

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.07.042

椭圆状微织构自润滑车刀切削性能试验*

吴泽 邓建新 邢佑强 程洁 赵军

(山东大学机械工程学院, 济南 250061)

【摘要】 采用激光加工方法在硬质合金刀具前刀面易磨损区域加工椭圆状微织构,并在微织构中填充 MoS_2 固体润滑剂,制备了微织构自润滑刀具。运用有限元方法分析了微织构对刀具刀尖处应力分布的影响;将微织构自润滑刀具与传统刀具进行了干切削 45 号钢的对比试验。结果表明:微织构的存在对刀尖处的应力分布无显著影响,与传统刀具相比,微织构自润滑刀具能够有效降低切削力和切削温度,减小切屑变形,增加切屑卷曲,同时减缓刀具前刀面磨损。

关键词: 微织构 自润滑 车刀 切削性能

中图分类号: TH117.1; TG712 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)07-0228-07

Cutting Performance of Self-lubricating Turning Tools with Elliptical Micro-textures

Wu Ze Deng Jianxin Xing Youqiang Cheng Jie Zhao Jun

(Department of Mechanical Engineering, Shandong University, Ji'nan 250061, China)

Abstract

Elliptical micro-textures were made by using laser on the rake face of the tungsten carbide cutting inserts. Molybdenum disulfide (MoS_2) solid lubricants were embedded into the micro-textures to form self-lubricating textured tools. Finite element analysis was conducted to assess the effect of micro-texture on the stress distribution of the cutting inserts. Dry cutting tests were carried out with these self-lubricated cutting tools and conventional cemented carbide tools. As the results, there is no conspicuous adverse effect on the stress distribution of the tool nose with micro-textures on the rake face. The cutting forces and the cutting temperatures with the self-lubricating textured tools were greatly reduced compared with that of conventional cemented carbide tools. Meanwhile, the rake wear and the chip deformation were reduced, and the chip coiling was improved with micro-texturing lubrication.

Key words Micro-texture, Self-lubricating, Turning tool, Cutting performance

引言

干切削加工过程中,由于没有切削液的作用,刀具与工件材料之间的摩擦环境恶劣、切削温度升高,造成刀具磨损加剧,影响工件加工效率及加工质量^[1]。为了克服干切削加工的不足,开发性能优良的新型干切削刀具一直是切削加工领域的研究热点

之一,研究主要集中在新型刀具材料的研制、刀具涂层技术及自润滑刀具的开发等方面^[2~9]。

文献[8]报道了一种微池自润滑刀具。该微池自润滑刀具是运用电火花加工方法在车刀前刀面加工微孔阵列并填充固体润滑剂,切削过程中切屑的摩擦挤压使得润滑剂拖覆在刀/屑接触表面形成润滑层,从而减小刀/屑摩擦,改善切削加工过程。但由于在刀具前

收稿日期: 2011-08-18 修回日期: 2011-09-20

* 国家自然科学基金资助项目(51075237)、泰山学者专项基金资助项目、山东省自然科学基金重点项目(ZR2010EZ002)、山东大学自主创新基金资助项目(2011JC001)和高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20110131130002)

作者简介: 吴泽, 博士生, 主要从事自润滑刀具研究, E-mail: wuze263@sohu.com

通讯作者: 邓建新, 教授, 博士生导师, 主要从事切削加工、刀具技术及功能陶瓷产品研究, E-mail: jxdeng@sdu.edu.cn

刀面加工的为有限个不连续的微孔,切削过程中润滑剂的析出尚不能够形成完全覆盖刀/屑接触表面的润滑层。合理设计刀具前刀面刀/屑接触区的微造型的结构,促使润滑剂有效充分析出以形成完备的固体润滑层,将会进一步提高刀具的切削加工性能。

传统摩擦学认为,两个摩擦副表面越光滑,其摩擦磨损就越轻微。近年来,一些学者通过摩擦试验发现在一些特定工况下,经表面织构化处理的非光滑表面能够表现出更优越的减摩抗磨作用^[10-12]。笔者结合表面织构化处理的方法和固体润滑技术,提出了微织构自润滑刀具的设计理念。初步试验结果表明在刀具前刀面刀/屑接触区加工微织构并填充固体润滑剂具有降低切削力的作用。为进一步完善微织构自润滑刀具的设计理论和促进该刀具的实际应用,笔者继而进行了微织构的结构优化,系统研究了包括切削力、切削温度、切屑形态、刀具磨损等在内的刀具综合切削性能^[9]。

