

分类号_____

密级_____

U D C_____

编号_____

厦 门 大 学

博 士 后 研 究 工 作 报 告

超声振动辅助磨削加工理论及
多晶硅材料的磨削实验研究

彭云峰

工作完成日期：2009 年 3 月

报告提交日期：2009 年 4 月

厦 门 大 学

2009 年 4 月

超声振动辅助磨削加工理论及
多晶硅材料的磨削实验研究

Micro Material Removal Mechanism in Ultrasonically Assisted
Grinding of Polysilicon

博 士 后 姓 名：彭云峰

合 作 导 师：郭隐彪 教授

流动站（一级学科）名称：厦门大学物理学

专 业（二级学科）名称：机械制造及其自动化

研究工作起始时间：2006 年 12 月

研究工作期满时间：2009 年 3 月

厦 门 大 学

2009 年 04 月

厦门大学博士后研究报告著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用博士后研究报告的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交该报告的纸质版和电子版，有权将该报告用于非赢利目的的少量复制并允许该报告进入学校图书馆被查阅，有权将该报告的内容编入有关数据库进行检索，有权将博士后研究报告的标题和摘要汇编出版。保密的博士后研究报告在解密后适用本规定。

本研究报告属于： 1、保密（ ）， 2、不保密（ ）

纸本在 年解密后适用本授权书；

电子版在 年解密后适用本授权书。

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

内 容 摘 要

本文以二维(2D)超声振动辅助磨削加工为研究对象,以实现硬脆性材料的高效和延性域加工为研究目标,开展 2D 超声振动辅助磨削加工硬脆性材料材料去除机理研究,包括分析超声振动辅助磨削加工运动学,切削层材料的力学行为,并进行多晶硅材料的超声振动辅助平面磨削实验。

本文的主要结论是:

1. 2D 超声振动的辅助可以帮助改变常规磨削加工中砂轮与工件之间的相对运动轨迹,使砂轮磨粒的加工路径拉长,增加磨粒的切深,有利于提高单个加工周期内加工磨粒的材料去除量,提高加工表面的光洁度;

2. 2D 超声振动辅助将极大地改变磨削加工中砂轮磨粒与工件材料之间的相对运动速度和加速度,这将对切屑层材料的去除和变形产生冲击作用,从而改变材料的去除机理;

3. 2D 超声振动辅助磨削加工中,磨粒切削前端的切屑层材料在超声振动辅助的作用下,应变减小,而应变率增大,使切屑层材料以小体积、大变形和高应变率的形式去除,最终增加了切屑层材料的剪切流动应力;

4. 2D 超声振动辅助磨削加工,参与切削的磨粒切削刃具有较大的负前角,有助于增加作用于切屑层材料剪切平面内的法向应力和剪切应力比值,这将有效地抑制材料去除过程中材料应力集中度因子的增长,减少材料发生脆性断裂破坏的机率,从而提高加工表面的加工质量;

5. 椭圆振动辅助单晶硅材料的平面磨削加工实验表明,与常规磨削加工的结果相比,超声振动辅助磨削加工可以降低磨削加工过程中的磨削力,且法向力与切向力的比值增大,所得的表面粗糙度也降低,这与本研究的理论预测趋势相符合,表明可以增加硬脆性材料延性域加工的机率。结果还发现,椭圆振动幅度越大,磨削力和表面粗糙度降低幅度越大。

以上结论表明,超声振动辅助磨削加工可实现多晶硅等硬脆性材料的高效加工,具备提高硬脆性材料延性域加工的潜力。

关键词: 超声振动辅助磨削加工; 材料去除率; 延性域加工

Abstract

This thesis focus on the development and theory of two-dimension (2D) ultrasonic vibration assisted grinding technology with workpiece vibration. The relative motion between grinding wheel and workpice is analyzed, so do the mechanism of material removal. The micro-grooving and plane-grinding experiments of polysilicon with ultrasonic vibration assistance have been conducted. Solutions presented in this thesis can be summarized as follows:

1. The assistance of ultrasonic vibration will change the grinding path of conventional grinding, and the grinding length and cut depth increase, which will do a favor for the material removal rate and improve the surface finish.

2. The assistance of ultrasonic vibration will increase the relative velocity and acceleration of the grinding grits, which will cause an impact on the undeformed material and affect the removal mechanism of brittle material.

