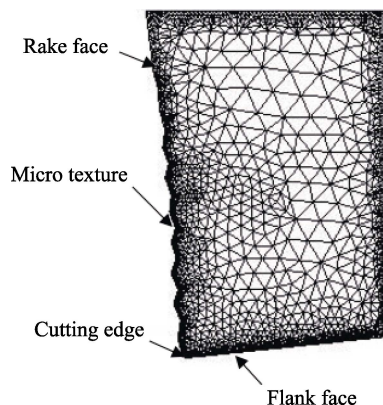


图 2 微结构刀具有限元仿真模型
Fig.2 Finite element cutting model of micro-textured tool

并进行分析。

2.1 垂直微槽刀具

在垂直微槽刀具切削分力的仿真结果中, 切削速度对主切削力、径向力和轴向力的影响如图 3 所示。由图 3a 可知, 当切削速度为 85 m/min 时, 主切削力最小; 切削速度为 60 m/min 时, 主切削力相对较大。

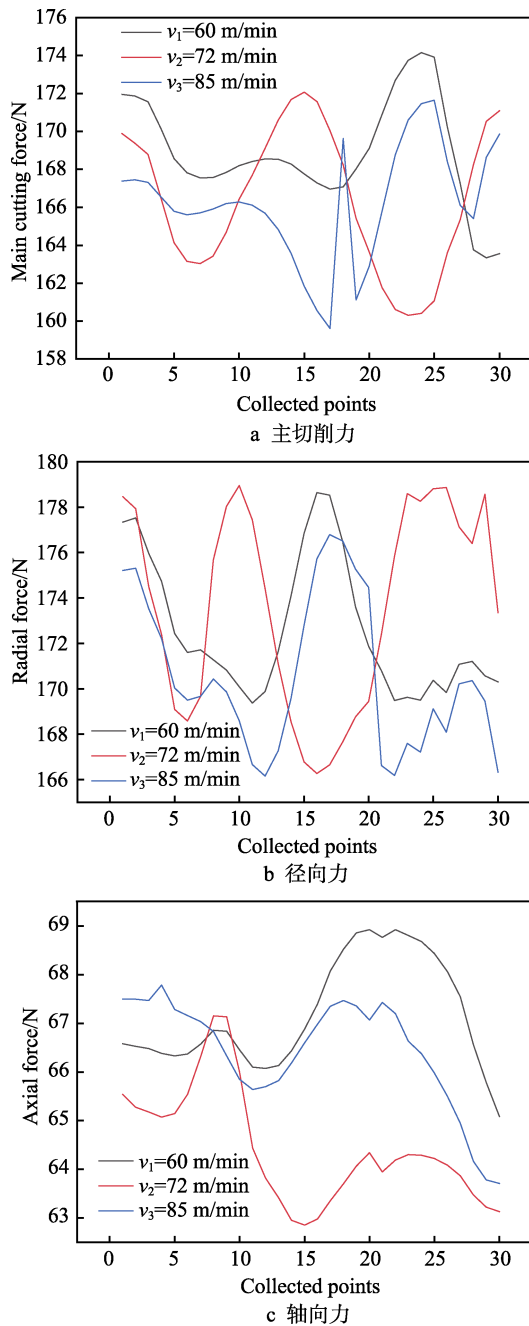


图 3 垂直微槽刀具仿真切削分力

Fig.3 Cutting force analysis of perpendicular micro-groove tools in simulation: a) main force F_x ; b) radial force F_y ; c) axial force F_z

根据曲线分布可以判断, 切削速度为 72 m/min 时的主切削力小于刀具以 60 m/min 切削时产生的主切削力。因此, 较高的切削速度有利于获得较小的主切削力。图 3b 显示出切削速度为 85 m/min 时的径向力相对最小, 虽然径向力存在一定程度的波动, 但是随着切削速度的增加, 径向力表现出减小的趋势。由图 3c 可以看出, 随着切削速度的增加, 轴向力呈现出先减小后变大的趋势。 $v_2=72$ m/min 时的轴向力最小, $v_3=85$ m/min 次之, $v_1=60$ m/min 时的轴向力最大。综合切削速度对主切削力、径向力和轴向力的影响, 当 $v_3=85$ m/min 时, 总切削力最小。因此, 采用 30 μm 垂直微槽 PCBN 刀具切削淬硬钢 AISI 52100 时, 应选用较高的切削速度。

