

聚碳酸酯振动切削温度仿真与试验研究

杨亮, 孙明杰

大连交通大学机械工程学院

摘要: 聚碳酸酯具有某些金属材料的性能,能够承受一定的外力,具有良好的机械性能并运用广泛。由于聚碳酸酯属于难加工材料,在加工过程中不易被切削。本文通过参数化建模,建立了聚碳酸酯超声振动车削(UVT)的有限元模型,选择合适的材料、参数及角度,建立了能够反应不同车削速度以及多种工况的有限元模型。观察在不同车削速度下聚碳酸酯材料与刀具接触点温度曲线以及温度场的变化,对聚碳酸酯微观表面进行分析。

关键词: 聚碳酸酯;普通车削;振动车削;有限元模拟

中图分类号: TG506.5;TQ342.2 文献标志码: A DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2021.11.009

Simulation and Experimental Study on Vibration Cutting Temperature of Polycarbonate

Yang Liang, Sun Mingjie

Abstract: Polycarbonate has the properties of some metal materials, can withstand certain external force, has good mechanical properties. So it is widely used. Polycarbonate belongs to difficult-to-machine material, it is not easy to be cut in machining process. Through the parameterized modeling, finite element model of the ultrasonic vibration turning (UVT) is built up. By electing the appropriate materials and parameters, finite element model which can respond different cutting speed and various working condition is established. The temperature curve of contact point between polycarbonate and tool and the change of temperature field are observed, the micro surface of polycarbonate is analyzed.

Keywords: polycarbonate; ordinary turning; vibration turning; finite element simulation

1 引言

随着科技的发展,非金属材料的一些优于金属材料的独特性能被发掘,是工程塑料里发展最快、应用最广的材料之一^[1]。聚碳酸酯作为非金属材料能够逐渐代替部分金属材料在汽车、航空航天及生物医学等领域的应用^[2]。但聚碳酸酯属于难加工材料,在切削加工过程中耐热性较差,只能在100℃~250℃进行切削,否则整个塑料会发生焦化,产生粘刀现象。由于切削过程中刀具与工件的强烈摩擦产生大量切削热,为了降低切削温度,切削液被广泛使用^[3],但是因为聚碳酸酯本身吸水性较强,所以在普通切削中使用切削液降低切削温度的方法并不适用^[4]。

超声振动车削(UVT)是一种将微小振幅的高频振动叠加在刀尖的先进加工技术^[5]。在难切削材料中,比如加工硬合金^[6]和脆性材料^[7]时,UVT就表现出了一系列的优势。研究表明,超声振动切削技术极大地降低了切削力并延长了刀具的寿命。超声振动车削能够得到更小的工件表面粗糙度,车床噪音以及颤振幅度也较小,说明与普通切削相比,

超声振动车削提升了工件的表面质量以及切削过程的动态稳定。K. Vivekananda等^[8]研究发现对硬、脆难加工材料进行传统切削时很困难,所以采用超声辅助车削(UAT)来加工这类难加工材料。E. Uhlmann等^[9]认为在纤维增强复合材料(FRP)加工领域仍有很高的研究和开发需求,在加工纤维增强复合材料时,因刀具材料过度磨损需定期更换刀具,但是加入超声振动后能够有效减少刀具磨损,提高加工质量,显著降低加工成本。

在进行难加工材料的切削时,超声振动车削有很大的优势,所以本文采用超声振动车削(UVT)进行加工,分析其切削温度与切削参数的关系。

2 基于聚碳酸酯参数化有限元建模

根据车削有限元建模的理论基础,建立了聚碳酸酯的微观模型。利用该模型对聚碳酸酯进行超声振动车削切削温度场模拟仿真,探究超声振动车削温度在一个周期内的变化情况,分析切削速度和背吃刀量的改变对工件切削温度的影响。

基于ABAQUS有限元软件建立工件与刀具的二维正交切削模型(见图1),其主要参数如表1所示。在刀具模型中,车削聚碳酸酯的最佳刀具前后

角为 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$;在工件模型中,工件的左侧与下方设置为完全固定,其折线的上方是切削层,工件与刀具接触时材料的断裂形成切屑。假设刀具的边界条件中速度方向为水平,采用实际的车削速度,根据振动机理设置振动周期的振幅曲线,振动方向与切削方向在同一水平线上,实现振动切削。

表 1 主要参数

刀具前角($^{\circ}$)	刀具后角($^{\circ}$)	频率(kHz)	振幅(μm)	切削速度(m/s)	背吃刀量(mm)	进给量(mm/r)
5	15	20	5~8	0.2355~1.18	0.2	0.02

