

刀具磨损形态对Ti6Al4V切削过程影响的有限元仿真研究*

徐锦泐, 黄祥辉, 陈明, 安庆龙

(上海交通大学机械与动力工程学院, 上海 200240)

[摘要] 应用有限元仿真方法研究了不同刀具磨损形态对钛合金切削过程的影响规律。首先根据实际刀具磨损尺寸建立前刀面月牙洼磨损为主、后刀面磨损为主、前后刀面同时磨损以及刃口钝化4种磨损类型,然后应用AdvantEdge软件建立磨损后硬质合金刀具切削Ti6Al4V的仿真模型并对其进行有限元分析。结果表明:前刀面月牙洼增大时刀尖处温度减小;后刀面磨损增大时工件表层拉应力增大,次表层压应力减小;前、后刀面同时磨损时,随着磨损程度的增大,切屑曲率半径明显减小,切削力增幅相比单一磨损有所减小;刃口钝化对切削力影响最大,当钝圆半径接近进给量时,耕犁效应变得十分明显。

关键词: 有限元仿真; Ti6Al4V; 切削加工; 刀具磨损; 月牙洼磨损

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2020.03.014



徐锦泐

工学博士、副教授、博士生导师,主要研究方向为复合材料精密切削技术、切削有限元仿真、微细加工、表面工程及多尺度制造。主持/参与国家自然科学基金、国家科技重大专项、上海市浦江人才计划等课题10余项,发表学术论文50余篇。

钛合金具有较高的比强度、良好的耐热性、耐腐蚀性、耐磨性等优点,被广泛应用于航空、航天、汽车、医疗、食品加工、海洋等领域^[1-2]。然而其难加工性一直是切削加工领域的重要问题,加工过程中刀具磨损较快,刀具磨损后带来的质量问题、安全问题是限制钛合金进一步发展应用的重要因素。因此,研究其切削加工时刀具磨损带来的影响具有十分重要的意义。目前国内外有关刀具磨损的研究主要集中在磨损机理和刀具寿命预测方面,其中应用较为广泛的为Taylor模型^[3]。Taylor模型在切削速度和刀具寿命之间建立映射关系,进而对刀具寿命进行预测,但此种经验模型无法对磨损中间过程进行描述。对此相关学者提出了基于磨损机理研究建立的理论模型,如考虑粘结磨损建立的Usui模型^[4],Binder等^[5]研究了磨粒含量对磨损

影响的回归模型, Molinari等^[6]提出了高速切削过程中扩散磨损的数学模型。随着计算机的发展,有限元仿真技术以其能够直观清晰地观察加工过程中切削力、切削温度以及应力、应变的变化过程,在切削加工中获得了广泛的应用^[7]。Salvatore等^[8]采用能量损失法定义单元格失效研究了硬质合金刀具在加工过程中的磨损,并提出了刀具前刀面磨损量的试验测量方法,前刀面磨损仿真结果与实际情况较为符合。Yan等^[9]基于Usui刀具磨损模型使用Abaqus软件研究了PCBN刀具加工GCr15时的磨损行为,仿真结果与实际磨损均表明刀具前刀面磨损较为严重。孙玉晶等^[10]基于Frick扩散定律构建刀具磨损模型,并通过AdvantEdge软件二次开发对硬质合金刀具加工钛合金时的刀具磨损进行了很好的预测。Attanasio等^[11]基于磨粒磨损

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(51705319)。

和扩散磨损构建刀具磨损模型,使用 Deform 软件预测了 AISI 1045 车削过程中的刀具磨损情况。王继森等^[12]使用 Deform 软件研究了 45 号钢车削过程中不同切削参数对硬质合金车刀磨损的影响规律。Li 等^[13]将刀具视为刚体,使用 Abaqus 研究了油淬工具钢正交切削时月牙洼几何尺寸对切屑形成的影响规律。陈燕等^[14]建立了基于钛合金高速切削的刀具磨损有限元模型,并通过硬质合金刀具车削试验进行了仿真验证。此外,王凯等^[15]对硬质合金刀具车削 TC4 时产生的月牙洼磨损进行了定量化试验研究,并得出切削速度是影响月牙洼磨损的主导因素。以上研究主要集中在刀具磨损寿命预测以及刀具磨损影响因素方面,有关钛合金加工过程中刀具磨损形貌对其切削过程影响的研究却鲜有报道。

为此,本文应用专用切削仿真软件 AdvantEdge 研究了钛合金切削时月牙洼磨损、后刀面磨损以及刃口钝化对其加工过程的影响。首先对刀具磨损后的具体形貌进行简化,然后建立相应的刀具磨损模型,最后分析了不同刀具磨损形貌对钛合金切削过程中应力、温度、残余应力分布的影响规律。

有限元建模

切削仿真使用的工具为美国 Third Wave Systems 公司开发的切削有限元建模软件 AdvantEdge,以及集成的 Amtec Engineering 公司的分析软件 Tecplot。该软件基本仿真流程为:建立几何模型→赋予材料属性→设置加工参数→划分网格→求解→后处理分析。