3. The assistance of ultrasonic vibration will increase the strain rate and flow tress of the undeformed chip material.

4. The rake angle of the grinding grits with ultrasonic vibration assistance have a big negative value, and the rate of normal stress and shearing stress on the shearing plane, which will shield the increase of stress intensify factor and improve the probability of ductile mode machining of brittle material.

5. The plane grinding experiment of polysilicon shows that the ultrasonic vibration assistance can help to improve the surface condition and decrease the machining force efficiently.

From the conclusion mentioned above, it is shown that the ultrasonic vibration assistance can realize the high efficiency and ductile mode machining of brittle material.

Keywords: ultrasonic vibration assistance grinding, Material removal rate, ductile mode machining

目 次

| | | |
|-------|-------------------------------|----|
| 1 | 引言 | 1 |
| 1.1 | 超声振动辅助加工简介 | 1 |
| 1.2 | 超声振动辅助加工的类型简介 | 2 |
| 1.2.1 | 超声振动辅助加工的类型 | 2 |
| 1.2.2 | 超声振动辅助加工装置类型简介 | 4 |
| 1.3 | 文献综述 | 7 |
| 1.3.1 | 超声振动辅助切削加工 | 7 |
| 1.3.2 | 超声振动辅助磨削加工 | 8 |
| 1.4 | 研究目的 | 10 |
| 1.5 | 研究报告组成概要 | 11 |
| 2 | 工件超声振动辅助磨削加工运动学分析 | 13 |
| 2.1 | 引言 | 13 |
| 2.2 | 工件振动的椭圆超声振动辅助磨削加工的运动学分析 | 13 |
| 2.3 | 超声振动辅助磨削加工的切屑生成分析 | 16 |
| 2.3.1 | 磨削加工的切屑生成与定义 | 16 |
| 2.3.2 | 超声振动辅助磨削加工名义切屑厚度的计算 | 17 |
| 2.3.3 | 名义切屑厚度的求解方法 | 18 |
| 2.4 | 椭圆超声振动辅助磨削加工的运动学模拟 | 18 |
| 2.4.1 | 工件振动的单磨粒与工件之间的相对运动 | 18 |
| 2.4.2 | 超声振动对磨粒相对运动学的影响 | 21 |
| 2.4.3 | 切屑形成模拟 | 22 |
| 2.5 | 小结 | 26 |
| 3 | 工件椭圆振动辅助磨削加工的磨削力分析 | 27 |
| 3.1 | 引言 | 27 |
| 3.2 | 单磨粒与工件作用的磨削力模型 | 27 |
| 3.2.1 | 磨粒与工件作用模型 | 27 |
| 3.2.2 | 单磨粒与工件相作用的磨削力 | 28 |
| 3.2.3 | 剪切流动应力和材料本构方程 | 32 |
| 3.2.4 | 应变和应变率 | 33 |
| 3.3 | 椭圆超声振动辅助磨削模拟 | 34 |
| 3.3.1 | 应变和应变率 | 34 |
| 3.3.2 | 材料的剪切流动应力 | 36 |
| 3.4 | 小结 | 38 |

| | | |
|-------|---------------------------------|----|
| 4 | 椭圆超声振动辅助磨削加工脆性材料延性域去除机理分析 | 39 |
| 4.1 | 引言 | 39 |
| 4.2 | 脆性材料延性域加工 | 39 |
| 4.3 | 硬脆性材料脆塑性转变 | 41 |
| 4.3.1 | 断裂韧性和临界深度 | 41 |
| 4.3.2 | 应力集度因子 | 42 |
| 4.3.3 | 法向应力和剪切应力 | 43 |
| 4.4 | 小结 | 45 |
| 5 | 椭圆超声振动辅助平面磨削加工硅材料实验 | 46 |
| 5.1 | 引言 | 46 |
| 5.2 | 超声振动辅助磨削装置 | 46 |
| 5.2.1 | 超声振动子简介 | 46 |
| 5.2.2 | 超声振动子设计 | 48 |
| 5.2.3 | 超声振动子椭圆振动的测量 | 49 |
| 5.2.4 | 超声振动辅助平面磨削加工装置 | 50 |
| 5.3 | 椭圆超声振动辅助磨削加工实验 | 51 |
| 5.3.1 | 磨削加工实验参数和分析仪器 | 51 |
| 5.3.2 | 变磨削切深振动的磨削加工实验结果 | 52 |
| 5.3.3 | 变工作台进给速度的磨削加工实验结果 | 53 |
| 5.3.4 | 变砂轮线速度的磨削加工实验结果 | 54 |
| 5.3.5 | 变椭圆振动幅度的磨削加工实验结果 | 55 |
| 5.3.6 | 实验结果分析 | 56 |
| 5.4 | 加工表面分析 | 57 |
| 5.5 | 小结 | 58 |
| | 结论 | 59 |
| | 参考文献 | 61 |
| | 致谢 | 68 |
| | 博士生期间发表的学术论文及专著 | 69 |
| | 博士后期间发表的学术论文及专著 | 70 |
| | 个人简历 | 71 |
| | 联系地址 | 72 |