本文选用 WC 基硬质合金车刀作为基体材料,采用激光加工方法在刀具前刀面易磨损部位加工椭圆状微织构,填充 MoS_2 固体润滑剂,制备微织构自润滑车刀 (self-lubricating textured tools, 简称 STT)。运用 ANSYS 有限元软件仿真分析加工微织构对刀具刀尖处应力分布的影响。将 STT 刀具与传统车刀 (conventional tools, 简称 CT) 进行干切削 45 号钢的对比试验,研究切削力、切削温度、切屑变形及刀具前刀面磨损的变化规律。

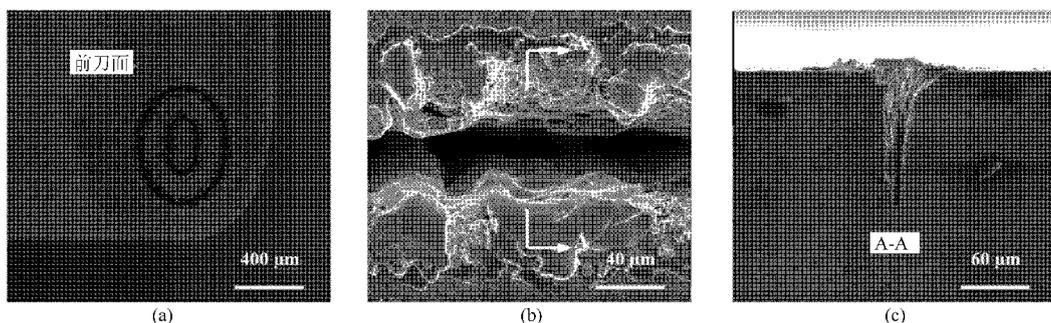


图1 刀具前刀面微织构形貌

Fig. 1 Micrographs of surface textures on the rake face of carbide insert

(a) 未填充润滑剂的微织构形貌 (b) 织构凹槽的放大形貌 (c) 织构凹槽的截面形貌

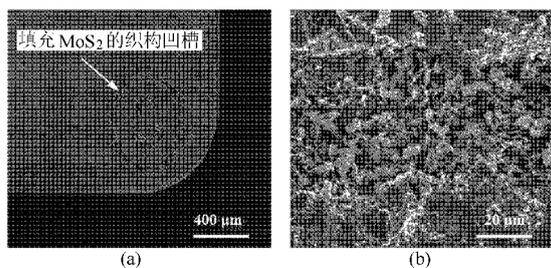


图2 微织构自润滑刀具形貌

Fig. 2 Micrographs of self-lubricating textured tools

(a) 刀尖形貌 (b) 填充 MoS_2 的凹槽显微形貌

1 微织构自润滑刀具的制备

为使切削过程中在刀/屑接触区形成完善的固体润滑层,在车刀前刀面加工与切屑流动方向近似垂直的连续微凹槽织构,同时,为了减少刀具前刀面受力时的应力集中,将微凹槽设计为封闭的椭圆状结构形式。综合考虑所设计表面织构加工的可控性、加工效率及加工精度的要求,结合实际研究条件,选择激光加工方法作为微织构的加工手段。

选用型号为 41605N 的 WC 基硬质合金车刀片作为基体材料,刀具材料的成分为 $\text{WC} + 6\% \text{TiC} + 4\% \text{TaC} (\text{NbC}) + 6\% \text{Co}$, 主要性能参数为:硬度 91.5 HRA, 抗弯强度 1 200 MPa, 弹性模量 580 GPa, 导热系数 $50.2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 热胀系数 $5.5 \times 10^{-6}/\text{K}$, 密度 $13.1 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。采用侧面泵浦 YAG 激光器在刀具前刀面易磨损区域加工椭圆状微织构,激光加工参数为:整机功率 50 W, 激光波长 1 064 nm, 脉冲宽度 20 ~ 50 ns, 脉冲重复频率 2 000 Hz, 加工速度 20 mm/s。刀具前刀面微织构形貌及微凹槽的截面形貌如图 1 所示,织构边界距切削刃约为 200 μm , 织构凹槽为锥形,其宽度和深度分别约为 50 μm 和 100 μm 。加工完微织构的试样用丙酮浸泡超声清洗 30 min, 去除凹槽中的激光烧蚀成分。在工具显微镜的观测下,使用特制的微小金属扁片向微织构凹槽中填充 MoS_2 固体润滑剂并压紧。制备的自润滑刀具 (STT) 刀尖形貌和填充润滑剂凹槽的显微形貌如图 2 所示。

