

插铣技术的研究现状*

Research Status of Plunge Milling

天津大学 秦旭达 贾昊 王琦 孙晓太



秦旭达

天津大学副教授、硕士生导师。现任中国振动工程学会机械动力学学会第八届理事会理事、副秘书长,主要从事难加工材料加工过程动力学仿真及其工艺优化技术、制造过程监控技术研究。发表学术论文 30 余篇,SCI/EI 检索 20 篇次。获省部级科技奖励 2 项,在研主持国家自然科学基金、天津市基金各 1 项,国际合作项目 1 项。

插铣技术是一项正在发展的新型加工技术,由于插铣具有效率高、能够快速切除大量金属的优点,并且非常适合于加工难加工材料(如钛合金)和一些复杂曲面的零件,因此在许多领域,尤其是在航空航天领域正在逐步扩大应用。目前国内外各大高校、科研机构以及一些公司开发部门对插铣相关技术的关注不断加深,使得对插铣的研究不断深入,从而对其切削机理更加了解,适用于插铣的 CAD/CAM 软件和插铣专用刀具也会不断完善和发展。

插铣的加工方式最先是由国外专家提出的,出现的时间也比较短,但是由于其特殊的加工方式和比较显著的加工优势,近几年受到了国内外许多专家的关注和研究。所谓插铣法就是在加工过程中刀具沿主轴方向做进给运动,利用底部的切削刃进行钻、铣组合切削,是一种能够在 Z 方向上快速铣削大量金属的加工方式,主要用于半精加工或粗加工,在重复插铣达到预定深度时,刀具不断地缩回和复位以便于下一次插铣时可迅速地从重叠走刀处去除大量金属,如图 1 所示。

特点和应用范围

插铣加工的加工方式比较特殊,

与其他加工方式相比,它具有以下一些优点^[1-2]。

(1) 加工效率高,能够快速切除大量金属,相对于普通铣削加工而言可以节省一半以上的时间。

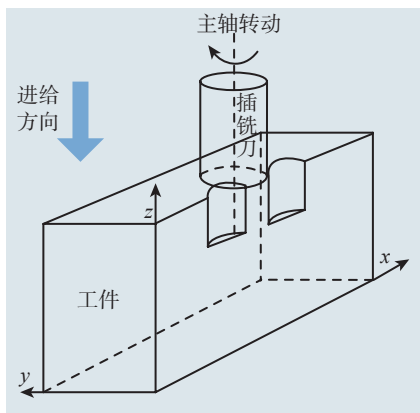
(2) 刀具的悬伸长度比较大,特别适用于一些模具型腔的粗加工,并被推荐用于航空零部件的高效加工。

(3) 可以对钛合金等难加工材料进行曲面加工或切槽加工。

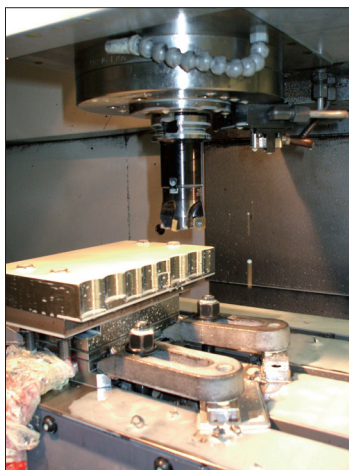
(4) 加工时主要的受力方向为轴向,而径向力较小,因此对机床的功率或主轴精度要求不高并且具有更高的加工稳定性,有可能利用老式机床或功率不足的机床获得较高的加工效率。

(5) 可以减小工件变形。

* 国家自然科学基金项目(50705066)、天津市应用基础与前沿技术研究计划一般项目(08JCYBJC01300)、教育部博士点基金新教师项目(20070056016)资助。



(a) 示意图



(b) 实物图

图1 插铣示意图及实物图

(6) 可用于各种加工环境,可以用于单件小批量的一次性原型零件加工,也适合大批量零件制造。

(7) 插铣加工能够以相对较低的进给速度(一般为 50r/min 以上)切削大量的加工材料。该加工方法对使用老式机床的加工车间而言,其金属的切削速度可以与采用高速加工方法的较新机床相媲美,有时甚至超过这些较新的机床。