钛合金切削加工常用刀具为

K 类硬质合金,性能参数如表 1 所示。加工时的刀具磨损形式主要有前刀面磨损、后刀面磨损以及刃口钝化,简化的刀具磨损如图 1 (a) 所示,其中 KM 和 KT 分别代表前刀面月牙洼中心到切削刃距离和月牙洼深度,VB 为后刀面磨损带宽度。切削仿真所选择的工件材料为 Ti6Al4V (TC4),尺寸设置为 3.0mm × 0.5mm,材料属性如表 2 所示。所用本构模型为 Power Law 模型: $\sigma(\epsilon^p, \dot{\epsilon}, T) = g(\epsilon^p) \Gamma(\dot{\epsilon}) \Theta(T)$, 式中 $\sigma(\epsilon^p, \dot{\epsilon}, T)$ 为工件材料的流动应力, $g(\epsilon^p)$ 为应变强化函数, $\Gamma(\dot{\epsilon})$ 为应变率效应函数, $\Theta(T)$ 为热软化函数, ϵ^p 为变形过程中的应变, $\dot{\epsilon}$ 为材料变形过程中的应变率, T 为变形过程中的温度。可从 AdvantEdge 软件材料库中直接导入 Ti6Al4V 材料模型,无须输入具体本构参数。同时赋予刀具 K 类硬质合金材料属性,刀具几何参数设置为前角 5°、后角 7°、钝圆

半径 0.02mm,网格划分如图 1 (b) 所示。根据 Ti6Al4V 常规车削加工参数设置进给量为 0.10mm/rev,切削速度为 60m/min,背吃刀量为 1mm。根据参考文献 [8,15] 中刀具磨损测量值,制定如表 3 所示的刀具磨损仿真方案,并建立相应的刀具几何模型导入到 AdvantEdge 软件中。

结果与讨论

1 前刀面月牙洼磨损

切削加工过程中刀具前刀面、后刀面、切削刃会发生磨损,但磨损程度会有所不同。为区分不同区域造成的影响,首先考虑前刀面发生月牙洼磨损,并忽略后刀面磨损以及刃口钝化,其磨损程度如表 3 中方案 2~4。刀具无磨损和前刀面磨损切削仿真温度云图如图 2 所示,最高温度约为 700°C 左右,与参考文献 [14] 中结果相近。为了对比不同磨损情况对刀具温度分布的影响,将各云图

表1 K类硬质合金刀具材料特性

Table 1 Material characteristics of the K-class carbide tools

牌号	硬度 HRA	抗弯强度 σ_{wb}/MPa	密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	杨氏模量 E/GPa	热膨胀系数 $\alpha_T/^\circ\text{C}^{-1}$	抗压强度 σ_{bc}/MPa
YG8	89.5	1600	14.5	600	4.5×10^{-6}	4470

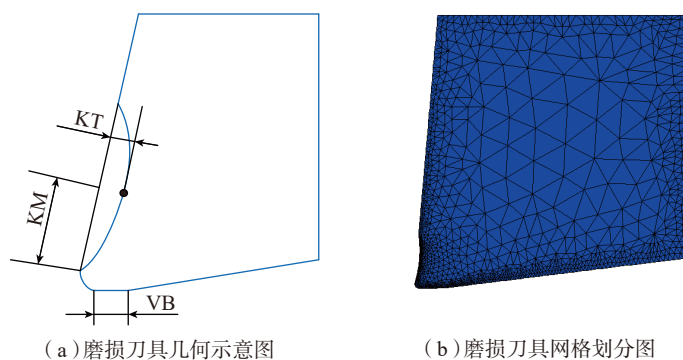


图1 刀具磨损形貌示意图

Fig.1 Schematic diagrams of the worn tool morphologies

表2 Ti6Al4V的材料属性

Table 2 Material properties of Ti6Al4V

密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	杨氏模量 E/GPa	泊松比 ν	热膨胀系数 $\alpha_T/^\circ\text{C}^{-1}$	熔点 $T_m/^\circ\text{C}$	导热系数 $\lambda/(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$	比热容 $c_p/(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$	屈服强度 $\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	抗拉强度 σ_b/MPa
4.43	113	0.342	9.05×10^{-6}	1680	7.235	526.3	824	902

表3 仿真所用刀具磨损模型参数

Table 3 Parameters of the tool wear models used in the simulation

磨损类型	磨损方案	KM/mm	KT/mm	VB/mm	钝圆半径 R/mm
无磨损	1	0	0	0	0.02
前刀面磨损	2	0.07	0.007	0	0.02
	3	0.09	0.009	0	0.02
	4	0.11	0.011	0	0.02
后刀面磨损	5	0	0	0.065	0.02
	6	0	0	0.095	0.02
	7	0	0	0.125	0.008
前后刀面均磨损	8	0.07	0.007	0.07	0.02
	9	0.09	0.009	0.09	0.02
	10	0.11	0.011	0.11	0.02
刃口钝化	11	0	0	0	0.06
	12	0	0	0	0.1

中温度标尺统一设置为 50~700°C。

对比磨损刀具和未磨损刀具切削钛合金的过程可见：刀具没有磨损时刀尖处红色高温面积较大，磨损后刀尖处红色高温区域面积变小，但切屑上出现长条状红色高温带，且随着磨损程度的加剧，红色高温区域沿着切屑向上扩展。这是由于刀具前刀面出现月牙洼磨损后，某种程度上增加了刀具前角；同时工件材料流入月牙洼内，从而减少了材料在第一切削变形区经历的剪切变形，剪切应变能减少，故刀尖处温度有所降低，但切屑与刀具接触长度变长，摩擦能增加，故切屑上红色高温区面积增大。对比不同月牙洼大小可以发现：

