

学校编码: 10384
学号: 19920061151831

分类号_____密级_____
UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

免修整气动端面行星运动式金刚石磨具的研究

Research on Penumatic Diamond Grinding Tool with
Planet Structure but Avoiding Dressing

毛 芳 萍

指导教师姓名: 姚 斌 教授

专 业 名 称: 机械制造及其自动化

论文提交日期: 2009 年 06 月

论文答辩时间: 2009 年 月

学位授予日期: 2009 年 月

答辩委员会主席: _____
评 阅 人: _____

2009 年 06 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

在机械制造业中，磨削工艺是最常用的加工方法，尤其适合于加工难以切削的脆硬性材料(如玻璃，硬质合金钢等)。伴随许多新型硬脆材料（工程陶瓷、非晶微晶合金等）的大量涌现，使得对磨削的理论与应用研究变得更为重要。尽管对这些材料存在多种其它加工方法，但最实用的、最经济和可靠的加工方法仍是用超硬磨料砂轮进行粗磨、精磨、以及研磨和抛光等。

为了提高脆硬性材料的加工效率，本论文主要提出了一种新型的磨削工具——行星运动式免修整磨具。该磨削方式主要特点有：1) 利用气动系统驱动磨头高速旋转，带动薄壁杯形金刚石磨头进行磨削；并将该装置安装在可自行旋转的主轴上，形成行星运动模式，使得转速和磨削面积增大；2) 利用金刚石砂轮的自锐性和内冷却系统对磨屑等的高压冲刷，使磨头在磨削脆性材料时免去修整，减少了磨削过程的辅助时间，提高了生产效率。

围绕课题的研究，论文工作主要包括以下几方面的内容：

1. 难加工材料的加工及磨削方法的发展现状。
2. 磨削的基本概念和相关理论。
3. 根据磨削原理及相关试验参数的计算，确定试验平台方案。
4. 利用 3D 建模软件设计出磨具的结构，并运用软件的仿真功能进行运动仿真，受力计算和对比优化。
5. 进行磨削试验，运用 KISTEL 测力仪器测量出磨削不同材料表征磨削特性的工艺参数，并进行了分析；再对磨削工件的表面形貌进行对比分析，对磨削工具进行磨削前后磨损情况的比较，定性证明该磨削方法在磨削部分材料（如玻璃）时的实用性。

关键词：磨削；行星运动；磨具；免修整；超硬材料

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

Grinding is one of the most frequent machining technism in the manufacture. A lot of experiments have indicated that grinding is fit way for machining brittle-hardened material, such as glass, carbide. On account of the appearance about new material, especially the brittle-hardened material, the reserch of grinding becomes more important. In despite that there are many other ways to process these new material, however, the most available way makes use of ultrahard abrasive grinding wheel for rough grinding, fine grinding, lapping finish and polish the material.

Inorder to improve the efficiency of grinding brittle-hardened material, the paper brings forward a new grinding principle—planet structure and avoiding dressing grinding. The main points of this grinding style are showed: 1) Utilise the advantage of pneumatic system, which has low cost and high driving speed, and use pneumatic motors to drive the grinding cutter; these motors are putted in a rotated shell which is installed on the spindle of the lathe; the planet style can get the higher ratated speed and more machining area. 2) The grinding cutter could be shown not to dress wheel oweing to selfshap of grinding wheel and inner-cooling system. At the same time, the production efficiency will be incresed but the assistant process time will be reduced.

The main contents of this thesis are as follows:

1. Presently, development of process and grinding on hard-brittle material;
2. Basic concept of grinding and the related theory;
3. According to the grinding principle and related calculation, the test platform adopting lathe and the type of experiment tools are confirmed.
4. The structure of grinding tool is designed by 3D modeling software. And then motion simulation and calculation of loading force are carried out via using the simulation function of software. After comparing and optimizing, structure about each

part of grinding tools is made certain.

5. During the test of grinding, the characters of grinding, like grinding force, are measured by KISTEL instrument. After test, the grinding force is analysed. The surface roughness of each grinded workpiece is showed under microscope. Meanwhile, the wear of grinding wheel between before-machining and after-machining are compared. Through comparing each result, it is proved that this grinding way is fit for grinding parts of material, such as glass and marble.