2 微织构对刀尖应力分布影响的有限元分析

采用有限元方法,模拟切削力的静态加载,对比分析了微织构刀具和传统刀具的刀尖处应力分布情况。分析选用 ANSYS 有限元软件,单元模型选择为 8 节点 Solid45 三维实体单元,采用自由网格划分。STT 刀具和 CT 刀具实施相同的载荷和加载方式,载荷的数值由切削试验得到 (CT 刀具, 切削速度 $v = 180 \text{ m}/\text{min}$ 、进给量 $f = 0.1 \text{ mm}/\text{r}$ 、切削深度 $a_p =$

0.2 mm)。如图3所示,将主切削力 F_z (75 N)面分布加载在前刀面 $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 矩形边与切削刃及刀尖圆弧围成的区域;将切深抗力 F_y (70 N)和进给抗力 F_x (35 N)的合力面分布加载在主切削刃及刀尖圆弧下方后刀面上的 $1\text{ mm} \times 0.3\text{ mm}$ 区域。刀具材料^[13]的密度 $\rho = 13.1\text{ g/cm}^3$,弹性模量 $E = 580\text{ GPa}$,泊松比 $\mu_0 = 0.25$ 。

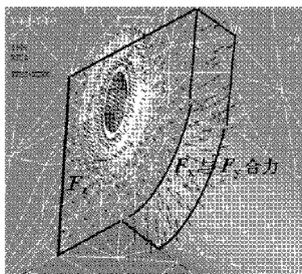
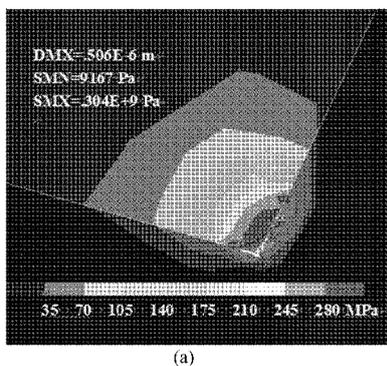
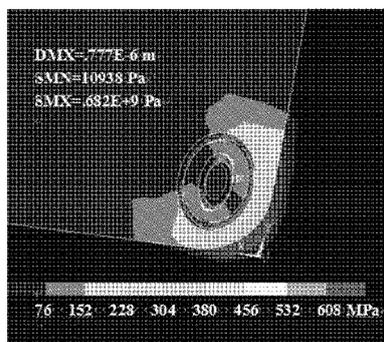


图3 切削力的施加模型

Fig.3 FEA model of load inflication



(a)



(b)

图4 刀尖应力分布有限元仿真结果

Fig.4 FEA analysis results of stress distribution on the rake faces

(a) CT (b) STT

表1 两种刀具刀尖处12节点等效米塞斯应力

Tab.1 Von Mises stress in 12 nodes along the main cutting edge of CT and STT tools

节点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CT	256.44	250.17	199.98	293.88	296.61	287.26	286.08	288.65	286.50	274.99	251.50	283.70
STT	287.72	244.16	206.63	301.87	308.26	301.33	297.01	308.18	306.00	289.60	255.76	278.04

3 车削试验

3.1 试验条件

车削试验在CA6140型车床上进行,工件材料为调质处理的45号钢(HRC30),车削方式为连续干式车削加工,使用的刀具为传统硬质合金刀具(CT)和微织构自润滑刀具(STT),两种刀具基体材料成分及刀具结构参数完全相同。刀具切削主要几何参数为:前角 $\gamma_0 = -5^\circ$,后角 $\alpha_0 = 5^\circ$,刃倾角 $\lambda_s = 0^\circ$,主偏角 $\kappa_r = 45^\circ$ 。切削条件:切削速度为180~300 m/min,进给量为0.1 mm/r,切削深度为0.2 mm,车削时间为3 min。采用KISTLER压电晶

