

附件 5

湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划 项 目 申 报 表

项目名称:		螺旋有序排布 CBN-WC-10Co 纤维刀具及其切削研究		
学校名称	长沙理工大学			
学生姓名	学 号	专 业	性 别	入 学 年 份
莫宇航	201421030313	机械设计制造及其自动化	男	2014
廖九源	201421030323	机械设计制造及其自动化	男	2014
汪雨婷	201421030302	机械设计制造及其自动化	女	2014
詹 凯	201421030311	机械设计制造及其自动化	男	2014
刘兴华	201421030317	机械设计制造及其自动化	男	2014
指导教师	毛 聪	职称	教 授	
项目所属一级学科	机械工程	项目科类(理科/文科)		理 科
<p>学生曾经参与科研的情况</p> <p style="text-align: center;">刘兴华, 2016 年参加第十三届“鸿宇杯”长沙理工大学结构设计竞赛获得二等奖 莫宇航、汪雨婷, 2016 年参加长沙理工大学第六届工程模型比赛获得三等奖</p>				

指导教师承担科研课题情况

(1) 基于微量纳米颗粒悬浮液射流冷却的磨削相关机理研究，国家自然科学基金(51005024)，2011.1-2013.12

(2) 油雾水滴高压射流强化冷却技术及其对磨削性能的影响，湖南省自然科学基金(10JJ3056)，2010.1-2012.12

项目研究和实验的目的、内容和要解决的主要问题

(1) 研究目的:

旨在制备一种螺旋有序排布 CBN-WC-10Co 纤维刀具，并研究其切削性能，解决传统磨削加工过程中磨削力比大、磨削热高、冷却性能差、砂轮磨损严重等问题；开展螺旋有序排布 CBN-WC-10Co 纤维刀具设计参数的研究，实现纤维刀具的正前角加工；揭示刀具的螺旋型结构对磨削液的有效施加以及排屑的影响规律，为可正前角加工的螺旋有序排布 CBN-WC-10Co 纤维刀具的应用和推广提供理论基础和技术支撑。

(2) 研究内容:

① 纤维刀具的设计

研究螺旋头数、螺距和纤维间距等参数对纤维刀具切削性能的影响规律；

研究纤维螺旋型排布结构对其排屑和冷却能力的影响；

研究刀具前角大小的影响因素，使每根纤维均以正前角参与切削。

② 纤维刀具的制备

采用电火花线切割技术将块状的复合材料切割成纤维，并使用特定夹具将其夹紧，用 800 目金刚石砂轮进行刃磨，获得锋利的纤维微刃；

通过车削技术制备出基体，然后采用压制和烧结的方法制备出胎体—基体；

根据所设计的参数对胎体进行打孔，将制备好的纤维嵌入其中，并使纤维出刃高度保持一致。

③ 纤维刀具的切削性能研究

进行纤维刀具的切削实验，观察并检测纤维刀具切削过程中切削温度、切削力比、表面质量和纤维磨损的变化，揭示纤维刀具的切削机理；

开展与传统砂轮的磨削对比实验，分析刀具设计参数对切削性能的影响，并对其进行优化。

(3) 需解决的主要问题:

①如何实现纤维刀具的正前角加工

通过在基体内部设定基圆的方法使纤维微刃前刀面与胎体径向形成一定角度，从而实现纤维刀具的正前角加工。

②如何使纤维出刃高度保持一致

采用一种合抱新工艺，在环氧树脂胶未固化前，将刀具用抱箍抱紧并使抱箍与刀具同轴，从而保证纤维出刃高度一致。

③如何降低单根纤维微刃的磨损

通过改变螺旋线的头数、螺距和纤维的周向间距等参数，增加单位面积内纤维微刃的数量，减少单根纤维的切削量，从而降低纤维的磨损。

国内外研究现状和发展动态

在传统的磨削加工过程中，磨粒无规则分布，导致排屑困难、磨削区实际参与磨削的磨粒数量少，从而导致砂轮磨损严重；且砂轮磨粒形状随机，单颗磨粒的加工过程实质为大负前角切削过程，这样会导致磨削力比过大，使得工件与砂轮接触弧长高达2~3mm，磨削液难以进入磨削区，冷却性能差进而引起工件烧伤。

而在车削加工过程中，车刀的形状不仅可以自由的选择与更换，而且刀具对工件的加工是正前角加工，切削力比小，接触面积小，温度低，不会造成工件的烧伤。虽然说，车削加工时，背吃刀量大，切削效率高，但是相对于磨削来说，粗糙度大，加工精度低。

