

学校编码：
学号：19920071151174

分类号_____密级_____
UDC_____

廈門大學

硕士学位论文

平面多线型组合刀片数控刃磨技术的研究

**Research on CNC Grinding of the Planar Inserts with
Various Linetypes**

王媛媛

指导教师姓名： 姚 斌 教授

专业名称：机械电子工程

论文提交日期：2010年6月

论文答辩时间：2010年 月

学位授予日期：2010年 月

答辩委员会主席：_____
评 阅 人：_____

2010年6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

伴随先进制造技术的发展，材料硬度和精度高的刀具用量急剧增加，数控工具磨床已经成为刀具制造技术的前沿装备，而专用刀具刃磨技术的研究又是数控工具磨床研发的一个关键内容。尤其对于多线型不规则形状、零前角的组合平面刀片，一般以后刀面的刃磨为主，目前国外的刃磨软件价格昂贵，并且都是属于工具磨床制造商自行开发的，技术保密，不对用户开放，因此开展国产数控工具磨床以及配套软件的研发具有重要的现实意义。本文深入细致地研究了变参数平面多线型组合刀片的几何建模和数控磨削方法，并根据用户要求设计了一个可用于平面多线型组合刀片磨削加工的制造软件，实现了加工测量一体化。

论文的研究内容主要包括：

第一，简述了数控刃磨的相关磨削工艺，分析了数控工具磨床的组成以及主要技术参数，并且针对平面刀刃的测量提出了一种测板测量方法。

第二，通过包络理论，研究平面多线型组合刀片的刀位轨迹生成方法，建立正确的刀片刃磨数学模型，并分析了圆弧刀刃后刀面的平面包络方法以及在该方法下，工艺参数选取对加工精度的影响。

第三，基于三维软件的仿真原理，并利用 UG 平台，以 UG/OPEN GRIP 为开发工具，读取刀位点文件，模拟砂轮磨削加工刀片的过程，在虚拟环境下通过布尔运算得到刀片的三维实体模型，为提前分析数学模型的正确性提供了检验依据。

第四，基于 C++ Builder 开发平台，利用 FAGOR 8040 宏指令编制数控磨削宏程序，包括：测量子程序和粗精磨削吃刀深度判定子程序，解决刀片的在线检测和加工程序的快速自动生成。并针对刀刃是采用球形测头还是平面测板测量进行了比较，分析了在准确性和效率方面测板测量的优势。

第五，通过用户实际磨削试验验证，证明所设计的数控刃磨软件满足有效性和稳定性的要求。

关键词：刀片；磨削；刀位轨迹；在线检测；布尔运算

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

With the development of advanced manufacturing technology, the amount of using high-hardness material and precision cutter has increased, and CNC tool grinding machine has become the most forward equipment of cutter manufacturing technology. The research on special cutter grinding is a critical part of the developing of CNC tool grinding machine. It is mainly carried out on the flank face, especially for the grinding of the cutting edge of the planar inserts with zero rake angle and multi-linear edge. At present, the grinding software of the planar inserts is expensive and protected by manufacturers abroad, so it is very essential to research CNC tool grinding machine and its matching software. The modeling and CNC grinding of the planar inserts with various linetypes were deeply studied. The grinding software of the planar inserts was designed, and the functions of measuring and grinding for the planar inserts were realized.

The main contents of this thesis are as follows:

1. The related grinding process and mechanism of NC grinding were briefly introduced. The thesis analyzed the mechanical structure of CNC four-axis tool grinding machine and its main technical parameters. In order to measure the cutting edge of planar inserts, a structure designed with plate was presented.

2. Ways of obtaining the cutting location of the planar inserts with various linetypes were studied. The correct mathematical models were established. Envelope method of flank face on cutting edge and the effect of parameter selections on machining dimension were analyzed.

3. The principles of 3D simulation on grinding inserts were studied. With the help of UG /GRIP, tool-path data was read from the file and the process of NC grinding was simulated. Entity modelings of the inserts were obtained by Boolean operation in virtual environment, and the basis was presented for analyzing accuracy of the models.

4. Macro programming of NC grinding were developed by using C++ Builder and FAGOR 8040 system. The programs have the functions of measuring and judging of grinding depth between rough grinding and fine grinding. The generation of On-line measuring and machining program were realized rapidly. Comparing the measuring of cutter edge between spherical probe and measuring plate, the advantages of measuring plate in accuracy and efficiency were analyzed.

5. The testing results verified that the functions of the grinding software could meet requirements of the client, and they also evaluated the reliability and efficiency of software.

