

钛合金微铣削加工技术的现状与发展

□ 多佳彬

兰州理工大学 机电工程学院 兰州 730050

摘要:介绍了通过对微铣削铣削力的建模来预测铣削力,以及在不同加工条件下对微铣削表面质量的影响,并阐述了钛合金切削的发展前景。

关键词:钛合金 微铣削 发展前景

中图分类号:TH122

文献标识码:A

文章编号:1000-4998(2015)07-0073-03

钛合金作为医学植入体材料,其在微铣削加工下,能得到很好的三维几何形状,可以增加与生物的相容性。钛合金由于导热系数低,加工过程中产生的切削热不易发散,使工件及刀具的温度过高,并且钛合金与许多刀具材料容易产生化学反应,使切屑与刀具产生黏结现象,加剧了刀具的磨损,导致加工表面质量下降。因此,对钛合金微铣削的研究与分析是很有必要的。

1 微铣削国内外研究现状

微铣削技术适用于加工复杂的三维几何形状,适用范围非常广泛。微铣削的切削机理不同于传统铣削,在常规铣削中可以忽略的因素对微铣削过程却有重要的影响。Lai等^[1]用FEM集中研究了钛材料的最小切削厚度和在微细切削过程中的刀具刃口钝圆半径;Ratchev等^[2]和Brinksmeier等^[3]研究了在加工过程中由工件和微型刀具变形产生的力,而该力产生的振动将影响整个加工过程的稳定性。因此准确预测不同切削参数下的微铣削力,可以为实际加工提供理论基础。

1.1 微铣削力建模的论述

对于预测分析微细铣削力和其结构模型,很多学者做过研究。Vogler等^[4]在平底铣刀的力学模型中考虑了工件微观结构;Vogler等^[5]建立了线性滑移场模型,模拟了耕犁力,考虑了最小切削厚度;Jun等^[6]改进了微铣削力模型,考虑了动态切削载荷下的刀具振动,但这种模型忽略了平底铣刀的螺旋角;Waldorf等^[7]用不同的钝圆半径刀具加工6061-T6铝,并做了一系列的实验,提出了用滑移区模拟切削力的耕犁部分;Kim等^[8]提出了在微铣削过程中切屑形成的静态模型,描述了在低速进给速度下切屑的间断性形成;Kang等^[9]考虑工件-刀具侧面接触的切削力,提出了一个微端铣的分析模型;Bissacco等^[10]考虑了切削钝圆半径、切屑

收稿日期:2014年12月

流出角的径向跳动和偏差,提出了一个在微铣削过程中预测切削力的理论模型;Malekian等^[11]研究了一种微铣削力的机械模型,考虑了耕犁力、主轴跳动以及弹性回复的影响,在刀具和工件交界面上提出了一个耕犁力模型。

在微铣削过程中,每齿进给量与刀具刃口圆弧半径几乎是相同的,刀刃在切入和切出工件时未变形切屑厚度小于最小切削厚度时,会产生显著的耕犁力,而当未变形切屑厚度大于最小切削厚度时,耕犁力与切削过程中的剪切力会同时作用。同时,由于进给量很小,主轴的跳动和刀具的偏心量不能忽略。因此,建立微铣削力学模型需要综合考虑刀具刃口钝圆半径、刀具等效前角的变化以及刀具偏心量等影响因素。

1.2 微铣削表面质量的研究

尺寸精度和加工表面质量是评价零件的两个重要指标。传统铣削过程中出现的加工表面缺陷和毛刺一般可以通过后处理去除,而在微铣削加工中由于零件尺寸的限制,后处理过程很难进行,所以,保证微铣削加工中一次优良率尤为重要。