为了克服传统砂轮在磨削加工中所存在的种种不足，国内外相关学者在砂轮的设计与创新方面开展了大量的研究工作，并取得了一系列研究成果。

在改善砂轮结构方面，田栩^[1]提出并制备了一种高效开槽砂轮，其特点是在砂轮基体的上、下端面分别开设有一与砂轮基体同轴设置的上、下环形凹槽，在上、下环形凹槽内分别镶嵌有一与之相匹配的上、下环形轻金属镶件。这种砂轮虽然用镶嵌轻金属的方式减轻了砂轮的质量和主轴的负载，降低了磨削噪音，但在加工精度、表面粗糙度及生产效率等方面没有显著的提高。

在优化磨料形状方面，邓朝晖教授团队^[2]提出并制备了一种结构类似于盘形铣刀的有序化超硬微刃纤维砂轮（如图1），其特点是采用激光切割制备的聚晶金刚石纤维取代传统铣刀片，通过增加纤维数量以降低单个纤维的切削力、降低刀具的磨损与提高刀

具耐用度，同时纤维砂轮的分块结构有助于磨削液进入磨削区。但是该结构砂轮在本质上也属于断续磨削，可能会出现 Webster 等^[3]所指出周期性振动问题。

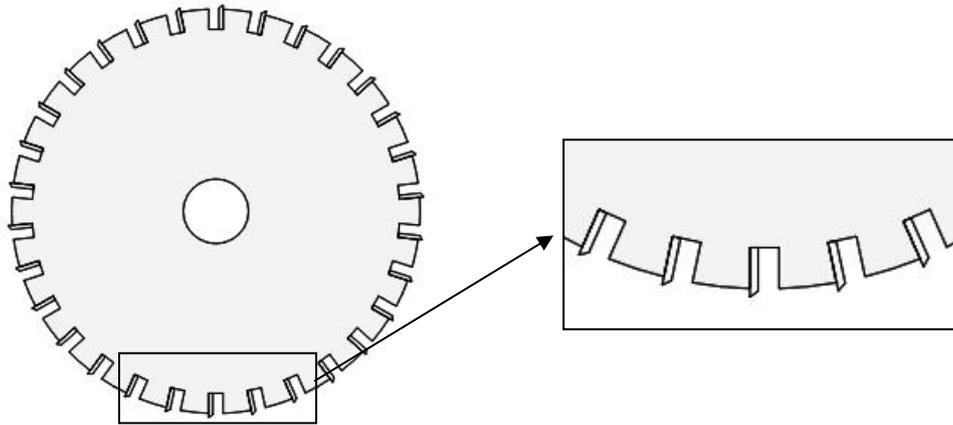


图1 有序化超硬微刃纤维砂轮^[2]

湖南大学张高峰教授等人^[4]提出和制备了一种结构类似于纤维砂轮的有序化超硬微刃刀具。实验采用激光切割聚晶金刚石复合片（PDC），制备出纤维状的 PDC 条以取代传统砂轮的磨粒与切削刀具的刀片；采用模具经人为排布实现 PDC 纤维的定向均匀分布；浇注环氧树脂制备出纤维片；然后在万能抛光机上实现纤维沿一定角度的刃磨以获得锋利平直的切削刃和一定的切削角度；最后将刃磨后的纤维片沿刀具芯体进行周向粘结制备出新型有序化超硬微刃刀具，制备的有序化超硬微刃刀具。

有序化超硬微刃刀具的纤维宽度在 0.2~0.5mm 之间，比传统的切削刀具尺寸小得多，同时参与切削的纤维数量远大于普通切削刀具的刀刃数，各纤维均具有锋利的刀刃与人为确定的切削角度和间隔距离，因而在获得较高的加工精度和表面质量的同时能保证较高的加工效率，但也存在断续切削现象且出刃高度难以保持一致，加工精度有限，相关工艺参数也有待进一步优化。

沈阳超硬中科磨具磨削研究所的郑永阁团队^[5]提出了一种高精密电镀 CBN 砂轮的制造工艺，该工艺是以电镀的方法将磨粒镀覆在基体上，提高了砂轮对磨粒的把持力，减少了磨粒的脱落，但是该砂轮工作磨粒层为单层，砂轮磨粒磨损后没有后续磨粒补充，其使用寿命受到一定程度的限制，而且电镀砂轮制作过程中要经过多次酸洗或碱洗，对环境有较大影响，同时该发明对砂轮制作的工艺条件比较严苛，工艺较为复杂。