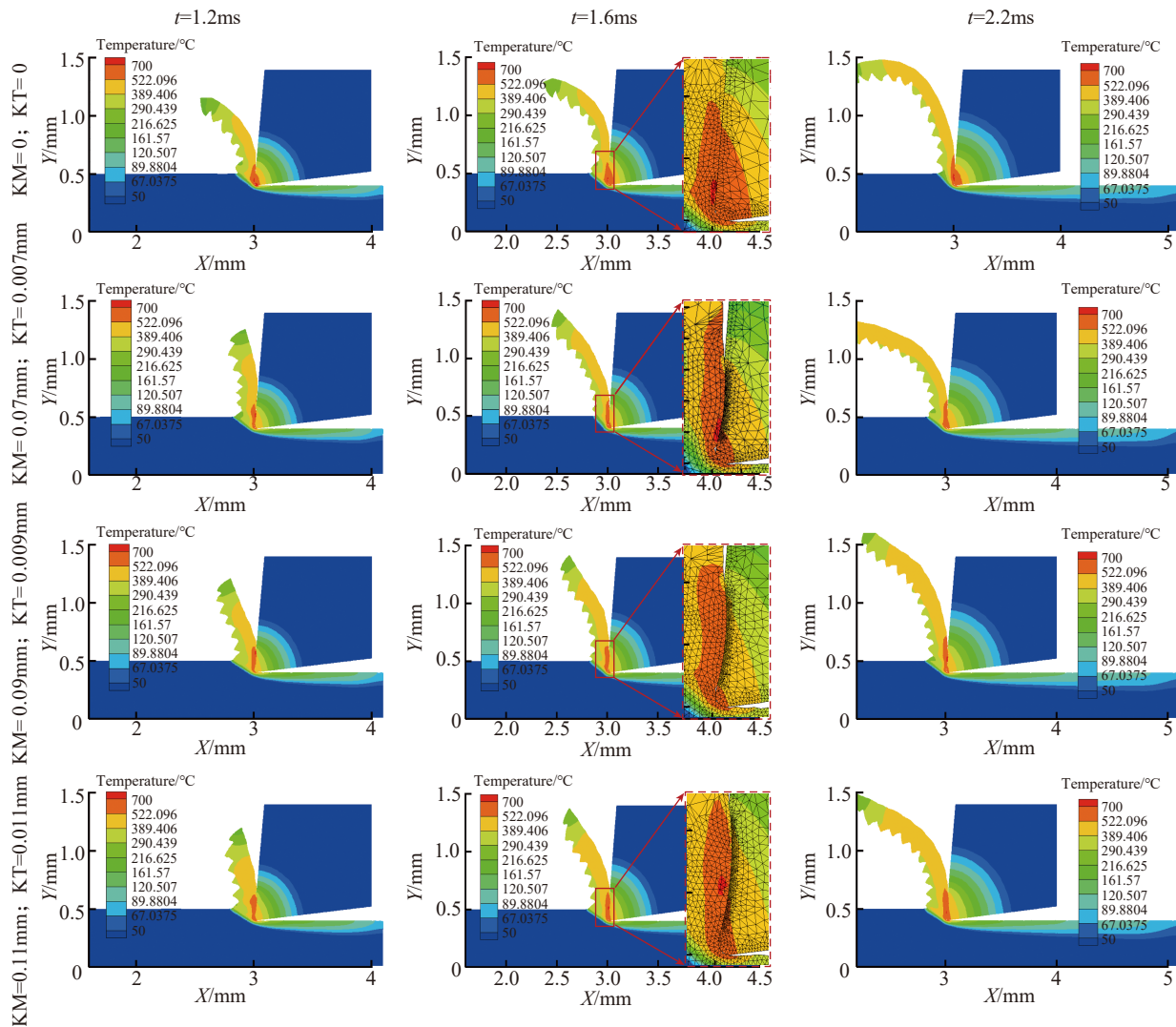


图2 刀具切削温度分布云图 (磨损方案1~4)

Fig.2 Contours of the tool cutting temperature distribution (wear cases 1~4)

当 $t=1.2\text{ms}$ 时,从刀具无磨损切削温度云图中可以明显看出切屑卷曲,磨损后切屑长度变短,卷曲程度变小,且随着磨损程度的增大,切屑厚度有一定的变大。当 $t=1.6\text{ms}$ 和 2.2ms 时也能看出随着月牙洼磨损的增大,切屑曲率半径有增大的趋势^[13],这是因为切屑流入月牙洼后,切屑流动方向有所改变。磨损越严重,月牙洼深度越大,相当于前角越大,月牙洼越长,切屑以较大曲率半径流动的时间越长,继续沿着前刀面流动,当流到月牙洼后缘时切屑方向再次发生改变,磨损越严重,月牙洼长度、宽度也变大,切屑在月牙洼内流动的距离变长,使得切屑弯曲程度减小,但由于月牙洼尺寸较小,故无磨损刀具相比有磨损刀具切削时切屑曲率半径变化较为明显,磨损后有增大的趋势,但变化程度较小。

将图2中 $t=1.6\text{ms}$ 时的刀尖局部放大,大小统一为 $0.28\text{mm} \times 0.15\text{mm}$,然后将前刀面上刀尖附近点的温度数据导出,如图3所示。其中实心标记为曲线最高点,横坐标为该单元到刀尖点的距离,通过测量可以得到前刀面温度最高点距离刀尖的距离,依次是 0.096mm 、 0.036mm 、 0.03mm 、 0.024mm ,可以明显看出温度最高点随着磨损加剧不断向刀尖点前移,同时由于月牙洼减少了切屑与前刀面之间的剪切滑移时间,刀具温度有所下降。