通过对切削力与切削速度关系的分析和研究发现, 造成垂直微槽刀具产生的各切削分力随切削速度变化的原因和刀具前刀面应力 σ_{xx} 有关。观察图 4 发现, 在不同切削速度下, 刀具前刀面应力 σ_{xx} 的分布不同。其中, $v_3=85$ m/min 时, 切削刃处应力分布范围最小, 产生的应力值也最小, 应力 σ_{xx} 约为 1468 MPa; $v_1=60$ m/min 时, 其次是 $v_1=60$ m/min 时刀具切削刃处应力; $v_2=72$ m/min 时, 切削刃处应力分布范围最大, 应力值也最大, σ_{xx} 约为 1524 MPa。由于此切削速度下, 刀具的应力值变化较大, 切削力发生一定的波动。对比图 4 中刀具垂直微槽处的应力分布发现, 随着切削速度增加, 应力逐渐转移到织构位置, 织构代替切削刃承担一部分应力, 使得刀具在切削工件时的切削力变小。

2.2 平行微槽刀具

平行槽刀具仿真切削分力分析如图 5 所示, 可以看出, 切削速度对主切削力和径向力的影响较为显著。随着切削速度的增大, 主切削力和径向力明显减小。切削速度为 85 m/min 时, 主切削力和径向力大幅度减小; 切削速度为 72 m/min 时, 对主切削力和径向力的影响不大, 切削速度为 60 m/min 时的主切削力和径向力最大。由图 5c 中轴向力曲线分布可知, 切削速度的改变对轴向力的影响程度较弱, 其中 $v_1=60$ m/min 时产生的轴向力小于 $v_2=72$ m/min 的轴

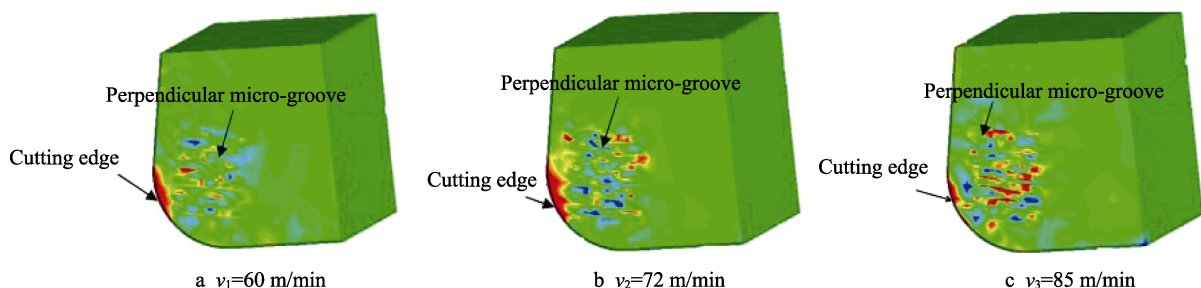
图 4 不同切削速度时垂直微槽刀具的表面应力 σ_{xx}

Fig.4 Surface stress σ_{xx} of Perpendicular micro-groove tools at different cutting speed