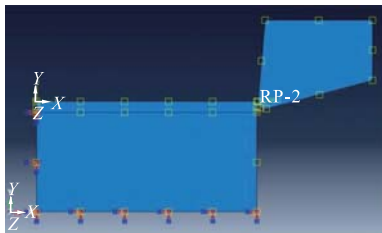


图 1 有限元模型

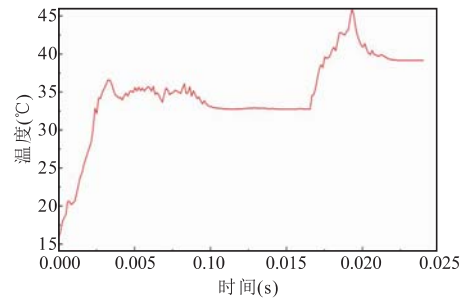
3 聚碳酸酯切削温度仿真结果讨论

建立有限元模型,设置超声振动车削的温度曲线和施加载荷等条件,使仿真正常运行,分析切削参数与切削温度之间的关系^[5]。

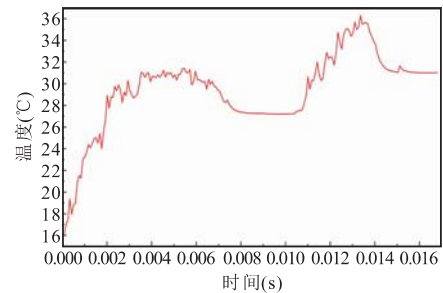
图 2 为切削速度分别是 0.477m/s, 0.684m/s, 0.942m/s, 1.18m/s 时的刀具切削温度场。随着切削速度的提升,可以明显看出整体温度从 45 $^{\circ}\text{C}$ 降至约 30 $^{\circ}\text{C}$, 超声振动车削的温度上升速率较小,由此推断改进车削方式可以提升刀具寿命和工件表面质量。在高切削速度下,超声振动车削的表面温度有明显下降的趋势,在切削速度为 1.18m/s 时,切削温度最低,第一周期与第二周期的温度上升速率也较为平缓,由此可以推断出 $V = 1.18\text{m/s}$ 是一个临界值。

如图 3 所示,刀具切削速度为 0.684m/s, 在开始第一个周期内切削时,由于刀具与工件刚刚接触,第 I 变形区与第 III 变形区温度急剧升高,第 II 变形区切屑带走了大量的切削热,第 III 变形区已加工表面产生的温度传导到刀具表面;在一个周期完成后,刀具与工件分离,刀具带走部分温度,刀具的表面温度开始下降;在第二个周期开始时,刀具接触到之前并未完全切除的部分,因已加工部分与刀具再次接触,使得第 II 变形区切削温度急剧升高,温度传导到刀具上,使前刀面温度达到峰值;当切削达到末期时^[10], 第 III 变形区温度最高,使得已加工部分与工件发生剪切滑移,第二个

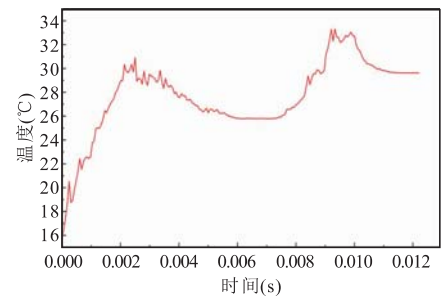
振动周期结束,聚碳酸酯切削完成,切削温度曲线下降变成平缓的状态。



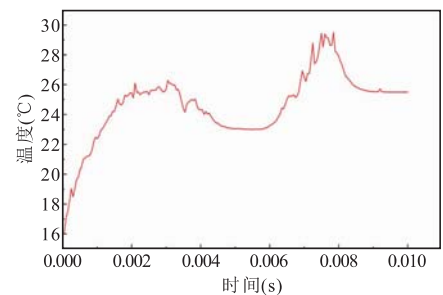
(a) $V = 0.477\text{m/s}$



(b) $V = 0.684\text{m/s}$



(c) $V = 0.942\text{m/s}$



(d) $V = 1.18\text{m/s}$

图 2 超声振动车削仿真温度曲线

4 试验结果分析

4.1 搭建试验台

如图 3 所示,搭建试验台对聚碳酸酯材料进行试验研究,超声振动车削系统的组成部分有:切削机床、超声振子(包括换能器、变幅杆与刀具座)及超声波电源。本试验采用超声纵向振动,通过专有刀架将超声振子固定到机床上,分析其温度之间的区别,探究切削参数对温度的影响规律。