插铣的一个特殊用途就是进行涡轮叶片的加工,这种加工通常是在三轴或四轴的铣床上进行的。插铣涡轮叶片时,可从工件顶部向下一直铣削到工件根部,通过 X-Y 平面的简单平移,即可加工出极其复杂的表面几何形状。图 2 为利用插铣加工开盘式叶片^[3]。



图2 开盘式叶片的插铣加工

国内外的插铣研究现状

插铣作为一种新型的铣削方式,在制造业中得到了较为广泛的应用,同时实践也证明了它的优点,但由于其出现的时间较短,对其切削机理等方面的研究仍然较少。目前有关插铣的研究主要集中于插铣的工艺优化和动力学 2 个方面。

在插铣的工艺优化方面,北京航空航天大学将插铣应用于对涡轮叶片的粗加工过程,减小了加工变形,提高了切削效率,并对拐角的插铣路径进行了优化^[2-3]。西安科技大学将插铣应用于大直径、宽深流道二元叶轮的数控加工过程中,用 Master CAM 软件实现了简单的插铣编程^[4]。西北工业大学对 TC11 钛合金插铣的铣削工艺参数进行了优化,并研究了工艺参数对铣削力和切削温度的影响^[5-6],并对在四轴机床上插铣开放式整体叶轮的刀具路径做了一定的研究^[3,7-8]。北京交通大学针对多曲面通道的多坐标数控插铣提出了一种非等参数刀具轨迹生成算法,解决了生成无干涉的刀具轨迹问题,可以实现高效率的粗加工,但对刀具路径的进一步优化没有深入研究^[9]。哈尔滨工业大学研究了直纹面叶轮五坐标插铣加工的关键技术,自主开发了

整体叶轮五坐标插铣加工专用计算机辅助制造软件,并对该软件生成的刀具轨迹进行了仿真和实际加工验证^[10]。

在插铣动力学方面,天津大学对钛合金(Ti6Al4V)插铣过程中的铣削力进行了深入研究,分析了切削力的特点,构建了切削力分析试验平台,对插铣钛合金过程中的铣削力的变化规律进行了研究,并建立了铣削力模型^[11],与此同时,天津大学还对插铣过程中切削温度场分布进行了深入研究,并建立了温度场有限元分析模型,从而可以较为准确地预测插铣过程温度场分布^[12]。

在国外,Jeong Hoon Ko 提出了一种掏槽插铣铣削力的建模方法,其基本原理是应用机械论方法得到与切削厚度有关的铣削力模型参数,从而建立铣削力模型^[13]。Yusuf Altintas 等人研究了插铣过程中的动力和稳定性,分别建立了频域模型和时域模型,并结合所建立的再生切屑厚度的理论模型,实现了铣削力和颤振的预测,并且给出了如何减小铣削过程中颤振的建议^[14-15]。

插铣刀具

随着插铣技术的日益成熟和应用的日益广泛,山高、伊斯卡、英格索尔等各大刀具生产商也纷纷推出了插铣的专用刀片。

目前,插铣刀片一般为硬质合金及其涂层刀具,硬质合金涂层刀具基体有较高的韧性和抗弯强度,涂层材料高温耐磨性好,因此可以采用高进给速度和高切削速度。但是对于不同的工件材料,仍然要选用不同型号和涂层的刀具,以便于提高刀具寿命和加工精度。例如当对钛合金这类难加工材料进行加工时,一般的刀片可能会产生很严重的粘刀现象,如图 3 所示。

对于常用于侧向切削的插铣而言,侧向力的产生会迫使刀具偏移,

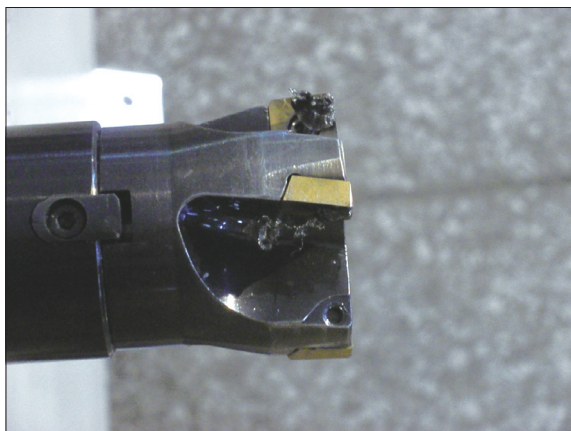


图3 钛合金插铣过程粘刀现象

进而可能会引起颤振现象,造成刀具损坏。刀具和刀片的几何形状在很大程度上决定了切削力的大小,对加工时的刀具路径优化也有一定的影响。目前,出现了一种可用于插铣的新型刀具^[16],该刀具的刀片采用独特的切向夹紧方法,专门应用于长悬