2 后刀面磨损

考虑后刀面磨损为主要磨损形式,忽略前刀面磨损,按照表3中磨损方案5、6、7所示参数进行切削有限元仿真,结果如图4所示。当 $t=1.7\text{ms}$ 时,锯齿形切屑处于萌生并不断生长阶段,第一变形区整体为红色应力较大区域,整个锯齿形成并继续向上移动时,由于绝热剪切带的作用,第一变形区上方应力减小,红色高应力区主要集中在下方,如 1.6ms 和 1.8ms 时应力云图所示^[16]。与切屑相互作用的刀具应力也呈现相似变化规律。

当 $t=1.6\text{ms}$ 和 1.8ms 时红色高应力区域主要集中在刀尖附近,当 $t=1.7\text{ms}$ 时红色面积扩大,并主要沿后刀面方向扩展。对比刀具后刀面的不同磨损情况,当 $VB=0.065\text{mm}$ 、 0.095mm 时应力分布同无磨损时并未有太大变化;当 $VB=0.125\text{mm}$ 时,可以看出红色高应力区域显著扩展,且沿后刀面扩展更加明显。刀具后刀面应力变大必然会对工件表面应力产生显著影响,导出加工后工件表面残余应力如图5所示。可以看出随着后刀面磨损的加剧,工件表层拉应力逐渐变大,次表层残余压应力逐渐减小。此外,观察图4中磨损方案1、5、6的结果可以看出随着后刀面磨损的加剧,切屑弯曲曲率半径逐渐减小,这是由于接触长度增大, X 方向切削力显著增大,作用在切屑水平方向上的力增大,故曲率半径减小,而磨损方案7中切屑曲率半径变大的趋势则是由于刀具钝圆半径变小,使刀尖前角发生了变化。

3 前后刀面同时磨损

钛合金切削过程中也存在前后刀面同时磨损较严重的情况,按照表3中磨损方案8~10所示参数进行切削有限元仿真,结果如图6所示。对比图4中刀具无磨损时切屑形态可以看出:当前后刀面均磨损时,切屑弯曲程度减小,曲率半径增

大与前刀面、后刀面单一磨损对切屑的影响规律相一致。对比图6中不同磨损程度的仿真结果,当 $t=1.6\text{ms}$ 时随着刀具磨损的加剧,切屑曲率半径减小,切屑变厚,同时由于切屑长度减少锯齿也明显减少。此时,当 $KM=0.07\text{mm}$ 、 $KT=0.007\text{mm}$ 、 $VB=0.065\text{mm}$ 时,切屑有10个锯齿;当 $KM=0.09\text{mm}$ 、 $KT=0.009\text{mm}$ 、 $VB=0.095\text{mm}$ 时,切屑有9个锯齿;当 $KM=0.11\text{mm}$ 、 $KT=0.011\text{mm}$ 、 $VB=0.125\text{mm}$ 时,切屑有8个锯齿,即切屑变形程度加剧。由于锯齿数目发生变化,相应产生的时间点也发生变化。当 $t=1.6\text{ms}$ 时,磨损方案8处于上一个锯齿弯曲成形与下一个锯齿刚开始萌生的阶段,此时变形能最大,刀尖和工件红色高应力区域明显,方案9则是处于一个锯齿接近结束的时候,方案10位于二者之间。同时也可以看出随着磨损加剧,切屑曲率半径有减小的趋势,且减小程度较为明显,与后刀面单一磨损变化规律相似,分析认为:当仅有前刀面磨损时,月牙洼磨损使切屑变厚,切屑弯曲相对于无磨损需要更多的能量,故切屑曲率半径有增大的趋势;当仅有后刀面磨损时,切削力增大主要体现在切削方向,对切屑曲率半径有较大影响。当前后刀面同时磨损时,具体表现为:随着磨损加剧,切屑明显变

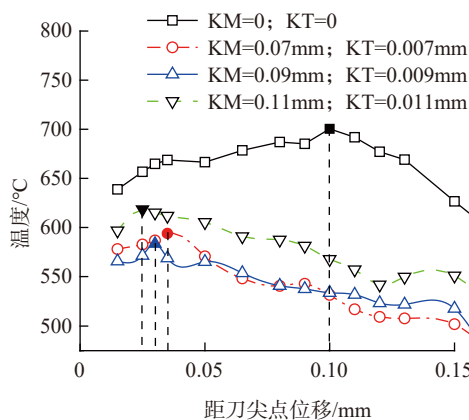


图3 不同磨损方案下前刀面刀尖处温度变化图

Fig.3 Temperature variations of the edge tip zones at the tool rake faces under different wear cases