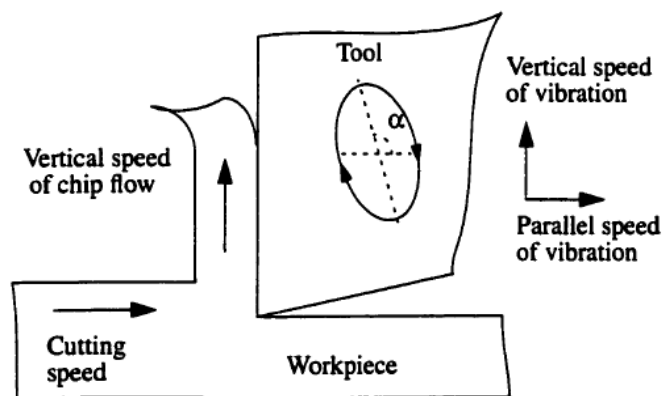
第一章 引言

1.1 超声振动辅助加工简介

近年来,航空、电子和光学通讯工业中迅猛发展的新技术对先进材料的加工提出了越来越高的形状精度和表面质量要求^[1]。这些材料包括硬脆性材料和延性材料。其中常见的硬脆性材料有陶瓷、光学玻璃和单晶/多晶硅等。硬脆性材料本身优良的机械力学和热性质(例如化学惰性、高的强度与重量比、高硬度、耐腐蚀和抗氧化等)将产生优越的性能,这些长处将有利于减少消耗。从制造性的角度来讲,这些使硬脆性材料获得广泛用图的优越性质将同样使硬脆材料的加工难以达到预期的精度和形状^[2]。常用的硬脆性材料的加工方法是超精密磨削和单点金刚石切削(SPDT)^[3-7]。磨削加工和单点金刚石切削常引起表面和亚表面缺陷,这将严重损坏加工得到工件的强度和使用性能与期限等。目前,已经能够通过延性域加工的方法实现硬脆性材料的磨削或切削加工^[8,9],但加工时的切削非常薄,这将限制加工时材料的去除率(MRR)。加工时产生并遗留在工件亚表面的缺陷需要进行二次加工予以去除(如抛光),这将极大地增加总的加工成本和破坏工件的形状精度。由于碳元素和金属之间活跃的化学活性,使得难以利用金刚石工具加工得到含铁工件的镜面。基于上述原因,迫切需要寻求改善常规加工的方法和手段。

振动辅助加工(VAM)正是在这种情况下提出用于改善常规加工。超声振动加工(USM)由Wood与Loomis于1927开始提出。在20世纪八十和九十年代,研究集中在结合了单点金刚石切削和磨削等特点的复合加工技术方面。这种振动辅助加工不同于超声加工。在超精加工中,金属材料的去除是由悬浮于磨削液中的磨粒完成的,这些磨粒由一个进行超声共振的工具带动往复在工件表面运动^[10,11]。而且这种超声加工只应用于脆性材料的加工中。

振动辅助加工是一种间歇式的加工,其中超声振动辅助加工(UVAM)是最常见的一种。在超声振动辅助加工中,小幅的振动以超声频率的附加在切削工具或工件上,使得加工工具的运动学发生改变,图1.1所示是椭圆超声振动辅助切削加工的示意图。

图 1.1 椭圆超声振动辅助加工示意图^[12]

在超声振动辅助的调制帮助下，可产生加工力减小和切屑减薄的结果。这些反过来导致更好的工件表面光洁度和形状精度等效果，而且与常规加工相比，可获得几乎无毛刺的效果。工具的寿命也可通过超声振动辅助加工的方式得到极大地提高，特别是在采用金刚石工具加工含铁的材料时。当切削脆性材料时，超声振动辅助加工可提高脆性与延性域发生转变的临界切削深度，这项优点可使复杂光学元件表面超精密加工可以不须采用磨削和抛光的方法完成加工。