Keywords: planet motion; abraser; avoiding dressing; brittle-harden material; grinding

目 录

第一章 绪论	1
1.1 引言.....	1
1.2 难加工材料加工及磨削方法的发展现状	2
1.3 采用行星磨具所解决的实际问题和创新特点	3
1.4 本课题研究的主要内容	5
第二章 磨削加工的相关概念	6
2.1 关于磨削的一些基本概念	6
2.2 与该项目相关的磨削机理	11
2.3 本章小结	20
第三章 实验方案及平台的选择和设计	21
3.1 实验工具的确定	21
3.2 实验工具的选择和确定	22
3.3 本章小结	28
第四章 免修整行星磨具的结构设计和运动仿真	29
4.1 与机床主轴尾部链接端的设计	29
4.2 与机床三爪卡盘相连的旋转壳体的设计	30
4.3 内冷却系统的设计	30
4.4 本章小结	32
第五章 端面磨削实验中磨削力的测量与分析	33
5.1 测力装置的介绍	33
5.2 测力前的准备	35
5.3 测量力的分析	38
5.4 本章小结	44
第六章 工件表面形貌与粗糙度以及磨具磨损的分析	45
6.1 工件磨削表面的形貌分析	45
6.2 金刚石磨头磨削表面的磨损分析	53
6.3 本章小结	56
第七章 结论和展望	57
7.1 总结.....	57
7.2 展望.....	58
参考文献.....	59

致 谢.....64

攻读硕士期间发表的学术论文和所获奖励65

厦门大学博硕士论文摘要库

CONTENTS

Chapter 1 Preface	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 Development Situation of Process and Grinding on Hard-brittle Material	2
1.3 The Solved Problem and Innovation about Adopting the Planet Abrasive-tool	3
1.4 Main Content of this Paper	5
Chapter 2 The Relevant Conception of Grinding Process.....	6
2.1 Basic Concept of Grinding	6
2.2 The Related Grinding Theory about this Item.....	11
2.3 Summary of this chapter	20
Chapter 3 Choose and Design of Experiment Scheme and Platform	21
3.1 The Confirmation of Experiment Scheme	21
3.2 The Choose and Confirmation of Experiment Tool	22
3.3 Summary of this chapter	28
Chapter 4 The Structure Design and Kinematics Simulation of the Planet Abrasive-tool Avoiding Dressing.....	29
4.1 Design of the Link-equipment attached to the Spindle of Lathe	29
4.2 Design of Rotated-shell linked to the Three-jaw Chuck of Lathe	30
4.3 Design of Inner Cooling System.....	30
4.4 Summary of this chapter	32
Chapter 5 Measurement and Analysis of Grinding force in the face Grinding Experiment	33
5.1 Introduction of Measure Equipment	33
5.2 Preparation before force Measurement.....	35
5.3 Analysis of Grinding Force	38
5.4 Summary of this chapter	44
Chapter 6 Analysis of Workpiece about the Surface Topography ...	45
6.1 Analysis of Workpiece about the Grinding Surface Topography	45
6.2 Micro Topography of the Diamond Tool on Grinding Surface.....	53
6.3 Summary of this chapter	56

Chapter 7 Conclusion and Outlook.....	57
7.1 Conclusion	57
7.2 Outlook.....	58
References	59
Acknowledgement	64
Paper published and honour received	65

厦门大学博硕士论文摘要库

第一章 绪论

1.1 引言

磨削加工是利用磨料去除材料的加工方法，它是人类最早使用的生产技术方法之一，是人们在使用这项技法的同时，通过研究磨具与工件在磨削加工过程中的各种物理现象及其内在联系创造出的一门学科——磨削原理。其研究内容主要包括磨屑形成过程、磨削力和磨削功率、磨削热和磨削温度、磨削精度和表面质量、磨削效率以及磨削工具等。研究磨削原理的目的在于深入了解磨削的本质，并据以改进或创造新的磨削方法^[1]。

磨削的用途非常广泛，如对外圆、内孔、平面、螺纹、齿轮、花键、导轨和成形面等各种表面进行精加工。在磨削过程中，作为切削工具的砂轮磨粒以较高的速度对工件表面进行加工。普通磨削时，砂轮速度一般是 35 m/s ，比一般车削速度高出十倍以上；而高速磨削时，砂轮速度则可高达 $45\sim 120\text{ m/s}$ 或者更高。由于高速及超高速磨削的出现，使得磨削成为生产率高，加工质量好的一种重要加工手段。加工质量主要表现在磨削的加工精度可达 IT5~IT6 级，表面粗糙度 Ra 一般可达 $0.08\text{ }\mu\text{m}$ ^[2]。近些年，由于砂轮的制造技术，控制技术，运动部件的驱动技术等的发展，磨削技术及磨削装备也随之取得进一步的提高^[3]。