两种刀具的刀尖应力分布有限元分析结果如图4所示。由图4a可见,传统刀具的最大等效米塞斯应力出现在刀尖点上,其值为304 MPa;图4b显示STT刀具的最大等效米塞斯应力出现在微织构凹槽里面,其值为682 MPa。微织构的存在使得刀具前刀面的最大等效米塞斯应力增加,但这个最大值仅出现在微织构凹槽底部的一个点,而且STT刀具相对较高的等效米塞斯应力分布区域极为微小,这种分布区域极小的相对较高的应力分布对刀具性能影响甚微。有限元分析得到的两种刀具的刀尖圆弧处12节点等效米塞斯应力如表1所示,比较两种刀具刀尖处的应力分布,发现应力差别不大,其值均在200~300 MPa之间。可见,微织构的存在对于刀具刀尖位置的应力分布无明显影响。

体测力仪测量三向切削力,使用TH5104型红外热像仪测量切削温度,使用VHX-600大井深三维显微系统观测切屑形态,使用扫描电子显微镜(SEM)观测刀具磨损形貌,使用X射线能谱仪(EDS)分析刀具前刀面磨损区域的元素成分及其分布情况。

3.2 试验结果

3.2.1 切削力

图5给出了在 $v = 300\text{ m/min}$, $f = 0.1\text{ mm/r}$, $a_p = 0.2\text{ mm}$ 切削条件下使用两种不同刀具得到的主切削力波动曲线,从图中可以看出采集的切削力在小范围内波动,使用微织构自润滑刀具获得的切削力要低于使用传统刀具获得的切削力。

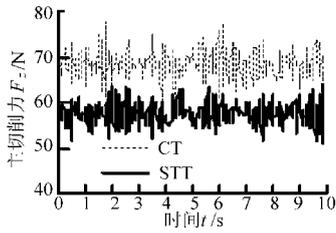


图 5 主切削力波形图

Fig. 5 Variations of main cutting force

测力仪采集的切削力在一个波动的范围内,将采样时间内得到的波动的切削力取平均值。两种刀具的平均三向切削力随切削速度变化规律如图 6 所示。可见,在试验切削速度范围内,三向切削力随切削速度的增加呈现略微下降的趋势;相同切削条件下,使用 STT 刀具获得的三向切削力明显小于 CT 刀具的三向切削力。对比不同切削速度下分别使用两种刀具获得的三向切削力,可以发现,使用微织构

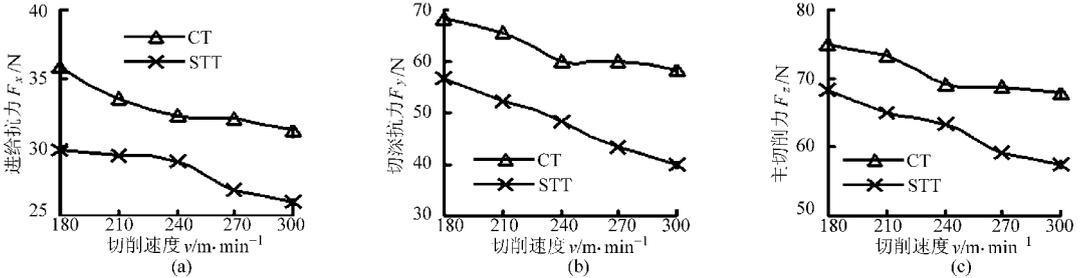


图 6 切削力随切削速度变化曲线

Fig. 6 Effect of cutting speed on the cutting forces

(a) 进给抗力 (b) 切深抗力 (c) 主切削力

自润滑刀具获得的进给抗力、切深抗力、主切削力相对使用传统刀具获得的对应三向切削力分别降低了 15% ~ 20%、20% ~ 30%、10% ~ 15%, 显然, 微织构自润滑刀具降低切深抗力的效果最为显著。