振动辅助加工主要优点可概括为如下：

- 延长工具的寿命^[13-16]
- 改善表面的精度和形状精度^[17-23]
- 可实现脆性材料的延性域加工^[24-31]
- 亚之表面毛刺的形成^[32-34]

1.2 超声振动辅助加工的类型概述

1.2.1 超声振动辅助加工的类型

振动辅助加工(UVAM)是常规加工与调制振动的叠加。这项技术不仅应用在单点切削加工中，而且也应用在固定磨粒的加工中。常规加工经由小幅、超声频率振动调制后，使其加工运动学发生改变。基于超声振动的调制的方式和目的，振动辅助加工可分为工具振动和工件振动。

根据施加超声振动的方向，调制可由三个正交的方向引入：横向(与工件表面平行并与切削方向垂直)和垂直方向(垂直于工件表面)，如图 1.2 所示^[35]。

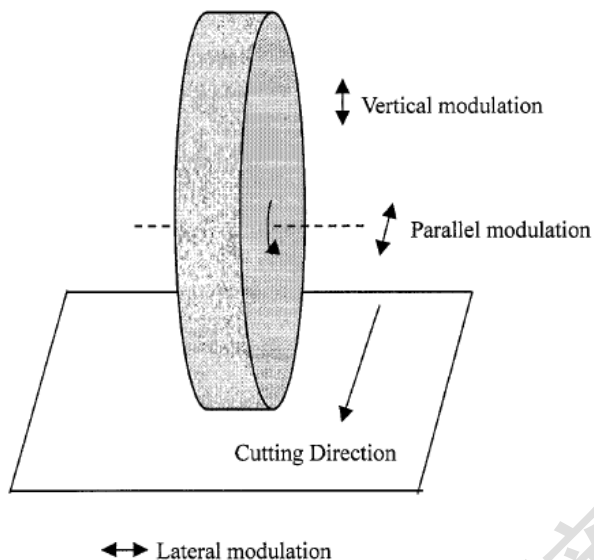
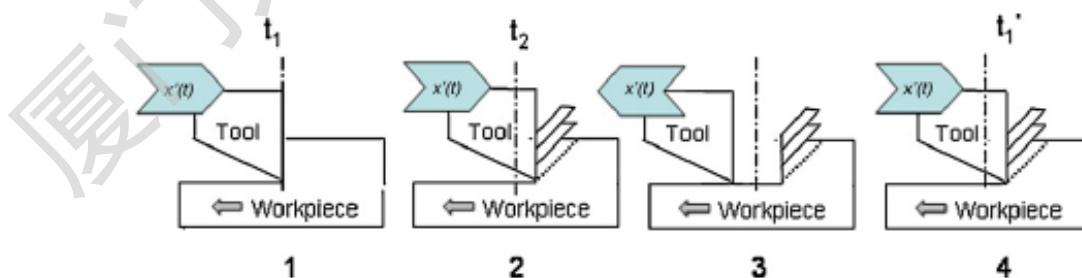
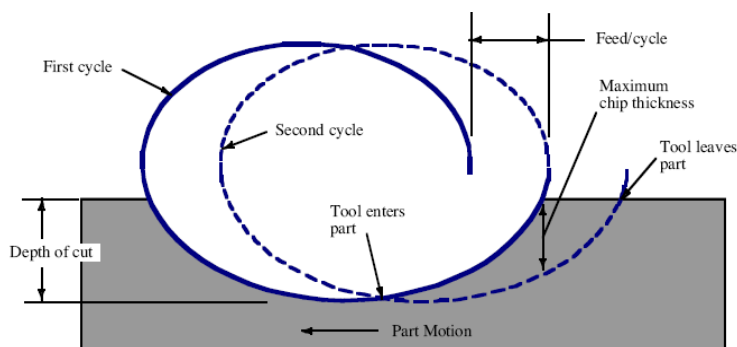


图 1.2 振动辅助磨削加工的示意图^[35]

如果超声振动被附加在一个方向，工具/工件将是作单方向小幅的往复的运动，此为一维超声振动辅助加工(1D UVAM)。当超声振动施加在一个方向以上时，工具/工件将作椭圆振动，此时为二维超声振动辅助加工(2D UVAM)。椭圆超声振动辅助加工是振动辅助加工中的最普遍的，它的质心沿着切削/磨削的方向运动。在 2D 超声振动辅助加工中，如果切削速度、工具幅度和频率结合合适的话，工具将周期性的与切屑相脱离或完全离开工件。2D 超声振动辅助加工可分为平面内超声振动辅助加工(振动与工件表面平行)和垂直方向的超声振动辅助加工(振动与工件表面垂直)。图 1.2 给出了振动辅助加工的示意图，其中的工具分别由小幅的单方向往复和椭圆振动调制。



a. 1D超声振动辅助加工的示意图^[13]



b. 2D 超声振动辅助加工的示意图

图 1.3 超声振动辅助切削加工工具运动和切屑定义^[36]