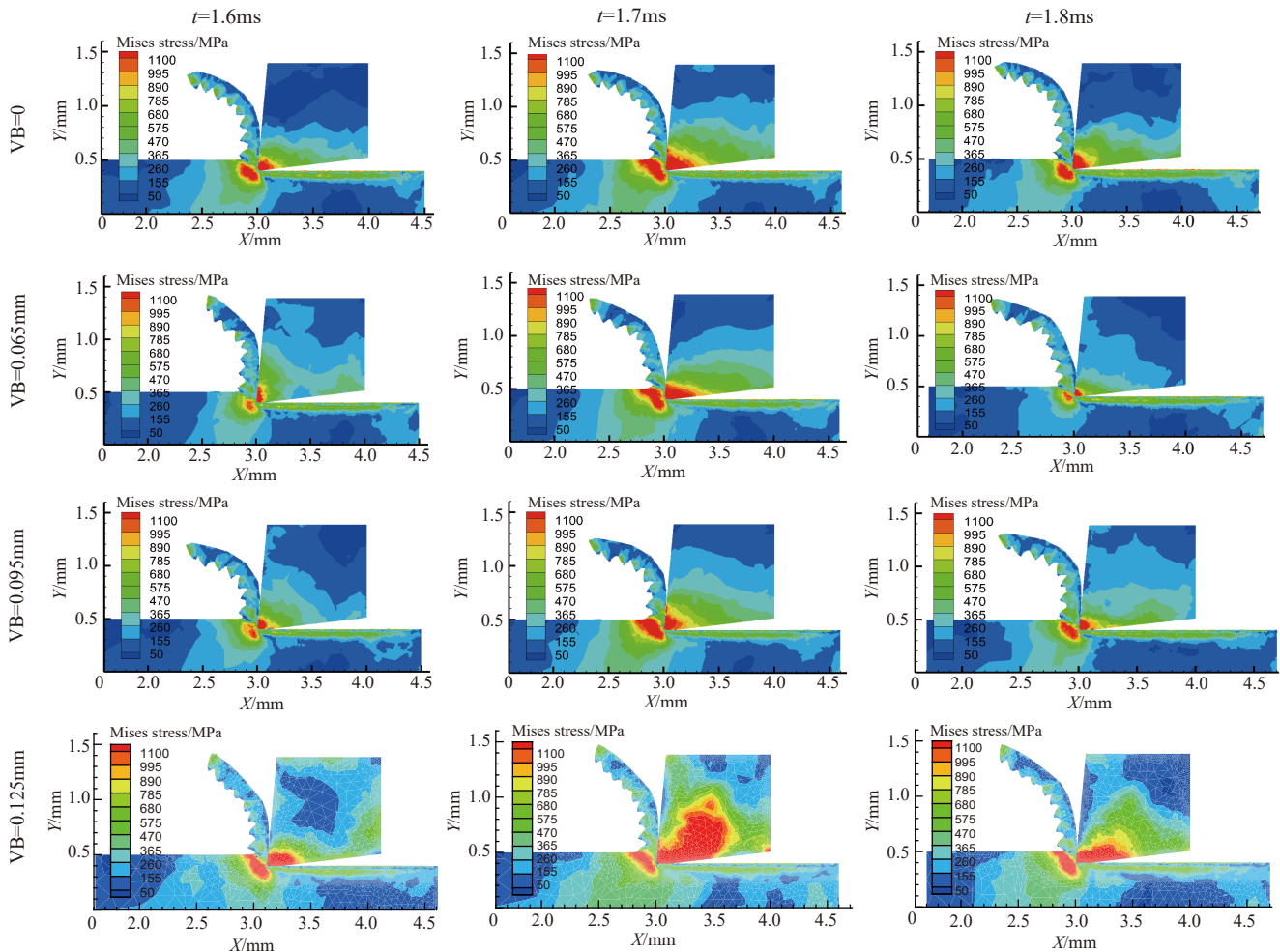


图4 刀具von Mises应力分布云图(磨损方案1、5、6和7)

Fig.4 Contours of the tool von Mises stress distribution (wear cases 1, 5, 6 and 7)

厚,曲率半径也变小。

4 刃口钝化

刃口钝化简化为刀尖锐圆半径的增大,按照表3中磨损方案1、11和12所示参数进行切削有限元仿真,结果如图7所示。对比图7中 $R=0.02\text{mm}$ 和 0.06mm 的应力分布云图可以看出,切屑曲率半径减小,但通过 $R=0.06\text{mm}$ 和 0.10mm 时的结果对比可以发现,后者曲率又增加了,但可以明显看出切屑变薄了^[17]。这是由于当 $R=0.10\text{mm}$ 时,刀具钝圆半径已与进给量相当,使得切削过程中的耕犁效应加强,从而影响了切屑曲率半径。图8给出了不同刃口钝化程度对钛合金已加工表面残余应力的影响作用。从残余应力分布曲线可以看出:当钝圆半径变大时,表层残余拉应

力变化不大,次表层残余压应力大小也没有太大变化,但次表层压应力深度明显增大,进一步说明刃口钝圆半径增大会导致耕犁效应的增强。

5 切削力分析

选取钛合金切削仿真稳定区域,

并对该区域的切削力求取平均值。不同刀具磨损方案对钛合金稳定切削过程中切削力的影响如图9所示。在二维正交切削模型中, F_x 为垂直于切削刃和基面的切削力(切向力), F_y 为处于基面内并垂直于切削刃的