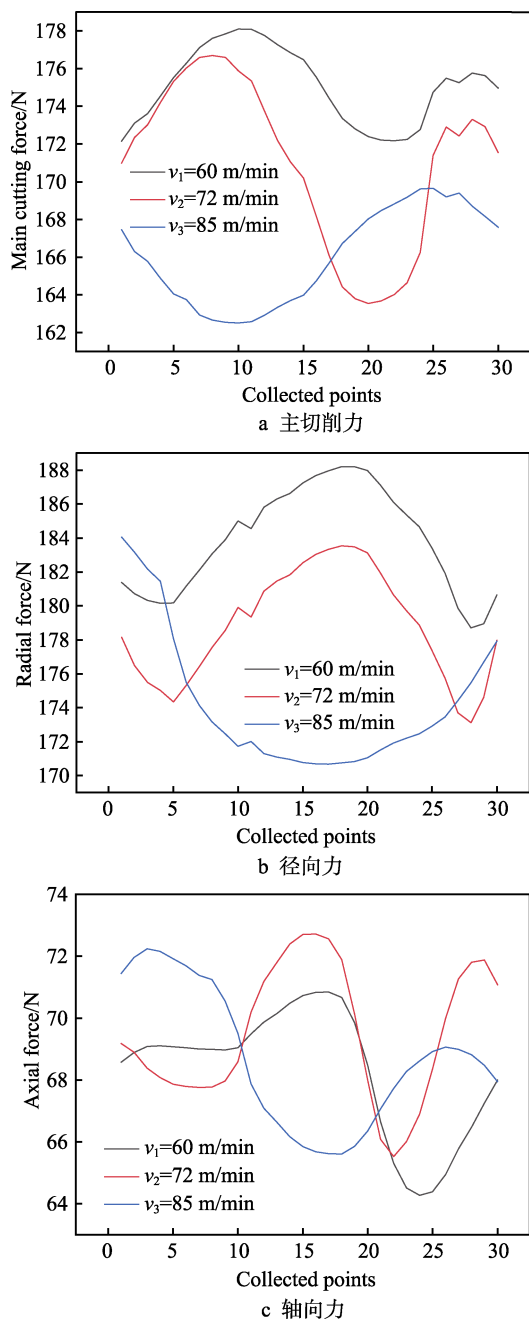


图5 平行微槽刀具仿真切削力

Fig.5 Cutting force analysis of parallel micro-groove tools in simulation: a) main force F_x ; b) radial force F_y ; c) axial force F_z

向力,当切削速度增加到 $v_3=85$ m/min 时,对轴向力的影响变小。通过对不同切削速度产生的各切削力进行仿真对比可知,40 μm 平行槽 PCBN 刀具切削 AISI 52100 时,增加切削速度可显著减小切削力。造成平行微槽刀具产生的各切削分力随切削速度增加而变小的原因,仍与刀具前刀面应力分布有关。与垂直微槽减小切削力原理相同,也发现切削速度 $v_2=72$ m/min 时,刀具切削刃处应力的分布范围仍大于 v_1 、 v_3 时的应力分布,造成了主切削力和轴向力不稳定现象。

不同切削速度下,微织构刀具与无织构刀具的总切削力对比如图 6 所示。可以看出,微槽织构刀具产生的切削力明显小于无织构刀具。一方面是因为微槽织构能够减小前刀面与切屑的接触长度,从而降低摩擦系数,使摩擦力变小,导致切削力变小;另一方面,分析不同刀具表面应力 σ_{xx} (见图 7) 可知,无织构刀具刀尖处的应力最大,分布范围也最广,而两种微织构刀具刀尖处的应力均小于无织构刀具,也导致了切削力变小。总之,有限元仿真结果证明了微织构能够减小刀具切削力。

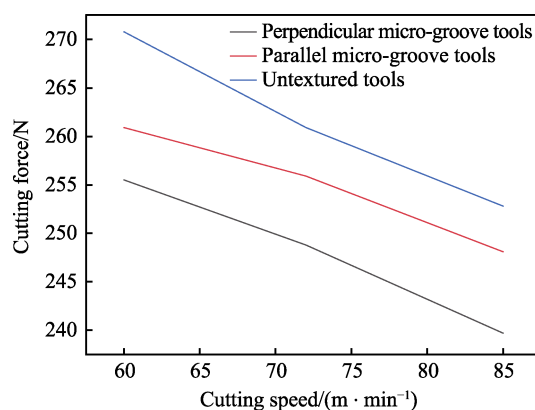


图6 不同切削速度下微槽织构刀具与无织构刀具切削力对比

Fig.6 Comparison of cutting forces between micro-groove tools and untextured tools at different cutting speed