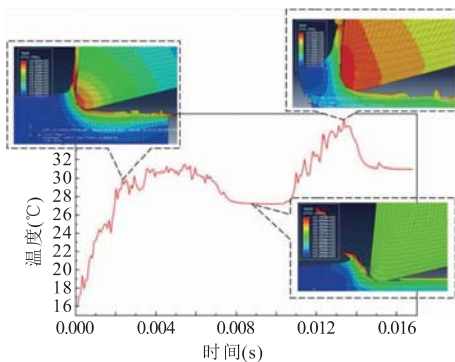


图3 超声振动车削温度场分析

本次试验使用的是 CK0640D 小型经济型数控机床,超声波电源采用确吉(上海)电子科技有限公司制造的电源,频率为 20kHz。刀架型号为 MWL-NR1616H08 的 16 方正刀,刀片尺寸为 19mm × 19mm × 7mm, YG8 材质硬质合金刀片。

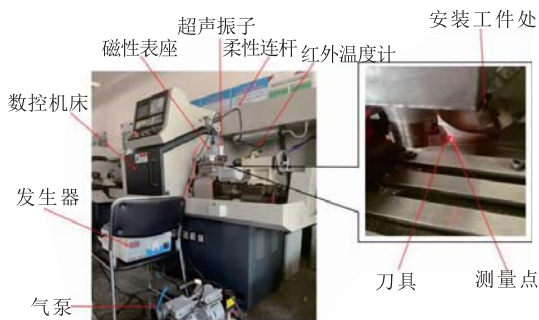


图4 超声振动切削试验平台

4.2 超声振动车削试验参数

通过单一因素变量法改变切削参数,探讨超声振动车削下聚碳酸酯温度随参数变化的情况,分析超声振动车削温度受单一变量影响的变化规律,试验参数见表2。

表2 超声振动车削主要参数

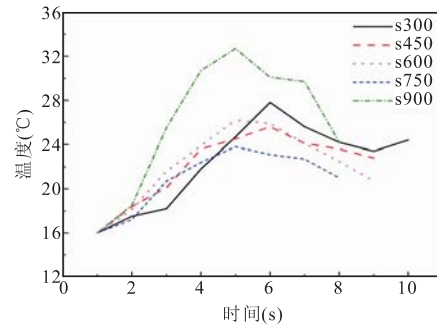
试验因素	主轴转速 (r/min)	切削深度 (mm)	进给量 (mm/r)
切削用量	300 ~ 900	0.1, 0.2, 0.3, 0.4	0.02
试验因素	刀具前角 (°)	刀具后角 (°)	刃口半径 (mm)
切削用量	5	5	0.2

4.3 超声振动车削温度曲线分析

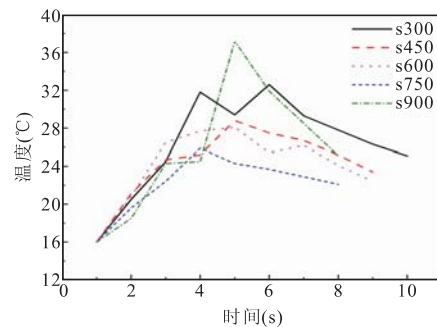
如图 5a 所示,在 $a_p = 0.1\text{mm}$, 转速为 300 ~ 450r/min 时,温度变化不大,切削温度随着转速的变化较为平稳;当转速为 900r/min 时,温度最高,可达 35°C 左右,温度变化速率比低转速状态下高。

如图 5b 所示,各个转速温度上升速率变大,并使温度曲线出现“锯齿状”现象。刀具切削速度 $V = 1.578\text{m/s}$, 转速为 900r/min 时,切削温度与之前的

变化规律不同,随着刀具移动速度的提升而减小。由此可以得出, $V = 1.1775\text{m/s}$ 是刀具切削速度的临界值,无论大于或者小于此切削速度都不能得出最小的切削温度,如果超越了这个临界值,车削温度会发生陡增的现象。

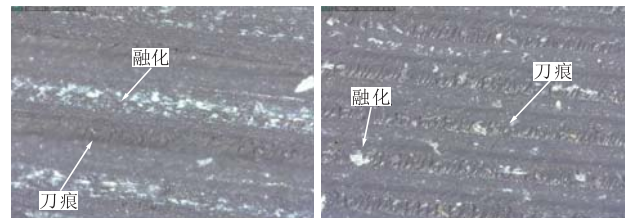


(a) $a_p = 0.1\text{mm}$



(b) $a_p = 0.3\text{mm}$

图5 超声振动车削温度曲线



(a) $V = 0.684\text{m/s}$

(b) $V = 0.942\text{m/s}$



(c) $V = 1.1775\text{m/s}$

(d) $V = 1.413\text{m/s}$

图6 超声振动车削微观表面

随着刀具切削速度的提升,切削温度不断升高。由图 6a ~ 图 6c 可知,在 $a_p = 0.1\text{mm}$ 时,随着切削温度的降低,微观表面中刀具的痕迹越来越轻。刀具速度较低时,工件表面有明显的刀痕,表面较为粗糙,在显微镜下也能看出超声振动车削有明显的锯齿形状刀痕。但是在 $V = 1.1775\text{m/s}$ 时,可以看出