Gillespie^[14]认为在零件微铣削加工过程中,会产生加工毛刺,不同的加工方法、工件的几何形状、成形机制和材料性质,产生的毛刺也不相同,图1给出了3种类型的常规尺寸毛刺:泊松毛刺、翻转毛刺和撕裂毛刺。Chern^[15]认为铣削过程中产生毛刺的类型很大程度上取决于加工面切屑出口的角度,在图2给出了铣削表面时的5种毛刺类型:(a)刀状毛刺,(b)卷曲状毛刺,(c)波浪状毛刺,(d)边缘突出毛刺,(e)次要毛刺;Hashimura等^[16]根据毛刺的位置、毛刺的形状和毛刺的形成机制,将端铣过程中的毛刺进行了分类,图3给出了端铣过程中毛刺的类型;Schueler等^[17]研究了在不同进给量时用平底铣刀微铣削钛合金时形成的毛刺;Vogler等^[18]通过研究不同刀具进行切削加工时,发现了加工表面毛刺对已加工表面质量的影响;Min等^[19]



研究了不同加工参数条件下顺铣和逆铣对加工表面质量的影响,得出顺铣在小的切削速度条件下分别对加工表面粗糙度的影响。

国内也有很多学者对微铣削加工零件的表面质量进行过研究。孙雅洲^[20]系统地分析了微型铣刀的几何参数和所选用的每齿进给量以及最小切削厚度等因素对微铣削表面粗糙度的影响,通过实验研究了微铣削过程中毛刺的形成以及影响毛刺产生的因素和规律;刘建峰^[13]建立了适合微铣削的表面粗糙度理论模型,并针对微铣削表面粗糙度的实验模型,分别用遗传算法和模拟退火遗传算法对微铣削表面粗糙度值进行了优化,得到最优的铣削用量组合。

2 钛合金材料高速切削的研究和发展

在国外的研究中,Kitagawa^[21]研究了在高速切削加工中刀具的温升和磨损;Ezugwu^[22]认为在切削钛合金的过程中,将近 80%的热量是传递给刀具的,然而在切削钢铁过程中,这个比例系数只有 50%,另一方面,钛合金的导热系数非常低,普通钢铁的导热系数一

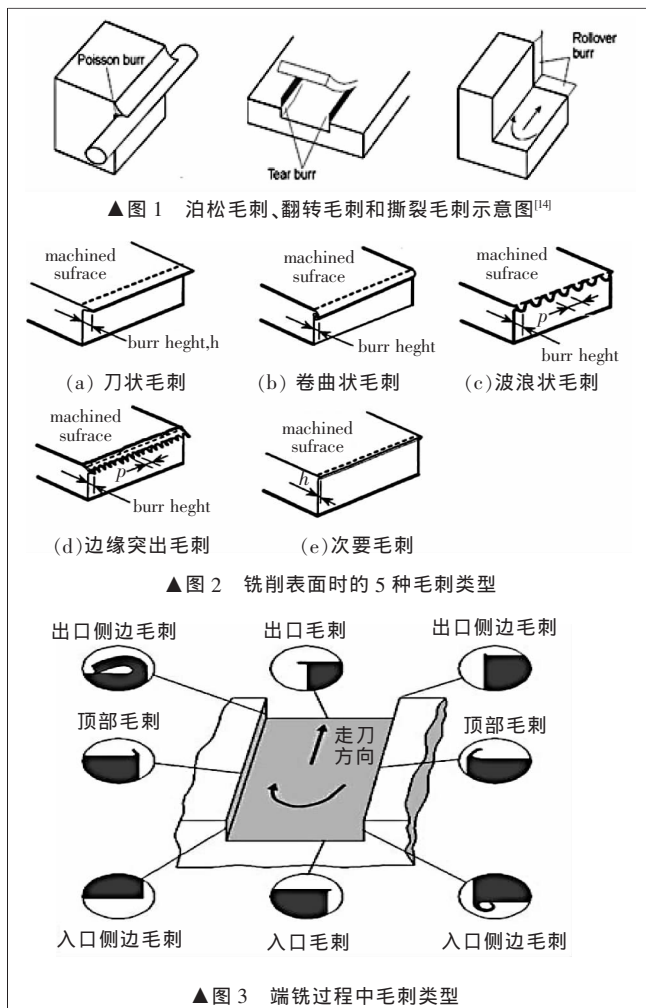
般是钛合金的 6 倍左右。由于上述两个原因,导致了在切削钛合金过程中的温度集中,从而降低了刀具基底的黏合强度,加速了刀具的磨损。Narutaki^[23]认为钛合金在加工温度超过 500 °C 时,能与许多刀具材料发生反应,有与切削刀具形成焊接趋势,这导致了在机械加工过程中刀具的塑性变形和严重的磨损,从而降低了加工精度;Shuting Lei^[24]研究了使用驱动旋转刀具对钛合金进行高速切削;Wang Z G^[25]用 CBN 刀具研究了对钛合金的高速铣削;Ribeiro^[26]研究了在切削钛合金过程中的切削参数最优化;Schueler 等^[17]研究了在平底微铣削钛合金过程中毛刺的形成和表面特性;T. Özel 等^[27]通过实验和有限元仿真的方法,研究了未涂层和 CBN 涂层两种微径铣刀对微铣削钛合金的影响。