在优化磨料排布方面，南京航空航天大学丁文峰教授团队^[6]提出并制备了一种磨粒三维有序分布的立方氮化硼砂轮，另外郑州磨料磨具磨削研究所的王亮亮团队^[7]提出了一种磨料的有序排列的电镀金刚石砂轮(如图2)的制备方法，通过人为控制砂轮基体表面孔穴的规则有序排列，实现了磨粒的规则有序排列，有效的解决了传统金刚石砂轮磨料层中金刚石磨料排布不均匀的情况。虽然通过设计孔穴的有序排布实现了磨粒的规则有序排列，但是在加工过程仍是和传统砂轮一样以负前角进行加工，这使得砂轮与工件的局部接触状态跟传统砂轮相比区别不大，改善磨削性能的效果有限。

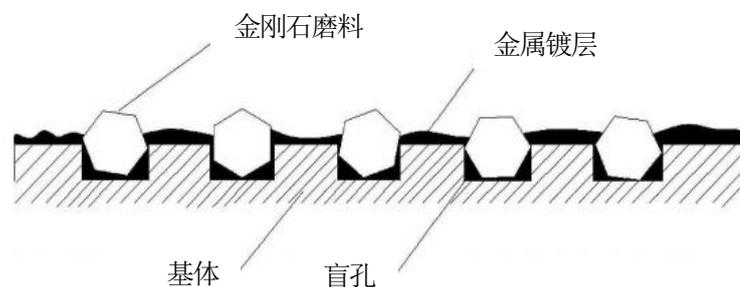


图2 电镀金刚石砂轮的结构示意图^[7]

大连理工大学的高航教授团队^[8]提出了一种磨料三维多层可控优化排布电镀工具制作方法，通过优化排布磨粒群来增大砂轮容屑空间。磨粒群优化排布可以增加砂轮的容屑空间，有利于磨削液的注入，降低磨削温度。但是目前学者所提出的磨粒优化排布砂轮主要是针对大颗粒磨料，其制造方法容易造成砂轮磨粒的分布密度下降，致使工件表面粗糙度增大等问题。

综上所述，目前广大学者针对磨削过程中的各种问题，在改进磨料形状和排布、提升磨削性能和提高磨削效率等方面进行了一些改进，并取得了比较好的效果，特别是零前角加工相比传统砂轮负前角加工有了很大的提升，较好地解决了磨削过程中的一些问题。但是，有两个关键问题一直没有得到很好地解决：其一是如何进一步改进纤维加工时的切削角度以获得更好的切削性能；其二是如何保证纤维出刃高度一致，使每根纤维均参与切削。

基于此，我们提出并制备一种螺旋有序排布纤维刀具，其特点是将纤维沿着刀具工作面呈螺旋有序排布(如图3)，且通过设定基圆的方法使纤维微刃前刀面与胎体径向形成一定角度，从而实现纤维刀具的正前角加工(如图4)，进一步提升切削性能；采

用合抱新工艺保证纤维的出刃高度一致，使每根纤维均参与切削，提高加工精度；并开展刀具设计、制备工艺及其切削性能研究。研究成果有望能为刀具的结构设计提供新思路，为该刀具的应用和推广提供理论依据。