金属切削理论指出当后刀面作用力不大而可以忽略的情况下, 切削力及刀具切削几何角度之间近似满足 $F_y/F_z = \tan(\beta - \gamma_0)$ [14], β 为切削摩擦角, 根据这个关系很容易得到刀/屑平均摩擦因数 μ 的计算公式

$$\mu = \tan(\gamma_0 + \arctan(F_y/F_z)) \quad (1)$$

根据式(1)和不同切削条件下获得的切削力计算刀/屑平均摩擦因数, 获得了如图 7 所示的刀/屑平均摩擦因数随切削速度的变化规律。显然, 随着切削速度的增加, 刀/屑平均摩擦因数缓慢下降; 相同切削条件下, 使用 STT 刀具的平均刀/屑摩擦因数比传统刀具降低了 10% ~ 20%。

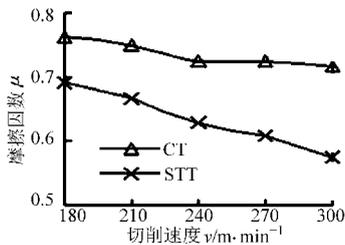


图 7 刀/屑平均摩擦因数随切削速度变化曲线

Fig. 7 Effect of cutting speed on the friction coefficient between chip and rake face

3.2.2 切削温度

使用 TH5104 型红外热像仪测量加工过程切削区的温度分布。将测量的切削温度分布中的最高温

度作为对应切削条件下的切削温度, 绘制得到了切削温度随切削速度的变化曲线如图 8 所示。由图 8 可以看出, 随着切削速度的增加, 切削温度逐渐升高; 相同切削条件下, STT 刀具的切削温度要小于 CT 刀具的切削温度, 降低 10% ~ 20%。

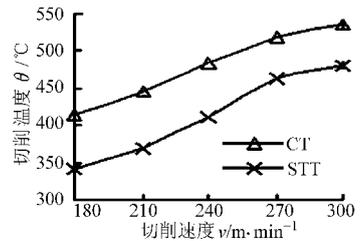


图 8 切削温度随切削速度变化曲线

Fig. 8 Effect of cutting speed on the cutting temperatures

3.2.3 切屑变形

图 9 为使用 VHX - 600E 大井深三维显微系统观察的在 $v = 240 \text{ m/min}$ 、 $f = 0.1 \text{ mm/r}$ 、 $a_p = 0.2 \text{ mm}$ 切削条件下得到的切屑宏观形貌, 可见, 使用传统刀具获得的切屑呈长直状, 而使用微织构自润滑刀具获得的切屑发生了明显的螺旋卷曲。

图 10 为使用大井深三维显微系统观测的在 $v = 180 \text{ m/min}$ 、 $f = 0.1 \text{ mm/r}$ 、 $a_p = 0.2 \text{ mm}$ 切削条件下得到的切屑微观形貌, 可见, 使用 STT 刀具获得的切屑厚度要小于使用 CT 刀具获得的切屑厚度。在每组试验获得的切屑上取 10 个位置测量切屑的厚度并计算平均值, 并除以切削厚度以计算切屑变形系数, 得到如图 11 所示的切屑变形系数随切削速度的变化规律。从图 11 可以看出, 切屑变形系数随着切削速度增加而逐渐减小; 相同切削条件下, 使用