由于椭圆超声振动辅助加工的优越性，椭圆超声振动辅助加工广泛采用于二维超声振动辅助加工中。如图 1.4 所示，椭圆超声振动辅助加工中的推力小于其他常规加工。

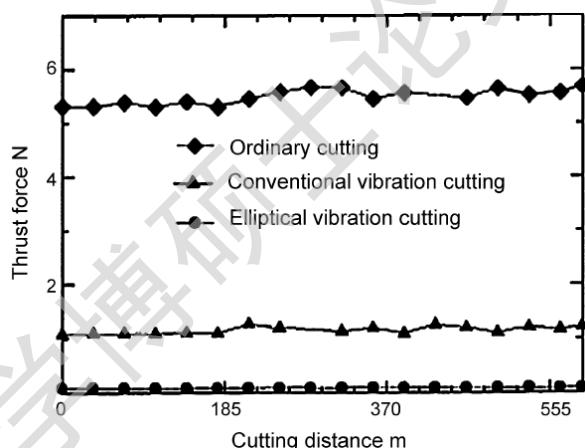


图 1.4 1DVAM 与 2D VAM 碳化硼工具切削铝工件的推力比(18.66Hz)^[37]

1.2.2 超声振动辅助加工装置类型概述

超声振动辅助加工系统所采用的振动频率和水平幅度是不同的。超声振动辅助加工系统通常可分为三种类型：一维共振系统(超声振动发生器只用来使工具产生线性运动)、二维共振系统(工具支撑结构用于产生二维方向的共振频率，从而产生一个椭圆的振动路径)和二维非共振系统(压电驱动器由正弦信号激励，一个机械连接机构用于将激励信号转变为线性的膨胀运动，进而形成椭圆的路径)^[16]。

超声振动辅助加工系统的设计对于超声振动辅助加工的应用来说也很重要。

到目前为止，已有很多种类型的超声振动辅助加工系统。一维共振系统是超声振动辅助加工中最常见到的。图 1.3 所示是常见的系统之一^[16]，其中的超声生成器使用一个压电或磁驱动器来产生高频低幅的谐振。

共振 2D 超声正交辅助加工系统通常生成一个圆形或椭圆工具运动，带动支撑结构以共振一维或二维的方式频率振动。Moriwaki 和 Shamoto 共同开发了如图所示的二维超声振动辅助系统^[38]。附加在梁结构侧面的压电驱动器以相反的方向进行激励，从而使梁在进给方向和垂直的方向产生弯曲。两个驱动器之间存在象差，梁在节点处支撑。梁端的弯曲振动放大了由压电薄膜产生的振动。金刚石工具安装在梁的末端，两个正交的振动将使其以椭圆的路径发生运动。该套系统的振动频率在 20-40 kHz 之间。

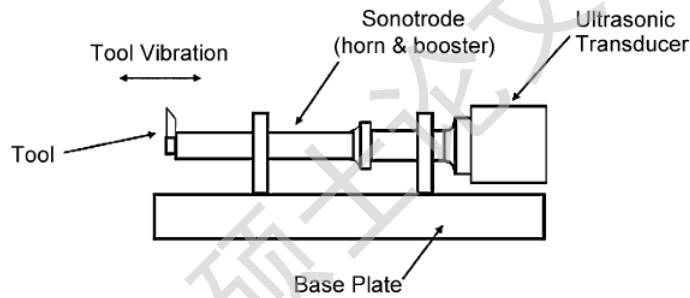


图 1.3 使用超声生成器的典型 1D UVAM 系统^[16]

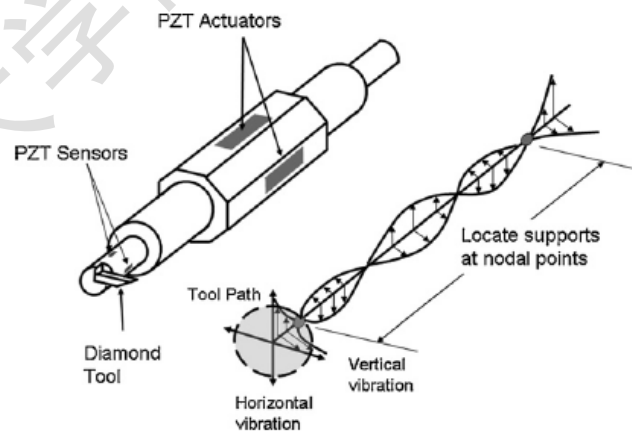


图 1.4 2D 共振超声振动辅助加工系统 (Shamoto and Morwaki)^[38]