Keywords: Inserts; Grinding; Cutting Location; On-line Measuring; Boolean operation

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 选题背景.....	1
1.2 国内外数控工具磨床发展概况.....	2
1.3 刃磨技术的发展现状.....	4
1.4 本论文主要研究内容.....	5
第二章 数控工具磨床及相关磨削工艺.....	7
2.1 数控工具磨床的组成及主要技术参数.....	7
2.2 测头及测量原理.....	12
2.3 磨削加工工艺.....	16
2.4 本章小结.....	19
第三章 刀片的磨削加工轨迹分析.....	20
3.1 刀片的加工轨迹计算.....	20
3.2 圆弧刀刃后刀面的光滑包络.....	23
3.3 包络法对刀片加工精度的影响分析.....	24
3.4 本章小结.....	26
第四章 刀片刃磨软件操作界面的设计.....	27
4.1 开发语言的选定.....	27
4.2 软件界面设计.....	28
4.3 本章小结.....	38
第五章 刀片磨削过程仿真技术.....	39
5.1 UG/OPEN GRIP 简介.....	39
5.2 仿真原理.....	41
5.3 刀片仿真磨削的整体流程.....	42
5.4 实体建模.....	44

5.5 刀位点文件的生成.....	49
5.6 刀位点文件读取.....	50
5.7 刀片磨削过程的仿真实现.....	51
5.8 本章小结.....	54
第六章 自动检测及磨削程序的开发.....	55
6.1 FAGOR 8040 系统语言介绍.....	55
6.2 数控工艺编程及程序规划.....	58
6.3 测量子程序编制.....	61
6.4 粗、精磨削吃刀深度判定子程序的编制.....	66
6.5 实际试验加工.....	67
6.6 本章小结.....	67
第七章 总结与展望.....	68
7.1 总结.....	68
7.2 展望.....	69
参考文献.....	70
致 谢.....	73
硕士期间发表的论文.....	74
附 录.....	75

CONTENTS

Chapter1 Introduction	1
1.1 Background of Selected Topic	1
1.2 Developing Status of CNC Tool Grinding Machine at Home and Abroad	2
1.3 Developing Status of CNC Tool Grinding	4
1.4 The Main Work in This Paper	5
Chapter 2 CNC Tool Grinding Machine and The Related Process	
Technology of Grinding	7
2.1 The Structure and The Main Technical Parameters of CNC Tool Grinding Machine	7
2.2 Probe and The Measuring Principle	12
2.3 Process Technology of Grinding	16
2.4 Summary of This Chapter	19
Chapter 3 Tool-path Analysis of Grinding	20
3.1 Tool-path Calculation	20
3.2 Smooth Envelope of Flank Face on Arc Cutting Edge	23
3.3 Effect of Envelope Method on Machining Precision	24
3.4 Summary of This Chapter	26
Chapter 4 Design of Operating Interface of Grinding Software	27
4.1 Selection of Programming Language	27
4.2 The Design of Software Interface	28
4.3 Summary of This Chapter	38
Chapter 5 Simulation of Inserts Grinding Process	39
5.1 Introduction of UG/OPEN GRIP	39
5.2 Principle of Simulation	41
5.3 The Whole Flow of Inserts Grinding Simulation	42

5.4 Entity Modeling.....	44
5.5 Generation of The Cutting Location Files.....	49
5.6 Reading of The Cutting Location Files	50
5.7 Simulation of Inserts Grinding Process.....	51
5.8 Summary of This Chapter	54
Chapter 6 Programming of Auto-measuring and Machining Programs...	55
6.1 Introduction of FAGOR 8040	55
6.2 Programming of CNC Process and Planning	58
6.3 Programming of Measuring Subprograms	61
6.4 Programming of Grinding Depth Judging between Rough Grinding and Fine Grinding	66
6.5 Experiment of CNC Machining	67
6.6 Summary of This Chapter	67
Chapter 7 Conclusion and Outlook.....	68
7.1 Conclusion.....	68
7.2 Outlook.....	69
References.....	70
Acknowledgement	73
Paper Pubished.....	74
Appendix.....	75

第一章 绪论

1.1 选题背景

当前发达国家的竞争主要是制造技术的竞争。随着市场竞争的日益激烈，美国、日本、德国等发达国家都把发展先进制造技术列入工业、科技的重点发展技术，在生产技术的更新和开发研究方面投入大量的人力物力，使制造技术有了突飞猛进的发展。