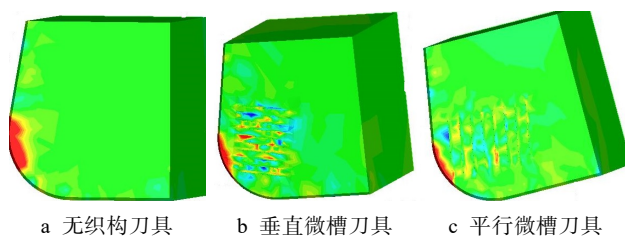
图7 不同刀具表面应力 σ_{xx}

Fig.7 Surface stress σ_{xx} of different tools: a) untextured tool; b) perpendicular micro-groove tool; c) parallel micro-groove tool

3 切削力试验分析

在本次试验中,利用 FLY-M10F 全封闭带旋转光纤激光打标机(如图 8 所示),按照表 1 中的数据对 PCBN 刀具前刀面进行微织构加工处理,分别加工出与切削刃垂直的 30 μm 微槽和与切削刃平行的 40 μm 微槽。由于两种微槽宽度尺寸不同,为实现加工不同微槽织构尺寸,可以通过改变激光打标机的激光线宽度或改变激光的光斑尺寸进行加工尺寸调整。本次试验采用调整打标激光线宽度方法加工不同尺寸微槽织构。FLY-M10F 全封闭带旋转光纤激光打标机主要技术参数见表 5。利用 WYKO N7910 光学轮廓仪检测微织构三维形貌,如图 9 所示。

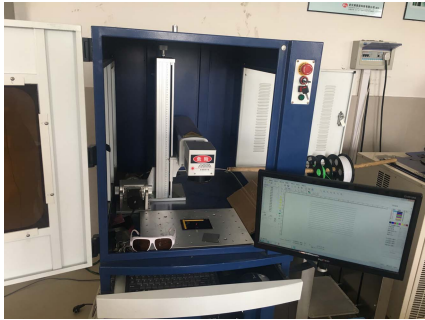
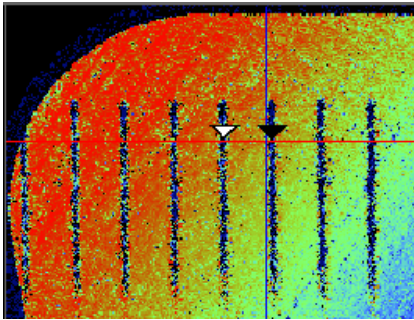
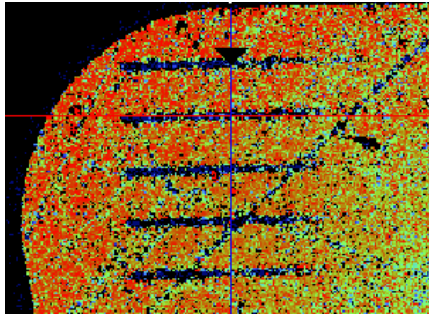


图 8 FLY-M10F 全封闭带旋转光
纤激光打标机
Fig.8 FLY-M10F fully enclosed rotary
fiber laser marking machine



a 垂直微槽



b 平行微槽

图 9 WYKO N7910 刀具三维微织构形貌图形
Fig.9 3D micro texture morphology of WYKO N7910 tool:
a) perpendicular micro-groove texture; b) parallel micro-groove texture

表 5 FLY-M10F 全封闭带旋转光纤激光打标机
主要技术参数

Tab.5 Main technical parameters of FLY-M10F fully
enclosed rotary fiber laser marking machine

Main technical parameters		Parameter range
Machine parameters	Focus lens	F-160
	Markup range	100 mm×100 mm
	Cooling mode	Air cooling
	Operating ambient temperature	15~35 ℃
	Power	0.5 kW
Marker parameters	Laser type/Wavelength	Optical fiber/1064 nm
	Laser output power	≤ 10 W
	Pulse repetition rate	20 kHz≤F≤200 kHz