Y. Wu 等开发了如图 1.5 所示的二维超声振动辅助加工系统，称为超声鞋 (ultrasonic shoe)^[39]。在该装置中，四片 PZT 分为二组粘附在一个弹性金属固体上。两组 PZT 上施加不同相位的电压。在不同超声函数电压的驱动下，弹性固体发生

弯曲振动和径向振动相结合，形成二维超声振动。

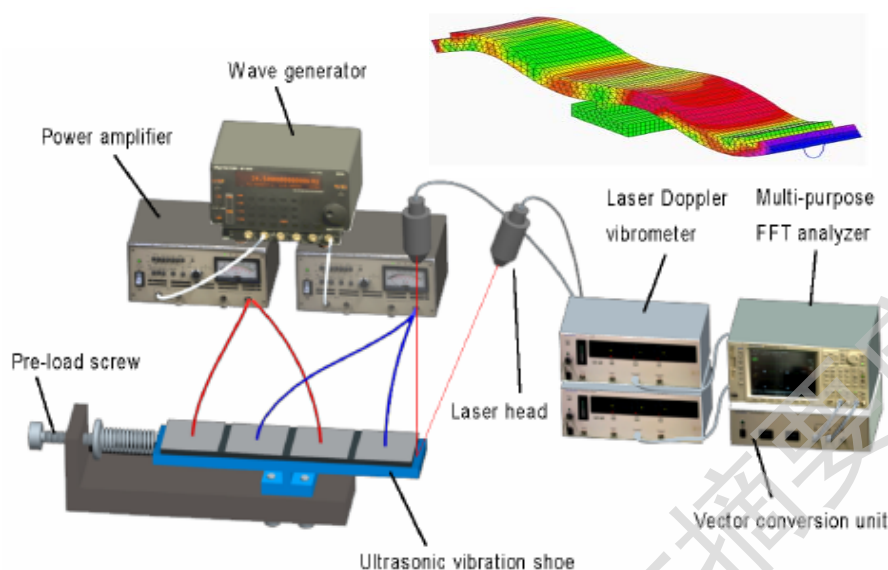


图 1.5 超声振动鞋^[39]

在图 1.6 所示的是由浦山国立大学开发的非共振二维超声振动辅助加工系统中，正弦电压信号施加在压电驱动器上，使其以低于共振频率的频率发生收缩或伸长。压电驱动器的线性运动经由一个机械转换器被转换为工具的椭圆运动^[40]。压电驱动器以正交的方式分别安置在进给和垂直的方向上。金刚石刀具安装在两正交梁交点的外侧

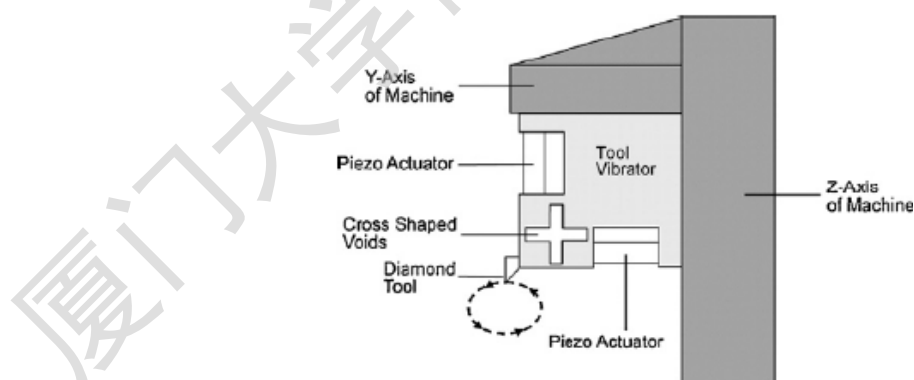


图 1.6 分共振 2D超声振动辅助加工系统^[40]

图 1.7 所示是由北卡罗来纳大学开发的一种非共振二维超声辅助振动系统^[41, 42]。两个平行的驱动器上施加正弦电压信号。工具的装夹器充当一个将驱动器的线性运动转换为椭圆运动的机械连接器。这种装置的优点是可以通过调节所施加的电压和相位差来改变该装置产生的椭圆振动的路径、椭圆振动比率和振动方