国内很多学者也对钛合金高速切削做了大量的研究。杨勇^[28]用有限元仿真和实验研究的两种手段,对铣削钛合金过程中的切削力和切削热进行研究;满忠雷^[29]等对 TC4 合金在干切削、空气油雾和氮气油雾等冷却介质下的切削力进行了研究,在 200~300 m/min 的切削速度范围内,切削力随切削速度的增加而单调上升;易俊杰^[30]分别用有限元仿真和试验研究的方法,对 TC4 和 TC11 两种钛合金在高速铣削过程中的切削力和切削热进行了研究;Zhang 等^[31]对影响钛合金铣削过程中的切削力和切削热的铣削参数进行分析,得到铣削参数的可行域;2010 年,杨勇等^[32]应用双刃斜角切削理论模型,对钛合金 TC4 进行了三维有限元建模,对铣削过程中的切削力进行了有限元模拟。

我国对于钛合金微铣削的研究还处于起步阶段,由于近年来钛合金在航空航天及医学领域的广泛应用,钛合金的微铣削技术越来越受到重视,相信随着微铣削技术的进一步发展,对钛合金微铣削的研究会更受到重视。

参考文献

- [1] Lai X, Li H, Li C, et al. Modelling and Analysis of Micro Scale Milling Considering Size Effect, Micro Cutter Edge Radius and Minimum Chip Thickness [J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2008, 48:1-14.
- [2] Ratchev S, Liu S, Huang W, et al. Milling Error Prediction and Compensation in Machining of Low-rigidity Parts [J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2004, 44: 1629-1641.
- [3] Brinksmeier E, Riemer O. Metal Cutting of Microstructures [C].Proceeding of the 1st International Conference on Multi-Material Micro Manufacture, Germany: Karlsruhe,2005.
- [4] Vogler M, DeVor R, Kapoor S. Microstructure-level Force Prediction Model for Micro-milling of Multi-phase Materials [J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering,