随着近些年对工程陶瓷、钛合金、超高强度钢、玻璃等被广泛运用到航空航天、交通运输、能源、精密机械等高科技领域的脆硬性材料的研究和应用，也衍生出一些新的磨削方法。因为对于大多数难加工材料的加工，特别是表面成形的加工，磨削是一种最实用，最经济和可靠的加工方法^[4]。而目前所做的研究大部分是提高或者改进磨削方法，使之能更有效的针对这些难加工材料进行磨削。为了顺应当今创新研发的主流，课题组研发了一种新型的磨削工具，专门应用于脆硬材料的大面积磨削上。

该磨具名为免修整气动端面行星运动式金刚石磨具，由于此工具在结构和用途上在国内外为首列，因此特申请了国家专利，专利号为：ZL 200610080087.3。经过一年多的设计制造和实验研究，该论文针对这一磨具所

达到的效果进行了评述，定性证明了其在一定范围内的实用性。

1.2 难加工材料加工及磨削方法的发展现状

随着科学技术的不断发展和人们生活水平的不断提高，许多新型装备对整体工作性能和各项综合技术指标都提出了越来越高的要求，特别是航空航天领域和军工领域以及特种行业，此项要求更加苛刻和严格。这些现象都促使了难加工材料的日益普及和广泛应用，因此对其现有的加工技术也提出了新的挑战。很多学者和研究机构都在为此做一些深入的探索，来扩大难加工材料的加工领域。一般来说，其加工方法分为切削加工和特种加工两大类。切削加工是应用范围最广的传统加工方法，包括金刚石切削加工，磨削加工等。近 20 年来，国内外对超硬材料切削加工的研究，主要集中在材料的去除机理，加工新工艺等方面。与切削加工相对应的，特种加工技术是直接借助电能、热能、声能、光能、电化学能以及特殊机械能等多种能量或其复合以实现材料去除的加工方法。常用特种加工方法有碳弧气刨加工、电熔爆加工、电火花加工、激光加工和超声加工，以及近年新出现的短电弧加工新工艺^[5]。目前，相对切削加工而言，特种加工方法成本高，加工效率也比较低，只有在一些特殊要求，或者要达到特殊效果时才会采用。一般认为磨削加工着手更现实、可行和经济。并且用磨削方法加工这些脆硬性材料已经有很多年的研究历史，这也更易于在开发新型加工工具时有所借鉴。

磨削加工就是通过高速旋转砂轮的磨粒对材料表面进行挤压，使之产生塑性变形或脆性断裂从而去除材料，形成新的表面。近年来磨削技术正朝着采用超硬磨料，使用高效磨削工艺和 CNC 磨床系统的趋势发展。一般来讲，按砂轮线速度的高低将磨削分为普通磨削 ($V_s < 45m/s$)、高速磨削 ($45 \leq V_s < 150m/s$)、超高速磨削 ($V_s \geq 150m/s$)。按磨削精度将磨削分为普通磨削、精密磨削(加工精度 $1\mu m \sim 0.1\mu m$ 、表面粗糙度 R_a 为 $0.2\mu m \sim 0.1\mu m$)、超精密磨削(加工精度 $< 0.1\mu m$ 、表面粗糙度 $R_a \leq 0.025\mu m$)。按磨削效率将磨削分为普通磨削、高效磨削。高效磨削包括高速磨削、超高速磨削、缓进给磨削、高效深切磨削(HEDG)、砂带磨削、快速短行程磨削、高速重负荷磨削^[6]。近年，

日本研制了一台超高速外圆磨床，其线速度 V_s 可达 $160 \sim 260m/s$ ，使用氧化铝、碳化硅、立方氮化硼、金刚石等磨粒制成的砂轮、砂带对硬脆材料进行磨削加工，可获得圆度误差为 $1\mu m$ 、加工精度达 $1\mu m \sim 0.01\mu m$ 、表面粗糙度 R_a 是 $0.1\mu m \sim 0.05\mu m$ 的磨削效果。随着新型材料的不断涌现，以及对工件加工精度要求的不断提高，对磨削加工工艺也提出了更高的要求。

1.3 采用行星磨具所解决的实际问题和创新特点

磨削加工是一种广泛应用于精度、表面质量要求高的精密切削方法。对于目前用传统刀具难以切削的硬质材料，如陶瓷、金属陶瓷复合材料、晶体材料等新型材料，磨削加工是最主要，最可靠，最经济的方法^[2]，伴随精密加工技术的发展，磨削加工的应用领域越来越广泛。但是现有的磨削技术，以金刚石磨具为例，存在以下弊端：