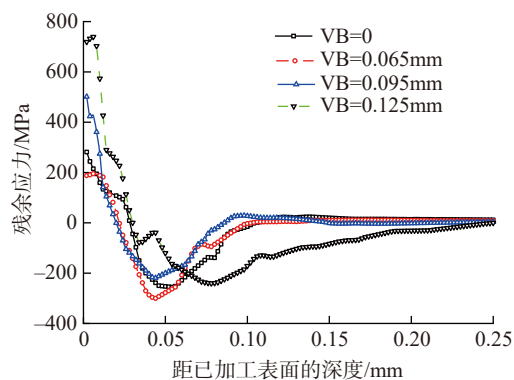


图5 后刀面磨损对钛合金残余应力的影响

Fig.5 Effects of the flank wear extents on the Ti6Al4V residual stresses

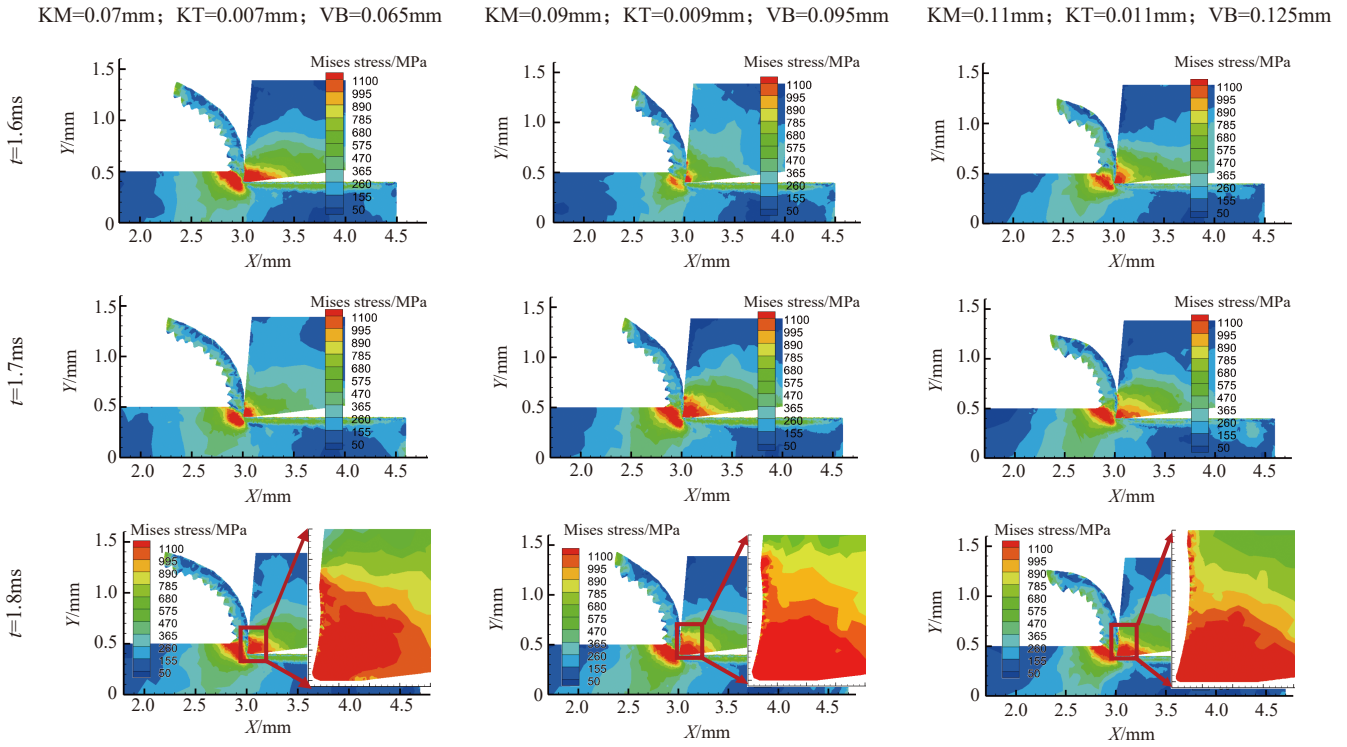


图6 刀具von Mises应力分布云图(磨损方案8~10)
Fig.6 Contours of the tool von Mises stress distribution (wear cases 8-10)