向。

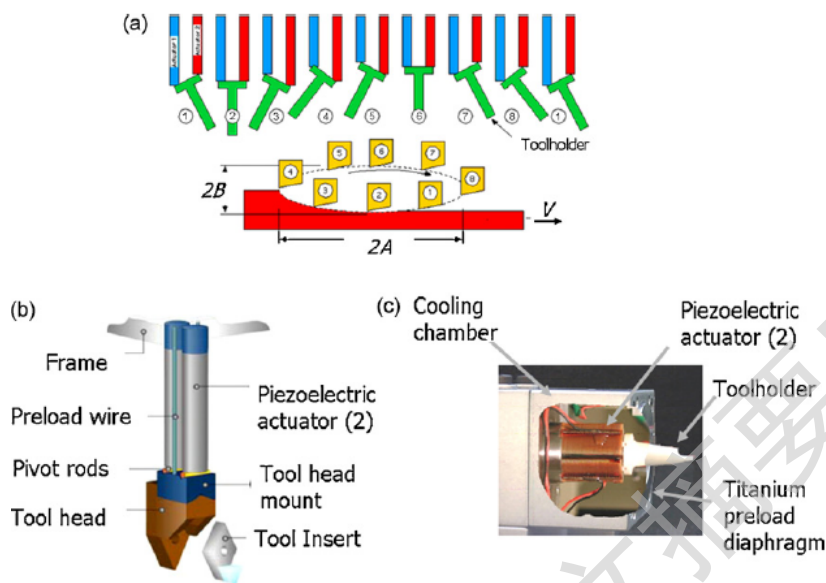


图1.7 非共振2D超声振动辅助加工系统^[16, 41, 42]

(a) 工作原理；(b) 低频空气冷却样机；(c) 高频连续冷却PZT

1.3 文献综述

超声振动技术已经被广泛的应用于多个制造和加工手段中，例如切削^[43]，磨削^[44]，钻^[45]，铣削^[46]和电火花加工^[47]。而且，Y. Wu等甚至将超声技术应用到无心磨的加工制造中^[48, 49]。

在本节中，将主要集中于超声辅助切削和磨削的文献综述介绍。

1.3.1 超声振动辅助切削加工

超声振动辅助调制开始是应用于切削加工领域。Skelton^[50]提出了超声振动可以用于降低加工工件材料在切削加工中的机械阻抗。Takeyama^[51]通过实验表明超声振动辅助加工对于改善加工中的切削力和表面质量很有效。Kim和Kwak分析了一维超声振动辅助切削加工的运动学^[52]。

有关二维椭圆振动辅助切削加工的报道出现在^[53]。自从那以后，一些椭圆超声振动工具也相继开发出来，而且他们优越的加工性能在难加工材料的加工方面已经得到了充分的证实^[14, 54, 55]。近来，这种技术已经被实际应用到超精密金刚石切削加工磨具和光学元器件中。Ahn等人^[56]讨论了通过利用二维超声振动辅助加工的方法来改善微加工精度的可行性。通过对集中微加工状况的工具路径模拟和

实验,二维振动切削可以极大地减小切削力,并可得到更加光滑和少毛刺的表面。

超声振动辅助切削 (UVAC)作为一种精密加工手段,已经被Kim和Choi^[57]等人应用到光学塑料和镜片的加工中。以较小切深加工得到的工件表面呈现出了明显的延性域加工表面特性。切削的实验结果证实可超声振动辅助加工的手段,以低切削速度的方式实现延性域的加工^[29]。Moriwaki等应用在切削方向上施加超声振动辅助超精密加工的方法进行了延性域切削加工苏打玻璃的实验^[24]。结果发现超声振动辅助可以将脆性与延性域转换的临界切削深度从普通加工的 $0.2\mu\text{m}$ 增加到 $1.4\mu\text{m}$ 。Liu等也通过碳化硅的超声振动辅助微沟槽实验手段发现可以提高延性域转换的临界切深^[58]。切削硅基片的延性域转换的临界最大切屑层厚度随着切削工具刃半径变化。切削刃的半径越大,临界转换深度也变大^[59]。Liu et. al.^[60]等还发现切削速度对延性域切屑形成的方式有重要的影响。