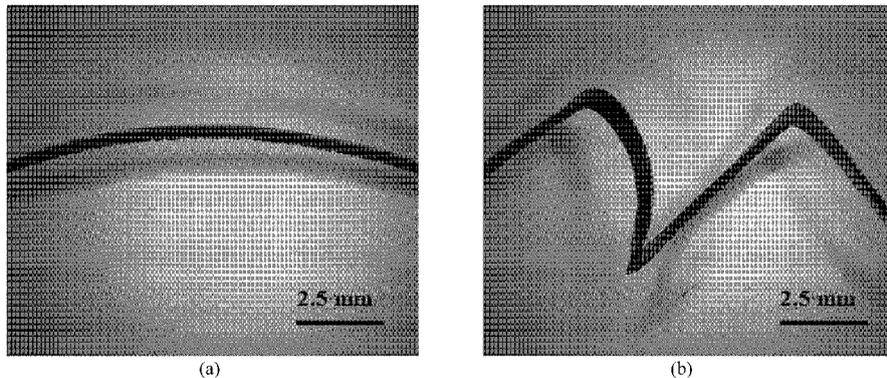


图9 切屑宏观形貌

Fig.9 Macro morphology of chips
(a) CT (b) STT

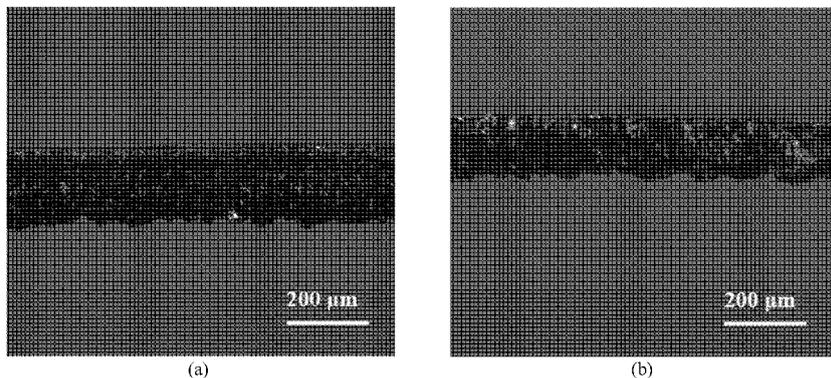


图10 切屑微观形貌

Fig.10 Micro morphology of chips
(a) CT (b) STT

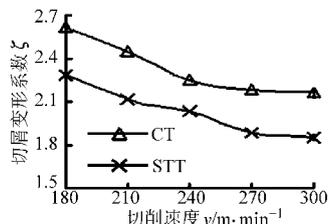


图11 切屑变形系数随切削速度的变化曲线

Fig.11 Effect of cutting speed on the chip deformation coefficient

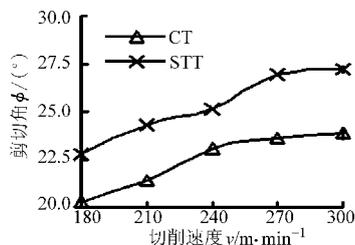


图12 剪切角随切削速度的变化曲线

Fig.12 Effect of cutting speed on shear angle

STT 刀具获得的切屑变形系数要小于使用 CT 刀具获得的切屑变形系数,切屑变形系数降低 10% ~ 15%。

文献[14]指出实际切削加工中,剪切角 ϕ 、切屑变形系数 ξ 和刀具前角 γ_0 之间近似满足 $\tan\phi = \cos\gamma_0 / (\xi - \sin\gamma_0)$, 根据此公式计算并得到了如图 12 所示的剪切角随切削速度变化曲线。由图 12 可见,随着切削速度增加,剪切角不断增大;相同切削条件下,STT 刀具切削的剪切角要大于 CT 刀具的剪切角。

3.2.4 刀具磨损

图 13 为在 $v = 240 \text{ m/min}$, $f = 0.1 \text{ mm/r}$, $a_p = 0.2 \text{ mm}$ 切削条件下分别使用 CT 刀具和 STT 刀具切

削 3 min 之后的刀具前刀面磨损形貌。图 13a 显示 CT 刀具前刀面磨损剧烈,出现了明显的磨损凹坑;相比之下,图 13b 显示的 STT 刀具的前刀面磨损相对轻微。显微镜测两种刀具沿切屑流动方向的前刀面磨损长度分别为 0.87 mm 和 0.64 mm。

3.3 讨论

切削试验结果显示:与传统刀具相比,微结构自润滑刀具能够降低三向切削力,降低切削温度,增加切屑卷曲,减小切屑变形,同时减缓刀具前刀面磨损。STT 刀具切削性能的改善归因于刀具前刀面的自润滑作用。图 14 为图 13b 中示意线位置对应的 S 元素和 Mo 元素线分布情况,可见,除结构凹槽中存有大量润滑剂 MoS_2 之外,在凹槽之外的前刀面上