随着飞机、汽车、船舶、机车、石油化工、冶金矿山机械、军工等机械制造行业的快速发展，切削加工技术成为现代精密制造技术的主导加工技术，大多数机械零件最后都需要机械加工^[1]。目前切削加工约占机械加工量 90%以上，切削加工技术仍然是机械制造业的基础，决定了机器零件的成本、精度、加工效率和质量。近年来高速机床、数控技术、切削动力学、切削工艺等技术的发展，尤其是刀具材料的发展，大大推动了高速切削技术的发展。而切削技术的发展又使刀具用量急剧增加，推动各种新型、不规则的刀具不断涌现。统计数据显示中国每年用于进口切削加工的刀具成本花费在 20 亿美元以上，尤其是多线型组合硬质合金刀片、陶瓷可转位刀片等形状不规则的刀片^[2]，如图 1.1 所示。



图 1.1 形状不规则的硬质合金刀具

在工业发达的国家，多线型组合的形状不规则硬质合金刀具的应用非常广泛。特别是高精度数控机床，通过采用组合平面刀片可以提高加工精度和生产

效率。

硬质合金等刀具材料的硬度很高，显微硬度值在 $13000\sim 18000\text{N/mm}^2$ ，而刀具的几何参数和刃磨质量直接影响到加工质量和刀具耐用度等刀具性能，因此，加工硬质合金刀具大多采用万能工具磨床或专用工具磨床^[3]。我国数控工具磨床和多线型组合硬质合金刀片研发起步较晚，加上发达国家对我国长期技术封锁和刀具的形状多样性和复杂性，硬质合金等超硬材料的数控刃磨机研发档次较低，与国外同类产品相比，差距甚大。目前，瑞士 AGATHON 和 EWAG 公司的四轴或五轴工具磨床、德国 JUNKER 和 Walter 的四轴或五轴工具磨床、日本 WAIDA 四轴或五轴工具磨床、意大利 CUOGHI 七轴工具磨床和五轴数控沟槽磨^[4]等为代表的国外公司趁机抢占中国市场，严重威胁到我国的制造业发展，因此，汽车制造、火电、风电设备、轧钢设备、深海石油钻探设备、船舶、航空航天、军工、工程机械、矿山机械等行业急需的高速、高精度形状不规则的硬质合金刀具受制于外国，造成许多先进设备和先进技术难以充分发挥其效益，大大约束了我国切削加工效率和效益的提高。为打破刀片刃磨领域中国外的垄断，满足工具行业的需求，研发一台精密数控工具磨床，并开发配套数控刃磨软件已刻不容缓。

本课题正是在这种形势下与咸阳数控机床厂合作，实现为贵铝研发一台四轴专用数控工具磨床，并配以自行研发的贵铝专用刀片刃磨软件。

1.2 国内外数控工具磨床发展概况

首台工具磨床是 1889 年美国辛辛那提公司开始制造的，发展初期一直进展缓慢^[5]。20 世纪 70 年代中期，随着世界制造业的发展和切削加工技术的市场需求，高端刀具刃磨引起世界各国的重视，数控工具磨床才迅速发展。目前刃形不规则、材料硬度和精密度高的刀具越来越多，数控工具磨床已经成为高端刀具制造技术的前沿装备。

近 20 年，随着信息、计算机、材料、微电子等现代技术的发展，超硬耐磨、耐热刀具材料和高性能伺服控制系统等关键技术也飞速发展。目前在数控工具磨床机构设计方面，根据用户需求，将机构各个功能划分成可互换的模块和独立零部件，通过选择模块来组装成不同性能规格的机床，从而大大提高了设计

制造周期，加速了机床的更新换代。另外，机床功能部件的发展也推动了机床的发展，例如，电主轴的发展使机床结构更加紧凑并实现变频调速的功能^[6-7]。

随着高速磨削机理的深入研究，高速磨削技术在欧洲、美国和日本等发达国家发展迅速。国外许多公司已将自动化、高精度和磨削软件开发作为数控工具磨床开发的重点，使刀具的加工更加灵活^[8]。目前市场上国外比较有代表性的磨床主要有以下几款：德国德克（MICHAEL DECKEL）公司生产的 S22 型工具磨床是典型立式五轴五联动数控工具磨削中心^[9]，与普通卧式磨床相比，具有结构紧凑、承载力强、动态性能好、加工行程短及便于装卸工件等优点。该磨削中心的砂轮库可容纳 24 个砂轮，可以实现各种形状、大小、材质和粒度的砂轮的自动更换。另外该机床数控轴转速高且精度达到微米级分辨率，因此能进行高精度磨削。同时磨削软件是图形交互式，刀具种类涵盖全面，加工编程和模拟方便快捷^[6]。意大利库菲七轴数控工具磨床采用精密滚珠丝杠驱动直线导轨，旋转轴采用谐波齿轮传动，实现五轴联动，电主轴输出功率为 4KW。机床的双端砂轮轴在垂直面内可以旋转，使纵向导轨的行程大大缩短。机床增加了附加轴，提高了前端带圆弧刀具的磨削工艺的合理性，OCTOPUS100 采用滤芯式冷却液过滤系统，过滤精度达到 2~5 μm ，实现理想冷却液过滤效果，从而大大提高了刀具磨削精度^[4]，如图 1.2 所示。