超声振动车削表面更平整,观察微观表面照片,也没有明显的锯齿形刀痕现象,融化较少。

4.4 仿真结果与试验结果误差对比

虽然利用有限元软件进行分析可以降低成本,节省大量时间和收到良好效果,能够复现整个切削过程,但是有限元分析往往是理论模型的理想化分析,与实际试验尚有一定的差距,这里主要分析其误差值是否在合理范围。转速为 300r/min 时超声振动车削温度试验与仿真数据对比见表 3,试验误差为 5%,在允许的范围之内;转速为 600r/min 时试验与仿真数据对比见表 4,试验误差为 6%,在允许的范围之内。

表 3 试验与仿真数据对比(转速为 300r/min) (°C)

超声振动车削试验温度	20.5	24.5	31.8	29.4	28.3	27.8
超声振动车削仿真温度	21.7	25.3	32.4	30.8	27.7	26.4

表 4 试验与仿真数据对比(转速为 600r/min) (°C)

超声振动车削试验温度	20.7	26.7	28.7	31.5	31.7	28.4
超声振动车削仿真温度	20.2	27.5	29.4	33.2	29.4	29.8

通过以上的对比分析可知,整体误差在 10% 左右,实际车削的切削温度变化趋势也与仿真大致相同,所以试验结果验证了仿真结果。

5 结语

(1)在超声振动切削中,切削温度随着切削速度的提升呈下降趋势,但是在切削速度 $V=1.175\text{m/s}$ 时是个临界值,无论大于还是小于这个切削速度,温度都不是最低的。随着切削时间的变化,在超声振动切削过程中,刀具与工件刚刚接触时,第 I、第 II 变形区温度上升速率最快;切削马上结束时,第 III 变形区温度峰值最高,材料发生断裂,切削结束。

(2)通过试验分析,切削速度以及背吃刀量都会影响切削温度,材料切削温度越低,微观表面质量越好。在 $V=1.175\text{m/s}$ 时,切削温度最高可达 40°C 左右,会使材料发生焦化现象,微观表面质量很差,验证了仿真结果的可靠性。

(3)合理选择超声振动车削工艺参数可以降低刀具的切削温度,超声振动车削的方法可以有效改善聚碳酸酯的加工工艺。

参考文献

- [1]万枝铭,朱敏生.有机玻璃的切削加工[J].机械工人(冷加工),2007(6):36-38.
- [2]许苗军,赵巍,刘方猛.含磷-硫化合物对聚碳酸酯阻燃性能的影响[J].中国阻燃,2012(4):11-14.
- [3]郭东升,张敏良,赵森,等.超声振动车削参数对切削力的影响[J].轻工机械,2019,37(5):29-33,38.
- [4]朱红霞,沈兴全.金属切削温度测量方法的研究[J].煤矿机械,2014,35(1):96-98.
- [5]刘战强,黄传真,万熠,等.切削温度测量方法综述[J].工具技术,2002,36(3):3-6.
- [6]张强,闻学震,王海舰,等.基于红外热像分析的刀具磨损及失效诊断[J].机械设计与研究,2017,33(3):142-146.
- [7]袁晶,陈群,李自强,等.基于模糊隶属函数优化的炉内温控数学模型[J].计算机仿真,2013,30(12):298-301.
- [8]K Vivekananda, G N Arka, S K Sahoo. Finite element analysis and process parameters optimization of ultrasonic vibration assisted turning (UVT) [J]. Procedia Materials Science, 2014, 6: 1906-1914.
- [9]E Uhlmann, F Protz. Ultrasonic assisted peripheral milling of fiber reinforced plastics in consideration of clamping and cutting edge geometry [J]. Procedia Manufacturing, 2019, 40: 56-63.
- [10]王运,张昌明. AerMet100 超高强度钢拉削工艺仿真 [J]. 工具技术, 2020, 54(9): 46-52.
第一作者:杨亮,副教授,大连交通大学机械工程学院,116000 辽宁省大连市
First Author: Yang Liang, Associate Professor, School of Mechanical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian, Liaoning 116000, China