在有限元仿真分析切削力的基础上,进行实际微织构 PCBN 刀具切削试验。使用 Kistler 2825A-92 型高灵敏度压电式三向测力仪收集切削平稳过程中产生的各切削力,共收集稳定切削后 1~10 s 内的切削力作为数据选取点 (Collected Points),对数据进行处理并作分析。由于切削过程中出现了机械振动,可能造成切削力出现不同程度的波动现象。

3.1 垂直微槽刀具切削力试验分析

垂直微槽刀具试验切削分力的变化情况如图 10 所示。从图 10 中可知,切削速度对主切削力和径向力的影响相似,均表现为随着切削速度的增大,主切削力和径向力显著减小。其中切削速度为 85 m/min 时的主切削力最小, 60 m/min 时的主切削力最大。从轴向力曲线分布发现,随切削速度的增大,轴向力为先减小后增加。切削速度为 72 m/min 时,产生的轴向力最小, 85 m/min 时的轴向力次之。综合分析可知,增加切削速度可以有效地减小切削力,与仿真结果基本相同。因为增加切削速度,刀具表面应力分布发生变化,并且切屑流出的方向与刀具表面的垂直微槽几乎平行,极大地减小了前刀面与切屑之间的摩擦力,最终使切削力变小。

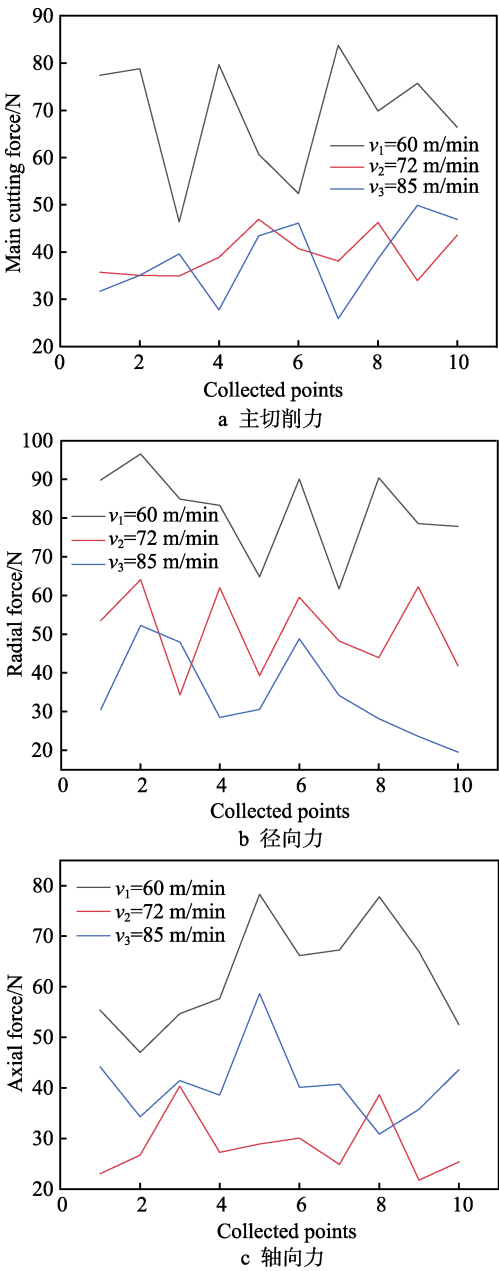


图 10 垂直微槽刀具试验切削力
Fig.10 Cutting force of perpendicular micro-groove tools:
a) main force F_x ; b) radial force F_y ; c) axial force F_z

3.2 平行微槽刀具切削力试验分析

平行微槽刀具试验切削分力变化情况如图 11 所示。分析图 11a、b 中的曲线发现,切削速度从 $v_1=60$ m/min 增加到 $v_2=72$ m/min 时,对主切削力和径向力的影响较小,当增加到 $v_3=85$ m/min 时,主切削力和径向力明显减小。图 11c 展示了增加切削速度对轴向力的影响较小。综合分析可知,高速下产生的切削力最小,与仿真结果基本相同。原因与 $30\text{ }\mu\text{m}$ 垂直微槽刀具相似,同样是由于切削速度的增加,改变了刀具表面应力分布范围,从而减小切削力,并且刀具表面的平行微槽结构也具有减小刀具与切屑摩擦力的作用,达到