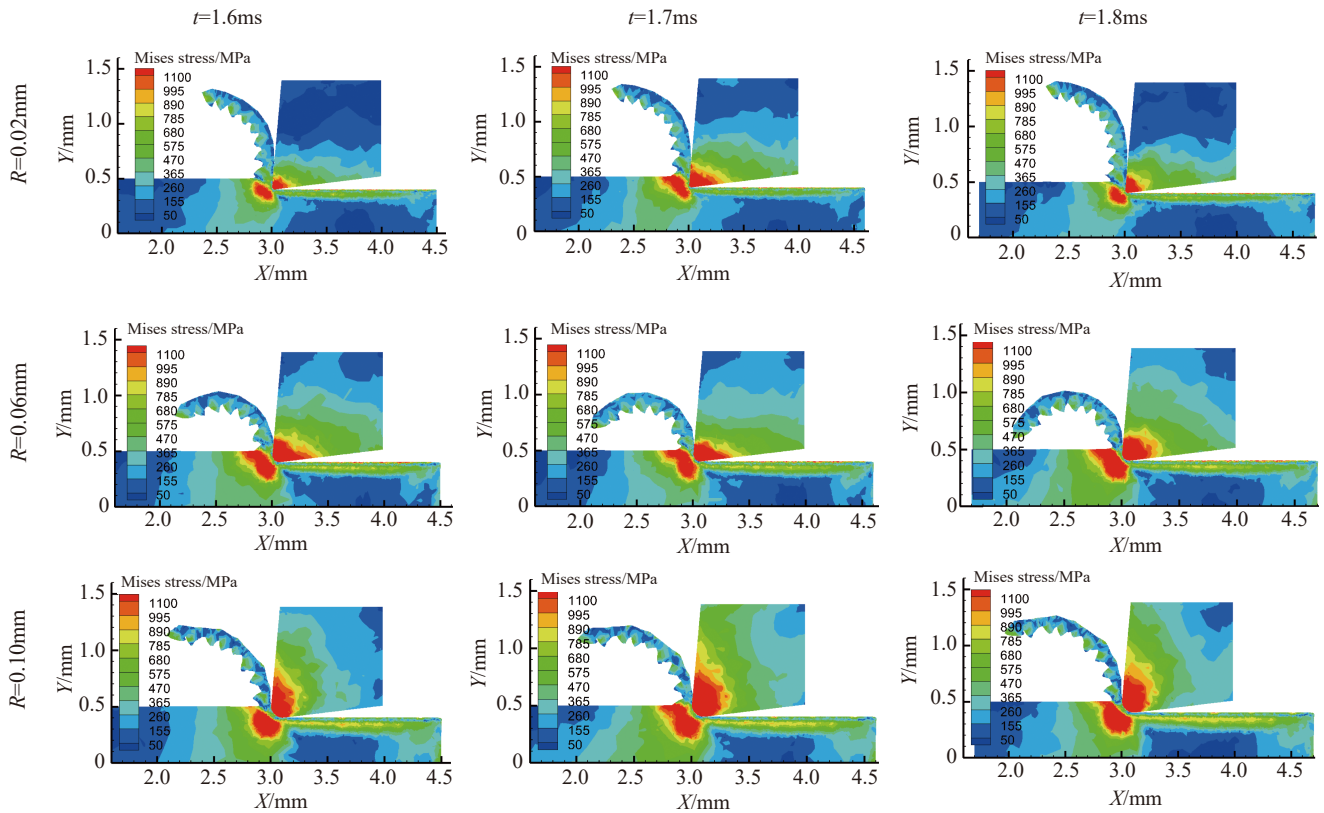


图7 刀具von Mises应力分布云图(磨损方案1、11和12)
Fig.7 Contours of the tool von Mises stress distribution (wear cases 1, 11 and 12)

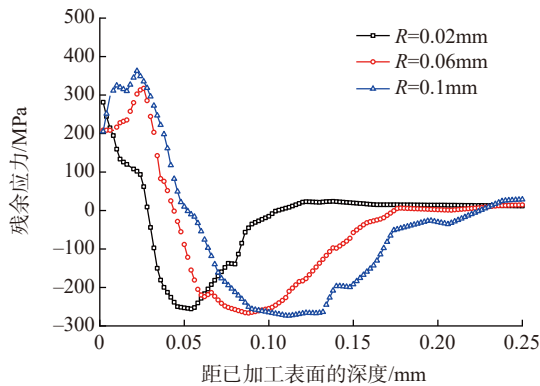


图8 刃口钝化对钛合金残余应力的影响
Fig.8 Effects of the edge blunting on the Ti6Al4V residual stresses

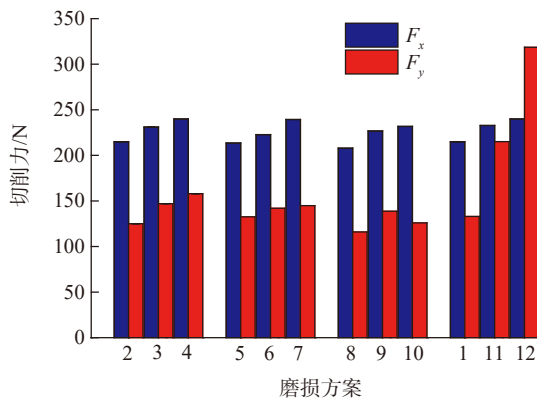


图9 不同刀具磨损程度对钛合金切削力的影响
Fig.9 Effects of different tool wear extents on the cutting forces of Ti6Al4V

进给力(轴向力或走刀力)。刀具没有磨损以及磨损较轻时,切削力 F_x 为 220N 左右,进给力 F_y 为 135N 左右,同参考文献 [18] 结果相近。根据方案 2、3、4 的对比可以看出:随着月牙洼磨损的加剧,切削力和进给力整体增大;根据方案 5、6、7 的对比可以看出:切削力和进给力随着后刀面磨损的增大而增大,但进给力增大幅度较小。根据方案 8、9、10 的对比可以看出:当刀具前后刀面均磨损时,切削力有增大的趋势,但是没有前两种磨损结果增大得快,进给力则出现先增大后减小的趋势,这是由于当前后刀面同时磨损时在某种程度上使得刀尖变得更锋利了,从应力云图可以看出刀尖处应力值显著增

大,此时极易发生崩刃。根据方案 1、11、12 的对比可以看出:刀尖钝化对进给力影响十分显著,当钝圆半径与进给量相当时,进给力大于切削力,此时耕犁效应加剧,分析已加工工件表面残余应力也可以发现残余应力的作用深度变大了。

结论

通过建立不同磨损形貌的刀具并进行钛合金的切削仿真,分析了前刀面、后刀面磨损以及切削刃钝化等磨损方式对钛合金切削力、切削温度、切削应力分布以及已加工表面残余应力的影响规律,得到如下 4 点结论:

(1)当前刀面磨损为主要磨损形式时,随着月牙洼磨损的增大,刀尖处

高温区域减小,同时切屑厚度增大。

(2)当后刀面磨损为主要磨损形式时,随着后刀面磨损的加剧,工件表层拉应力逐渐变大,次表层残余压应力逐渐减小,当 $VB=0.125\text{mm}$ 时,后刀面高应力区域快速扩展。

(3)当前后刀面同时磨损时,切屑厚度明显增大,切削曲率半径逐渐减小,变形能显著增大导致刀尖处温度增加,此时刀尖极易发生崩刃。

(4)当刀具为单一前刀面或后刀面磨损时,切削力均随着磨损程度的增大而增大;当前后刀面磨损程度相当时,切削力增加幅度反而有所降低。切削刃钝化对切削力影响最大,当切削刃钝圆半径接近进给量时,耕犁效应变得十分明显。

参考文献

[1] MYERS J R, BOMBERGER H B, FROES F H. Corrosion behavior and use of titanium and its alloys[J]. Journal of the Minerals, Metals and Materials Society, 1984, 36(10): 50-60.