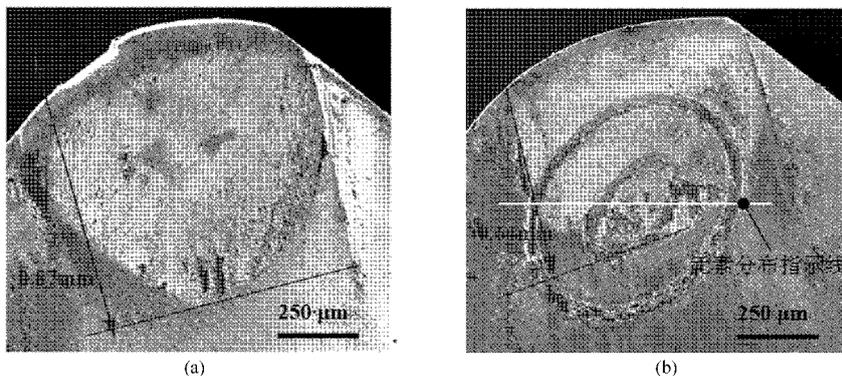


图13 刀具前刀面磨损形貌

Fig. 13 Micrographs of worn rake face after cutting

(a) CT (b) STT

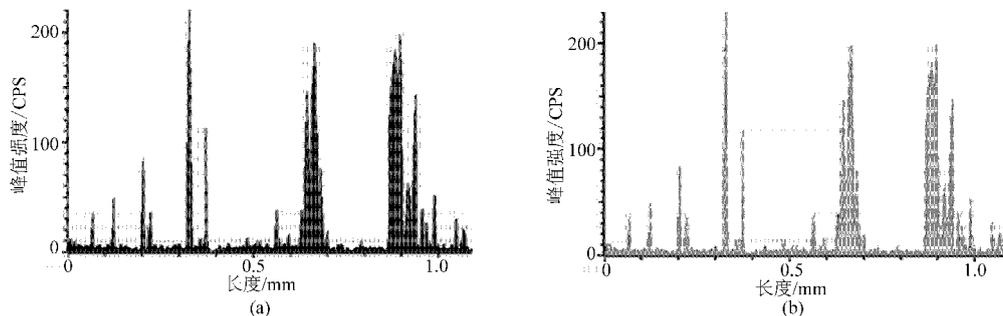


图14 前刀面S元素、Mo元素线分布

Fig. 14 Line distribution of S and Mo on the rake face

(a) S元素 (b) Mo元素

也分布相对少量的 MoS_2 。认为切削时切屑的摩擦挤压作用使凹槽中的润滑剂拖覆在前刀面上,形成润滑层,从而使 STT 刀具实现自润滑效果。

对于 STT 刀具,微织构凹槽的存在和前刀面润滑层的形成使得刀/屑实际接触面积 A_r 以及刀/屑平均摩擦剪切强度 τ_c 同时减小,文献[14~15]指出切削力与 A_r 以及 τ_c 均近似呈正比关系,切削温度与 A_r 以及 τ_c 也具有相同的变化趋势,因此,使用 STT 刀具能够降低切削力和切削温度。

前刀面润滑层的形成使得 STT 刀具与切屑的平均摩擦因数 μ 减小,摩擦角 β 减小,切削理论认为剪切角 ϕ 、摩擦角 β 以及刀具前角 γ_0 之间遵循 $\phi + \beta - \gamma_0 = C$ 的关系^[14],可见,前角 γ_0 一定的条件下,摩擦角 β 的减小使得剪切角 ϕ 增大。根据上式,剪切角增大将使切屑变形系数 ξ 减小,因此,理论上 STT 刀具将能够减小切屑变形。切削过程中,切屑的卷曲是一个复杂的过程,文献[16]研究认为切屑卷曲是由于切削过程中存在弯矩作用。前刀面上的切削合力与剪切面上的切削抗力大小相等、方向相反、不共线,从而形成弯矩,使切屑向背离前刀面的方向卷曲。前刀面上切削合力中的摩擦分力所产生的弯矩与使切屑卷曲的弯矩方向相反,摩擦力的减

小将有利于切屑的卷曲。因此,STT 刀具因减小刀/屑摩擦力而具有增加切屑卷曲的作用。前述的车削试验结果完全验证了这些结论。

切削加工是个复杂的过程,切削力、切削温度、切屑变形及刀具磨损之间存在相互影响。STT 刀具因减小切屑变形而降低剪切抗力和切屑剪切热量的生成,从而促进切削力和切削温度的下降。与相同基体材料未加工微织构的传统刀具相比,STT 刀具的磨损轻微,显然,这主要归因于 STT 刀具降低了切屑与前刀面的摩擦,同时,切削温度的降低也将有利于减轻刀具磨损。