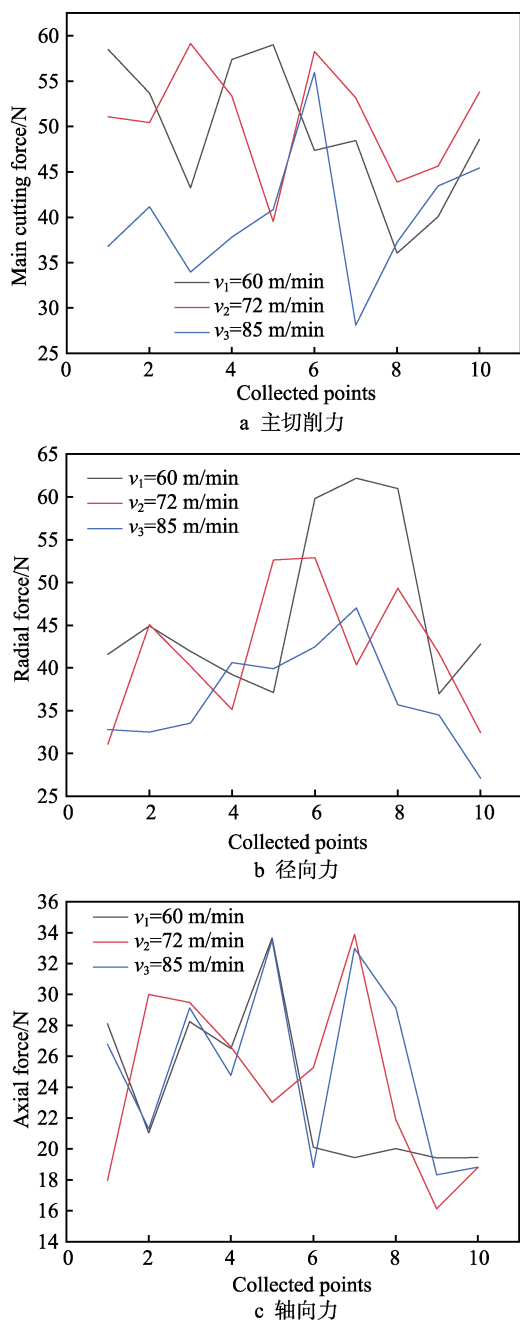


图 11 平行微槽刀具试验切削力

Fig.11 Cutting force of parallel micro-groove tools: a) main force F_x ; b) radial force F_y ; c) axial force F_z

减小切削力的目的。

不同切削速度下,切削试验微槽刀具与无织构刀具合成的总切削力对比如图 12 所示,发现微槽刀具产生的切削力小于无织构刀具,与有限元仿真微槽刀具与无织构刀具的切削力结果基本一致。由于刀具表面的平行微槽与切屑流出方向不一致,甚至与切屑流出方向几乎垂直,因此对前刀面与切屑之间的减摩作用弱于垂直微槽刀具,使得平行微槽刀具的切削力要大于垂直微槽刀具。

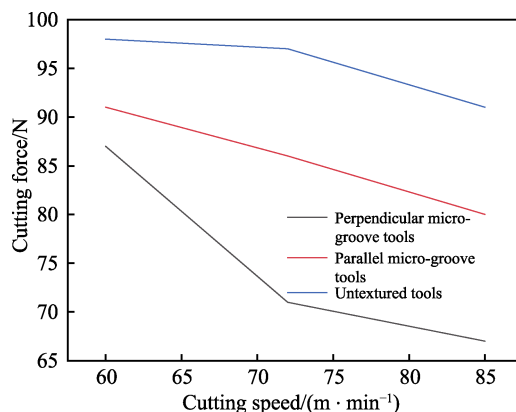


图 12 不同切削速度下有限元仿真微槽结构刀具与无织构刀具切削力对比

Fig.12 Comparison of cutting forces between micro-groove tools and untextured tools at different cutting speed in finite element simulation