[2] LIU X, CHU P K, DING C. Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for biomedical applications[J]. Materials Science and Engineering: R: Reports, 2004, 47(3/4): 49-121.

[3] TAYLOR J. The tool wear-time relationship in metal cutting[J]. International Journal of Machine Tool Design and Research, 1962, 2(2): 119-152.

[4] USUI E, SHIRAKASHI T, KITAGAWA T. Analytical prediction of cutting tool wear[J]. Wear, 1984, 100(1-3): 129-151.

[5] BINDER M, KLOCKE F, DOEBBELER B. Abrasive wear behavior under metal cutting conditions[J]. Wear, 2017, 376-377, Part A: 165-171.

[6] MOLINARI A, NOUARI M. Modeling of tool wear by diffusion in metal cutting[J]. Wear, 2002, 252(1): 135-149.

[7] 张松, 李斌训, 李取浩, 等. 切削过程有限元仿真研究进展[J]. 航空制造技术, 2019, 62(13): 14-27.

ZHANG Song, LI Binxun, LI Quhao, et al. Progress in finite element simulation of cutting process[J]. Aeronautical Manufacturing

Technology, 2019, 62(13): 14–27.

[8] SALVATORE F, SAAD S, HAMDI H. Modeling and simulation of tool wear during the cutting process[J]. Procedia CIRP, 2013, 8: 305–310.

[9] YAN F G, YUE C X, LIU X L, et al. 2D FEM estimate of tool wear in hard cutting operation: Tool wear and simulation of hard cutting process under steady state[J]. Advanced Materials Research, 2009, 69/70: 306–310.

[10] 孙玉晶, 孙杰, 李剑峰. 钛合金铣削加工刀具磨损有限元预测分析[J]. 机械工程学报, 2016, 52(5): 193–201.

SUN Yujing, SUN Jie, LI Jianfeng. Finite element analysis on prediction of tool wear in milling titanium[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2016, 52(5): 193–201.

[11] ATTANASIO A, UMBRELLA D. Abrasive and diffusive tool wear FEM simulation[J]. International Journal of Material Forming, 2009, 2(1): 543–546.

[12] 王继森, 邓远超, 江平, 等. 基于回归正交设计的刀具磨损研究[J]. 工具技术, 2011, 45(9): 20–22.

WANG Jisen, DENG Yuanchao, JIANG Ping, et al. Tool wear research based on orthogonal designs of regression[J]. Tool Engineering, 2011, 45(9): 20–22.

[13] LI K, GAO X L, SUTHERLAND J W. Finite element simulation of the orthogonal metal cutting process for qualitative understanding of the effects of crater wear on the chip formation process[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 127(3): 309–324.

[14] 陈燕, 杨树宝, 傅玉灿, 等. 钛合金 TC4 高速切削刀具磨损的有限元仿真[J]. 航空学报, 2013, 34(9): 2230–2240.

CHEN Yan, YANG Shubao, FU Yuchan, et al. FEM stimulation of tool wear in high speed cutting of Ti6Al4V[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2013, 34(9): 2230–2240.

[15] 王凯, 孙剑飞, 杜大喜, 等. 硬质合金刀具月牙洼磨损定量实验研究[J]. 兵工学报, 2017, 38(8): 1578–1585.

WANG Kai, SUN Jianfei, DU Daxi, et al. Quantitative experimental analysis on

crater wear of cemented carbide tools[J]. Acta Armamentarii, 2017, 38(8): 1578–1585.

[16] WANG H, TO S, CHAN C Y, et al. A study of regularly spaced shear bands and morphology of serrated chip formation in microcutting process[J]. Scripta Materialia, 2010, 63(2): 227–230.

[17] YANG S C, ZHENG M L, FAN Y H, et al. Influences of cutting edge radius on cutting deformation in high-speed machining Ti6Al4V[J]. Advanced Materials Research, 2011, 305: 47–52.

[18] 石莉, 刘朋和, 姜增辉, 等. YBM251 车削 TC4 钛合金切削力与刀具磨损的试验分析[J]. 制造技术与机床, 2014(5): 95–98.

SHI Li, LIU Penghe, JIANG Zenghui, et al. Test analysis of cutting force and wear on TC4 titanium alloy turning by YBM251[J]. Manufacturing Technology and Machine Tool, 2014(5): 95–98.

通讯作者: 徐锦阳, E-mail: xujinyang@sjtu.edu.cn.

Finite Element Study on Effects of Tool Wear Patterns on the Machining Process of Ti6Al4V

XU Jinyang, HUANG Xianghui, CHEN Ming, AN Qinglong

(School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

[ABSTRACT] The effects of different tool wear patterns on the machining process of titanium alloys were investigated via the finite element simulation method. Initially, four kinds of tool wear patterns including the crater wear dominated pattern, the flank wear dominated pattern, the combined crater and flank wear dominated pattern and the edge blunting dominated pattern were established according to the actual tool wear geometrical dimensions. Then, the AdvantEdge software was used to develop the numerical models of machining Ti6Al4V using worn cemented carbide tools and to conduct the finite element analysis. The results indicate that the edge tip temperature decreases as the crater wear increases, the tensile stresses on the workpiece surface increase but the compressive stresses reduce as the flank wear increases. In the case of the combined crater and flank wear, the chip radius was decreased significantly as the tool wear extent intensifies. The edge blunting was found to have the most significant impact on the cutting forces, and the plowing effects become more pronounced when the edge radius is close to the feed rate.

Keywords: Finite element simulation; Ti6Al4V; Machining process; Tool wear; Crater wear

(责编 李丹)