1. 砂轮在使用和冷却方面存在的问题

1) 一般金刚石砂轮在使用期间，沿磨具宽度方向上，可使用的区间仅是有限的一段，即一个磨具在不断磨损和修整直至结束使用，至少60%以上的磨料始终没有参与加工而被浪费^[7]。

2) 在磨削方式上，凡是增大砂轮与工件接触面积的磨削会使磨削力大增，磨削区温度升高，灼伤工件的表面；同时会产生大量的磨屑，加剧砂轮的堵塞。这些因素成为大面积磨削的瓶颈，阻碍了加工效率的提高。

3) 现用的砂轮的转动惯量很大，但由于只有小部分面积参与磨削，很多能量都做了无用功，浪费了能源。

4) 一般磨削都采用外冲冷却方式，由于磨削液受离心力和气流的作用，向磨削区的渗入比较低，使得砂轮的耐用时间短，冷却效果也差^[8]。

2. 金刚石砂轮在修整方面存在的问题

目前常用的金刚石砂轮修整技术有GC杯形砂轮修整，电解修整，电火花修整^[9]，以及最近新研究的激光修整方法，但是这些修整技术都存在一定的局限性。采用杯形砂轮修整，修整工具损耗较快；电火花修整精度高，但修整速度较慢；电解修整速度快但难以整形，并使修整后工具的表面粗糙度不理想^[10]；

激光修整效率是普通修整方法的 5 倍左右，但价格昂贵^[11]。在磨削加工中，砂轮修整过程是磨削过程中必不可少的一部分^[12]。但是多次定期对磨具进行修整，既要浪费大量的生产辅助时间，又要采用一定专门的技术手段和制作一些磨具修整器具，既增加了劳动强度和加工成本，又降低了生产效率。

基于传统金刚石砂轮磨料使用率低，冷却不充分并需要多次修整等方面的问题，课题组经过大量的研究和探索，设计了一种不仅磨削宽度大、加工效率高、工具成本低，而且磨具不需要任何修整手段和工具进行修整，能够连续进行高速端面磨削的金刚石磨具。

该磨具设有气动传动装置、磨头弹簧卡套、压力冷却管、可旋转的气体分流器和旋转壳体等。运动原理如下：旋转壳体的端部与机床转动件连接。可旋转的气体分流器的一端与机床的高压气体管路相连，另一端通过轴承与旋转壳体相连。气体通过分流气管路驱动气动马达围绕旋转壳体的回转轴心线做行星式的运动，并且带动薄壁杯形金刚石砂轮高速旋转。

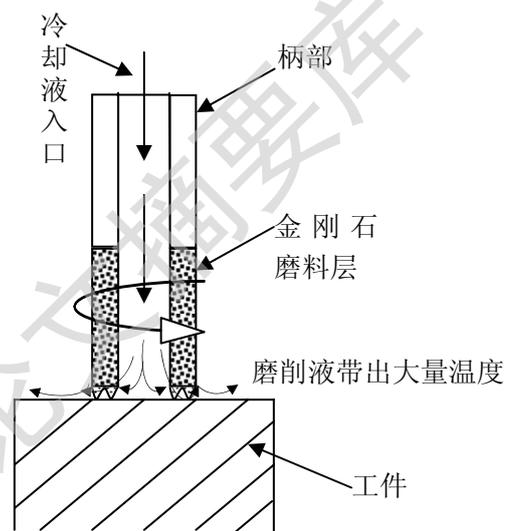


图 1-1 磨头加工工件示意图

根据所磨削工件的尺寸，可选择气动马达、分流气管路和磨头弹簧卡套的套数（一般设 2~4 套）。该装置属于行星运动式的气动传动磨具，主要应用于高速磨削加工超硬材料。该磨具的优点如下：

- 1) 采用的磨头（见图 1-1）为薄壁杯形金刚石砂轮，壁厚控制在 0.5mm 左右，大大减少了磨料的浪费。
- 2) 运用内冷却供液法，配送高压磨削液，冷却充分，加工时避免了磨头堵塞、脱落磨粒对工件表面的影响和磨削温度过高。
- 3) 在磨头的磨粒全部被消耗完毕后，柄部可以回收重新镀磨料，形成新的磨头。
- 4) 该磨具结构尺寸小，加工面积大，效率及精度高，只需对现有磨床稍加改造，即可使用。

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