4 结论

(1) STT 刀具能够降低切削力和切削温度,相同切削条件下,使用 STT 刀具的进给抗力、切深抗力、主切削力较传统刀具分别降低了 15%~20%、20%~30%、10%~15%,切削温度降低了 10%~20%。

(2) 与传统刀具相比,STT 刀具能够增加切屑卷曲并减小切屑变形,切屑变形系数降低 10%~15%。

(3) STT 刀具能够有效减缓刀具前刀面磨损。

参 考 文 献

- 1 刘志峰, 张崇高, 任家隆. 干切削加工技术及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- 2 Yang Fazhan, Zhao Jun, Ai Xing, et al. Effect of medium temperature on the dispersion of WC/ZrO₂/VC composite powders [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(4): 2 161 ~ 2 166.
- 3 Deng Jianxin, Liu Lili, Yang Xuefeng, et al. Self-lubrication of Al₂O₃/TiC/CaF₂ ceramic composites in sliding wear tests and in machining processes [J]. Materials and Design, 2007, 28(3): 757 ~ 764.
- 4 Renevier N M, Hampshire J, Fox V C, et al. Advantages of using self-lubricating, hard, wear-resistant MoS₂-based coatings [J]. Surface and Coatings Technology, 2001, 142 ~ 144: 67 ~ 77.
- 5 Li Bin, Deng Jianxin. Addition of Zr-O-B compounds to improve the performances of alumina matrix ceramic materials [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2009, 473(1 ~ 2): 190 ~ 194.
- 6 Deng Jianxin, Song Wenlong, Zhang Hui, et al. Performance of PVD MoS₂/Zr-coated carbide in cutting processes [J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2008, 48(14): 1 546 ~ 1 552.
- 7 Shuting Lei, Sasikumar Devarajan, Zenghu Chang. A study of micropool lubricated cutting tool in machining of mild steel [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(3): 1 612 ~ 1 620.
- 8 宋文龙, 邓建新, 吴泽, 等. 镶嵌固体润滑剂的自润滑刀具切削温度研究[J]. 农业机械学报, 2010, 41(1): 205 ~ 210.
Song Wenlong, Deng Jianxin, Wu Ze, et al. Cutting temperature of cemented carbides base self-lubricated tool embedded with solid lubricants [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(1): 205 ~ 210. (in Chinese)
- 9 吴泽, 邓建新, 亓婷, 等. 微结构自润滑刀具的切削性能研究[J]. 工具技术, 2011, 45(7): 18 ~ 22.
Wu Ze, Deng Jianxin, Qi Ting, et al. Study on cutting performance with micro-texturing self-lubricated tools [J]. Tool Engineering, 2011, 45(7): 18 ~ 22. (in Chinese)
- 10 Basnyat P, Luster B, Muratore C, et al. Surface texturing for adaptive solid lubrication [J]. Surface & Coatings Technology, 2008, 203: 73 ~ 79.
- 11 任露泉, 徐德生, 邱小明, 等. 仿生非光滑耐磨复合层的研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(3): 7 ~ 9.
Ren Luquan, Xu Desheng, Qiu Xiaoming, et al. Research on wear-resistant composite with bionic unsmooth surface [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Engineering, 2001, 17(3): 7 ~ 9. (in Chinese)
- 12 刘东雷, 孟小霞, 袁春俭, 等. 多种规则微造型表面摩擦特性的试验研究[J]. 润滑与密封, 2008, 33(7): 28 ~ 31.
Liu Donglei, Meng Xiaoxia, Yuan Chunjian, et al. Research on tribological performance of texturing surfaces [J]. Lubrication Engineering, 2008, 33(7): 28 ~ 31. (in Chinese)
- 13 肖诗纲. 刀具材料及其合理选择[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- 14 陈日耀. 金属切削原理[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- 15 中山一雄. 金属切削加工理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 1958.
- 16 傅华, 陈永洁, 李斌, 等. 带减摩槽刀片切削机理的试验研究[J]. 硬质合金, 2000, 17(3): 174 ~ 178.
Fu Hua, Chen Yongjie, Li Bin, et al. A trial research on the principle of cutting process of cutter with friction-decreased grooves [J]. Cemented Carbide, 2000, 17(3): 174 ~ 178. (in Chinese)