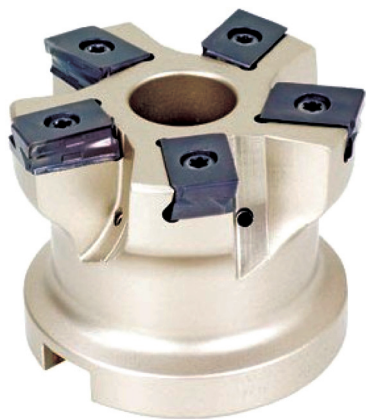


图4 新型插铣刀具

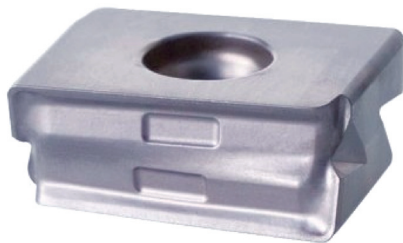


图5 新型插铣刀片

臂加工,其弯曲力极小,如图4所示。

该工具有4个切削刃,在刀具正面的切线方向上夹紧,形成一个平面。这有利于在加工过程中形成一个正向刀面,以降低切削负荷,如图5所示。

用于插铣的 CAD/CAM 软件

由于插铣技术出现的时间较短且发展并不完善,因此目前大多数 CAD/CAM 软件仍然没有包含插铣功能,一些软件中虽然包含了插铣功能,但缺少适合用户的选项,包括适应各种工件几何形状的能力(2D、3D等)和适应各类型铣刀的能力(侧面切削、中心切削等),很多时候仅仅作为一种概念出现,功能并不完善。

在刀具路径优化方面,具有插铣模块的主要有 PowerMILL、MasterCAM 和 Cimatron 等软件^[17-19],但对刀具路径进行优化的效果并不是很好,用户的满意度也较差;在动力学方面,专用于切削的有限元模拟软件 ThirdWave 可以利用建立三维模型,计算出插铣切削力和切削温度场,但无法计算切削时刀具的振动,对稳定性问题无能为力^[20]。

插铣技术面临的问题

近年来尽管国内外对插铣研究的不断深入,插铣技术的应用也越来越广泛,但是仍然有许多问题亟待解决。

(1) 稳定性问题。插铣刀具的悬伸长度过长,使得刀杆的刚度很难保证,从而使得受力容易发生弯曲现象,而在插铣过程中,刀具不仅会受到切削力的影响,所受的扭矩也不能忽略,使得刀具中心在 X、Y、Z 3 个方向上均有偏移,从而可能引起插铣过程中的颤振现象^[13]。

(2) 刀具轨迹优化。虽然已经有些 CAD/CAM 软件中包含插铣模块,但是由于其本身模块的不完善性和加工人员对利用插铣进行加工的经验仍然较少,如何确定初始加工位置 and 选择最优化刀具路径的问题仍未能解决,这也在很大程度上局限了插铣在加工领域的应用。

(3) 有关插铣动力学方面的研究仍然较少,从控制切削力、切削温度等角度来减小刀具磨损,确定较好的工艺加工参数仍然很难实现。

结束语

插铣技术是一项正在发展的新型加工技术,由于插铣具有效率高、能够快速切除大量金属的优点,并且非常适合于加工难加工材料(如钛合金)和一些复杂曲面的零件,因此在许多领域,尤其是在航空航天领域正在逐步扩大应用。目前国内外各大高校、科研机构以及一些公司开发部门对插铣相关技术的关注不断加深,使得对插铣的研究不断深入,从而对其切削机理更加了解,适用于插铣的 CAD/CAM 软件和插铣专用刀具也会不断完善和发展。

本文共有参考文献 20 篇,因篇幅所限,未能一一列出,读者如有需要,请向本刊编辑部索取。(责编 小颖)