Nerubai研究了超声振动对摩擦性质的影响,以及对难加工材料的切削时的接触作用物理机理^[61]。Smith等人^[62]使用有限元分析的手段模拟了采用超声振动辅助切削硬脆性材料的断裂过程。Shamoto等人建立了正交椭圆振动切削过程的解析模型,在该模型中,速度、力和振动都以切削刃垂直^[63]。Shamoto^[64]等提出了一个三维椭圆振动切削模型,用于模拟切削的力学特性,并将模拟结果和其他学者所得的实验数据相比较^[63,65,66]。结果表面超声振动的存在可以减小或者是摩擦力反向,这将导致切削力、切削能的减小,并降低发热效应。

总之,微加工出现的微尺寸效应使切削过程中的单位切削力增大,这将引起形状变形、颤振和毛刺等有损光学元件形状精度和表面粗糙度的不利情形^[67]。许多研究已经倾向于提出新的方法来克服前述问题。这些研究如集中在开发具有较小热变形刚性结构加工工具、微进给装置和微加工本身的各个方面。而振动辅助切削加工是一项通过振动工具和切屑间的间歇空气动力润滑的方式而有助于降低加工中尺寸效应的有效方法^[53,68]。

1.3.2 振动辅助磨削加工

由于磨削加工可加工得到精确的形状精度,因此,它是先进材料的一种有利的加工手段。然而,磨削加工通常会在加工表面引起一些意料之外的表面或压表损伤,而这些损伤的去除往往需要进行二次加工予以去除(如研磨)。尽管现在有可能采用延性域磨削的加工方法实现硬脆性材料无压表面裂纹的加工,但由于该

种方法采用非常小的切深完成的,因此,限制了加工的材料去除率(MRR),从而提高了生产成本。为改进传统磨削加工,将高频振动引入磨削加工成为一种新的发展趋势。在本节中,将对振动辅助磨削加工的文献进行概述。

事实上,超声振动辅助磨削加工(UVAG)是一种结合了金刚石磨削加工材料去除机理和超声加工特点的复合磨削加工技术^[69]。目前,对超声辅助振动磨削加工的控制影响参数(砂轮转速、振动幅度与频率、金刚石类型、磨粒尺寸、结合剂类型、冷却液和压力等)对磨削加工性能(材料去除率、切削力和表面粗糙度等)的影响已进行了大量的研究^[70, 71]。Wang等通过实验证实振动辅助磨削加工中,横向进给方向的磨削表面粗糙度影响最大^[72, 73]。结果表面磨削得到表面粗糙度在进给和横向进给方向都得到了改善,而且还可以起到降低磨削力的效果。Yan和Zhao等人进行了平面内椭圆超声振动辅助磨削加工的试验,结果表明可以显著降低表面的粗糙度^[74, 75]。G. Spur等人进行了大量的缓进给磨削和平面磨削实验^[8],并将得到磨削力、表面光洁度和径向砂轮磨损的结果与无超声的相比较,结果发现有超声振动辅助的磨削效果更佳^[76]。Hanasaki 等人在缓进给磨削中引入低频振动调制,发现表面毛刺的形成随幅度的增加而降低^[77]。Poletaev 与Khrulkov 利用超过 40MHz的频率对硬化镍合金进行了超声振动磨削试验,结果发现可以降低表面裂纹和减少表面毛刺的形成^[78]。Akbari等人对超声振动辅助大切深磨削氧化铝精细陶瓷的试验和有限元模拟的综合研究,结果表明超声振动辅助可以改善表面粗糙度和降低裂纹的发生,并且还可以降低磨削力^[79]。Qu 等还发现超声振动辅助磨削还可以降低工件亚表面的损伤^[75]。

与切削加工相比,磨削加工是一种会产生大量热量的高能耗加工手段。实际上,普通磨削中 90%以上的能量由于摩擦原因而转化为热。由于可能破坏表面的质量,进入工件的热对工件的加工质量具有重要的影响。过分的发热将会导致工件烧伤、热软化和形状变形等后果。除对工件的加工质量有影响外,生成的热将加速磨削加工过程中砂轮的磨损,而且还须增大冷却液的使用。温度也会影响材料的去除机理:暂时软化工件的材料,这是由于磨削中产生的高温金额促进硬脆性材料在加工过程中的塑性流动。Colwell等人的实验证实在磨削加工过程中引入高频振动可以有效降低热裂纹的发生^[80]。Markov^[81]和Ishikawa^[82]等人认为高频振动可使磨削加工获得更好的润滑效果。而且,更多的研究人员发现高频振动

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库