4 结语

文中结合有限元技术和切削试验,采用刀具前刀面微织构的方法,研究了切削速度对微织构刀具切削力的影响,通过对切削力的仿真与切削试验结果分析,取得了较好的一致性。得到如下结论:

1) 在 $30\text{ }\mu\text{m}$ 垂直微槽 PCBN 刀具切削力的研究中,有限元仿真和切削试验均发现,在较高的切削速度下,可以获得较小的切削力。其中切削速度为 85 m/min 时,能够有效地减小主切削力和径向力;切削速度为 72 m/min 时,对减小轴向力有显著的影响。

2) 在 $40\text{ }\mu\text{m}$ 平行微槽 PCBN 刀具切削力的研究中,仿真与切削试验结果均证明,较大的切削速度能够改善刀具的切削性能,获得较小的切削力。当切削速度为 85 m/min 时,主切削力和径向力明显变小,对轴向力的影响较弱,产生的总切削力较小。因此采用平行槽 PCBN 刀具加工 AISI 52100 时,宜选用较大的切削速度。

3) 通过对不同切削速度下微槽结构刀具表面应力的分析,发现微槽结构能够改善切削刃处应力分布范围,使应力分布在微槽附近,并且减小了前刀面应力,因此微槽结构具有减小切削力的作用。此外,由于微槽结构减小了前刀面与切屑的接触长度,使摩擦

力减小,从而产生的切削力小于无织构刀具。由于垂直微槽织构能更好地减小前刀面与切屑的摩擦力,因此其产生的切削力小于平行微槽。

参考文献:

- [1] 吴明阳, 陈勇, 赵旭, 等. PCBN 刀具高速切削镍基高温合金切削力及刀具磨损试验研究[J]. 工具技术, 2017, 51(4): 14-18.
WU Ming-yang, CHEN Yong, ZHAO Xu, et al. Experimental study on cutting force and tool wear of PCBN tools in high-speed turning nickel-based superalloy[J]. Tool engineering, 2017, 51(4): 14-18.
- [2] 吴明阳, 田兆晖, 于永新, 等. PCBN 刀具切削高温合金切削力试验分析[J]. 航空制造技术, 2017, 60(22): 101-105.
WU Ming-yang, TIAN Zhao-hui, YU Yong-xin, et al. Experimental study on cutting force in turning superalloy by PCBN cutting tool[J]. Aeronautical manufacturing technology, 2017, 60(22): 101-105.
- [3] GRZESIK W, KISZKA P, KOWALCZAK D, et al. Investigation of the machining process of spheroidal cast iron using cubic boron nitride (CBN) tools[J]. Metalurgija-sisak then zagreb-, 2014, 53(1): 33-36.
- [4] HABEED H H, KADIRGAMA K, NOOR M M, et al. Machining of nickel alloy 242 with cubic boron nitride tools[J]. Journal of applied sciences, 2010, 10(19): 2322-2327.
- [5] 夏锡全, 王其东, 杨海东. PCBN 刀具负倒棱宽度对切削力影响分析[J]. 工具技术, 2017, 51(10): 34-36.
XIA Xi-quan, WANG Qi-dong, YANG Hai-dong. Effect of chamfered width of PCBN tool on cutting force[J]. Tool engineering, 2017, 51(10): 34-36.
- [6] KÜMMEL J, BRAUN D, GIBMEIER J, et al. Study on micro texturing of uncoated cemented carbide cutting tools for wear improvement and built-up edge stabilisation[J]. Journal of materials processing technology, 2015, 215: 62-70.
- [7] 杨超, 刘小君, 杨海东, 等. 表面织构对刀具切削性能及前刀面摩擦特性的影响[J]. 摩擦学学报, 2015, 32(2): 228-235.
YANG Chao, LIU Xiao-jun, YANG Hai-dong, et al. Effect of the textured surface on the cutting performance of the tool and the friction property for the rake face[J]. Tribology, 2015, 32(2): 228-235.
- [8] 刘泽宇, 魏昕, 谢小柱, 等. 激光加工表面微织构对陶瓷刀具摩擦磨损性能的影响[J]. 表面技术, 2015, 10(10): 33-39.
LIU Ze-yu, WEI Xin, XIE Xiao-zhu, et al. Influence of surface micro texture with laser processing on the friction and wear performance of ceramic cutter[J]. Surface technology, 2015, 10(10): 33-39.
- [9] LEI S, DEVARAJAN S, CHANG Z. A study of micropool lubricated cutting tool in machining of mild steel[J]. Journal of materials processing tech, 2009, 209(3): 1612-1620.
- [10] SUGIHARA T, ENOMOTO T. Crater and flank wear resistance of cutting tools having micro textured surfaces[J]. Precision engineering, 2013, 37(4): 888-896.
- [11] SUGIHARA T, ENOMOTO T. Improving anti-adhesion in aluminum alloy cutting by micro stripe texture[J]. Precision engineering, 2012, 36(2): 229-237.
- [12] CHANG W, SUN J, LUO X. Investigation of microstructured milling tool for deferring tool wear[J]. Wear, 2011, 271(9): 2433-2437.
- [13] 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.
- [14] 徐明刚, 张振, 马小林, 等. 基于 DEFORM-3D 的微织构刀具切削性能仿真分析[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016(3): 44-47.
XU Ming-gang, ZHANG Zhen, MA Xiao-lin, et al. Simulation analysis of micro texture tool cutting nature based on deform-3D[J]. Modular machine tool & automatic manufacturing technique, 2016(3): 44-47.
- [15] 张蓉蓉, 赵先锋, 李长虹, 等. 基于 Deform-3D 的铝合金 7075 车削力模型的研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016(6): 59-62.
ZHANG Rong-rong, ZHAO Xian-feng, LI Chang-hong, et al. Analysis of the residual stress in the turning cutting based on deform-3D[J]. Modular machine tool & automatic manufacturing technique, 2016(6): 59-62.
- [16] 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.
DENG Jie-yong, ZHENG Qing-chun, HU Ya-hui, et al. Study on theory of cutting of micro textured tool based on ABAQUS[J]. Tool engineering, 2016, 50(11): 23-27.
- [17] BHOPALE S, JAGATAP K R, LAMDHARE G K, et al. Cutting forces during orthogonal machining process of AISI 1018 steel: numerical and experimental modeling[J]. Materials today proceedings, 2017, 4(8): 8454-8462.
- [18] 杨树财, 王志伟, 张玉华, 等. 微织构球头铣刀加工钛合金的有限元仿真[J]. 沈阳工业大学学报, 2015, 37(5): 530-535.
YANG Shu-cai, WANG Zhi-wei, ZHANG Yu-hua, et al. Finite element simulation for machining titanium alloy with micro-texture ball-end mill[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2015, 37(5): 530-535.
- [19] NECPAL M, POKOMY P, KURUC M. Finite element analysis of tool stresses, temperature and prediction of cutting forces in turning process[J]. Solid state phenomena, 2017, 261: 354-361.
- [20] JOHNSON G R, COOK W H. A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures[C]// Proceeding of the seventh international symposium on ballistics. The Hague, Netherlands: [s. n.], 1983.
- [21] 岳彩旭. 金属切削过程有限元仿真技术[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
YUE Cai-xu. Finite element simulation technology of metal cutting process[M]. Beijing: Science Press, 2017.
- [22] 合烨, 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(自然版), 2013, 47(5): 800-805.
HE Ye, WANG Chang-ying, CHEN Xiao-an, et al. Finite element simulation of chip formation mechanism in hard turning GCr15 steel[J]. Shanghai Jiaotong Univ (Sci), 2013, 47(5): 800-805.
- [23] 沈浩, 师建文, 李泓, 等. 基于 Deform 的 PCBN 刀具断续切削淬硬钢有限元仿真分析[J]. 工具技术, 2015, 49(5): 57-60.
SHEN Hao, SHI Jian-wen, LI Hong, et al. Analysis of PCBN cutting tool intermittent cutting hardened steel finite element simulation based on deform[J]. Tool engineering, 2015, 49(5): 57-60.