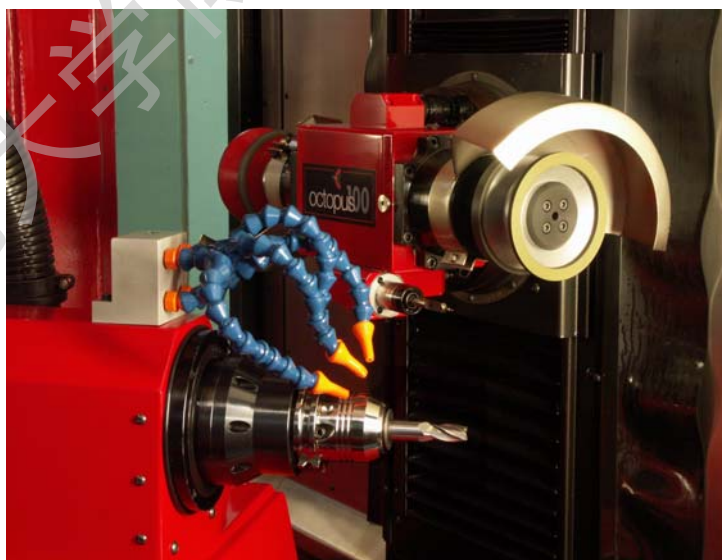


图 1.2 意大利 OCTOPUS100 磨削回转刀具

德国 Walter 的 Helitronic Power 系列刀具和工具磨床，有 Power Production、Mini Power Production、Power R 和 Power BG 型磨床，用于加

工阶梯刀、铰刀、扩孔钻和锥形切削槽的刀具^[10]，并可以实现刀具的在线补偿。瑞士 SCHNEEBERGER 公司的 GEMIN CNC 工具磨床是五轴五联动磨床，实现了无人操作，能够自动测量和自动上下料，主要用于生产和修磨各种不同形状的小尺寸刀具。美国 Hertlein 公司的 FG-3000 型工具磨削中心是用于加工螺旋槽和刃背的六轴五联动磨床^[11]。另外在磨削速度方面，目前欧洲实际应用的高速磨削的砂轮线速度已经达到 200~230m/s，德国 Aachen 大学实验室高速磨削速度达到 500m/s，日本的实际应用磨削速度达到 200m/s，并已研制出主轴最大转速 30000r/min、砂轮线速度 400m/s、最大功率 22KW 的实验室高速工具磨床。

我国于 20 世纪 80 年代初开始数控工具磨床的开发，由于日本、美国等发达国家一直限制对我国出口五轴联动的数控系统，加上数控功能部件的技术水平相对薄弱和刀具复杂曲面成形原理的自主性研究不足等因素的影响，我国对数控工具磨床的研究比国外整整落后了 20 年。近几年来，由于国家对重大装备技术的重视，数控磨床的研究有了一定的发展。武汉机床厂与华中理工大学联合研制的 MH6030 磨削中心，是六轴五联动，线性分辨率为 $1\mu\text{m}$ ，角度分辨率为 $0.001\mu\text{m}$ ；宁江机床厂与成都科技大学联合研制的七轴五联动工具磨床，采用西班牙 FAGOR 数控系统，是基于 MK2945C 四轴联动数控磨床改装而成^[12]；营口机床厂生产的 YK-010 八轴五联动数控工具磨床，采用的美国 A-B 公司的数控系统。虽然目前我国数控工具磨床的研究方面发展迅速，但是其研究和开发仍处于样机或者单台极少量试生产阶段，因此，未来国内数控工具磨床的研究应继续向着自主研究高速磨削基本规律、磨削成形机理以及高精度自动磨削软件等方面进行深入发展。

1.3 刃磨技术的发展现状

在刀具制造业中，刀具后刀面主要通过磨削的方法成形，尤其是平面多线型组合刀片^[13]。近几年来随着科学技术的发展，磨具也迅速发展，推动了刃磨技术的发展。磨具发展的主要代表是砂轮的发展，砂轮主要有 CBN 砂轮和金刚石砂两种，CBN 砂轮主要用于高速钢等工具钢的加工，加工精度高，而金刚石砂轮则主要用于硬质合金刀具的加工。目前砂轮的类型主要有四种，碗型砂轮、碟形砂轮、平形砂轮、开槽角度砂轮。其中碗型砂轮用于磨削刀具后刀面和后

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