- 2003, 125: 202–210.
- [5] Vogler M, DeVor R, Kapoor S. On the Modeling and Analysis of Machining Performance in Micro-End milling, Part I, Cutting Force Prediction [J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2004, 126 (4): 695–705.
- [6] Jun M B G, Liu X, DeVor R E, et al. Investigation of the Dynamics of Micro End Milling—Part 1: Model Development [J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2006, 128: 893–900.
- [7] Waldorf D J, De Vor R E, Kapoor S. A Slip-line Field for Ploughing during Orthogonal Cutting [J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 1998, 120: 693–700.
- [8] Kim C, Mayor J. A Static Model of Chip Formation in Microscale Milling[J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2004, 126: 710–719.
- [9] Kang L, Kim J H, Kang M, et al. A Mechanistic Model of Cutting Force in the Micro and Milling Process [J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2007, 187–188: 250–255.
- [10] Bissacco G, Hansen H, Slunsky J. Modelling the Cutting Edge Radius Size Effect for Force Prediction in Micro Milling[J]. Manufacturing Technology, 2008, 57: 113–116.
- [11] Malekian M, Park S, Jun M. Modelling of Dynamic Micro-milling Cutting Force [J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2009, 49: 586–598.
- [12] 张福霞. 微细铣削力的建模与分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- [13] 刘建峰. 基于模拟退火遗传算法的微细铣削加工参数优化[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [14] Gillespie L K, Blotter P T. The Formation and Properties of Machining Burrs [J]. Journal of Engineering for Industry, 1976, 98: 66–74.
- [15] Chern G L. Analysis of Burr Formation and Breakout in Metal Cutting [D]. Berkeley: University of California at Berkeley, 1993.
- [16] Hashimura M, Hassamamont J, Dornfeld D A. Effect of In-plane Exit Angle and Rake Angles on Burr Height and Thickness in Face Milling Operation [J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 1999, 121 (1):13–19.
- [17] Schueler G M, Engmann J, Marx T, et al. Burr Formation and Surface Characteristics in Micro-End Milling of Titanium Alloys[M]. Burrs—Analysis, Control and Removal, 2010.
- [18] Vogler M P, DeVor R E, Kapoor S G. On the Modeling and Analysis of Machining Performance in Micro-Endmilling, Part I: Surface Generation [J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2004, 126(4): 685–694.
- [19] Min S, Sangermann H, Mertens C, et al. A Study on Initial Contact Detection for Precision Micromold and Surface Generation of Vertical Side Walls in Micromachining[J]. CIRP Annals—Manufacturing Technology, 2008, 57(1): 109–112.
- [20] 孙雅洲. 微小型机床及微细铣削加工技术的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2005.
- [21] Kitagawa T, Kubo A, Maekawa K. Temperature and Wear of Cutting Tools in High-speed Machining of Inconel 718 and Ti-6Al-6V-2Sn[J]. Wear, 1997, 202: 142–148
- [22] Ezugwu E O, Wang Z M. Titanium Alloys and Their Machinability—A Review[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1997, 68(3): 262–274.
- [23] Narutaki N, Murakoshi A. Study on Machining of Titanium Alloys[J]. CIRP Annals, 1983, 32(1): 65–69.
- [24] Shuting Lei, Wenjie Liu. High Speed Machining of Titanium Alloys Using the Driven Rotary Tool [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2002, 42:653–661.
- [25] Wang Z G, Wong Y S, Rahman M. High Speed Milling of Titanium Alloys Using Binderless CBN tools [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2005, 45: 105–114.
- [26] Ribeiro M V, Moreira M R V, Ferreira J R. Optimization of Titanium Alloy Machining [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 458–463: 143–144.
- [27] Özel T, Thepsonthi T, Ulutan D, et al. Experiments and Finite Element Simulations on Micro-milling of Ti-6Al-4V Alloy with Uncoated and CBN Coated Micro-tools[J]. CIRP Annals—Manufacturing Technology, 2011, 60(1): 85–88.
- [28] 杨勇. 钛合金航空整体结构件铣削加工变形的预测理论及方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [29] 满忠雷. 基于绿色切削钛合金高速切削机理研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2006.
- [30] 易俊杰. 钛合金高速铣削力试验与有限元数值分析[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2009.
- [31] Zhang X H, Xu X X, Chen M, et al. Cutting Parameter Optimization Based on Force and Heat Constraint in Milling TC4 Titanium Alloy [J]. Manufacturing Automation Technology Development, 2011, 455, 307–312.
- [32] Yong Y, Li C H, Sun J. Three-dimensional Numerical Simulation of Cutting Force during Milling of Titanium Alloy Ti6Al4V [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2010, 18(3): 493–502. ▲

(编辑 丁 罡)