图3 螺旋有序排布方案设计图

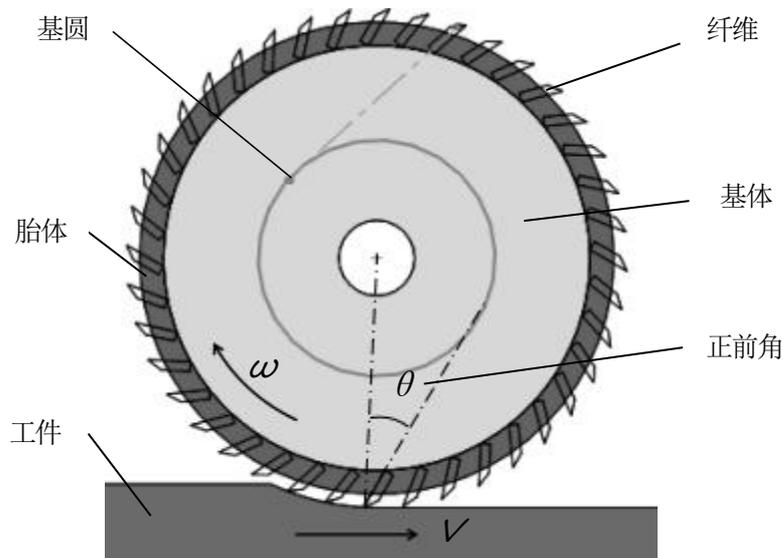


图4 螺旋有序排布纤维刀具基圆设计及正前角加工示意

参考文献

- [1] 田栩. 一种高效开槽砂轮. 中国发明专利, 2014: 201420860632.0.
- [2] 邓朝辉, 伍俏平, 张高峰, 张壁. 新型砂轮研究进展及其展望. 中国机械工程 2010, 21: 2632-2638.
- [3] Webster J, Tricard M. Innovations in abrasive products for precision grinding. Annals of the CIRP, 2004, 53: 597-617.
- [4] 张高峰, 有序化微刃刀具设计及基础研究: [湖南大学博士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2008.
- [5] 郑永阁, 王昆, 毛俭, 任虹. 一种高精密电镀 CBN 砂轮的制造工艺. 中国发明专利, 2009: 200910187247.8.
- [6] 丁文峰, 徐九华, 陈珍珍, 杨长勇, 苏宏华, 傅玉灿, 苗情. 磨粒三维有序分布的立方氮化硼砂轮及其制备方法. 中国发明专利, 2012: 201210203443.1.

[7] 王亮亮, 胡玉峰, 刘娜娜. 一种磨料的有序排列的电镀金刚石砂轮. 中国发明专利, 2015: 201510607685.0.

[8] 高航, 袁和平, 郭东明, 康仁科, 金洙吉. 一种磨料三维多层可控优化排布电镀工具制作方法. 中国发明专利, 2007: 200710010921.6.

本项目学生有关的研究积累和已取得的成绩

在大学的头两年半时光里, 我们学习了机械原理、机械设计、机械制造和工程材料等专业课程, 提升了对专业的认知。各组员的学习成绩均位于班上以及年级前列, 几乎年年都有校奖学金以及励志奖学金。在平时的课余时间, 我们注重提高了自己的综合能力, 通过了国家英语四六级考试, 自学了 AutoCAD、SolidWorks 等有关机械的软件。同时积极参与了学校组织的各种学习活动和比赛, 如金工实习、数学竞赛、CAD 比赛、结构设计、工程模型等。通过这些我们培养了自己的创新思维, 增强了实践能力和团队合作能力, 提升了动手能力和思维方式, 也接触到了许多优秀的同学。为了本次的研究项目, 我们提前查阅了许多有关机械制造和材料方面的资料和书籍, 对项目的背景有了一定的了解, 为顺利开展本次项目奠定了一定的基础。

经过项目前期的工作, 我们已取得一定成果, 制备出了刀具的胎体—基体、CBN-WC-10Co 复合材料, 并将复合材料切割成了纤维。如图 5-图 7 所示:

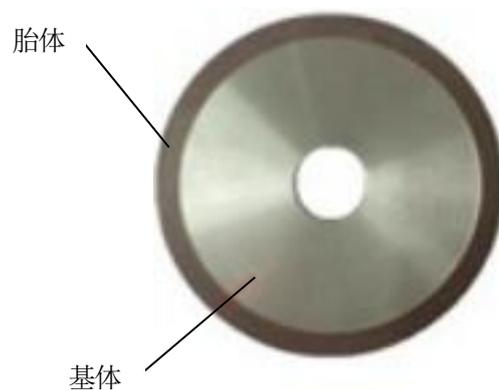


图 5 胎体—基体



图6 块状复合材料

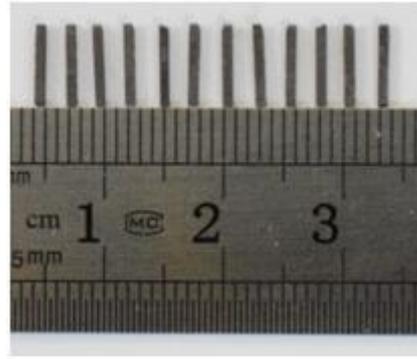


图7 纤维

项目的创新点和特色

- (1) 改变传统砂轮磨粒无序分布且为负前角加工的方式，使纤维有序排布并以正前角加工，大大的降低了磨削力比和磨削温度，提高了切削性能和加工效率。
- (2) 通过合抱的新工艺保证纤维出刃高度一致，使每根纤维均参与切削。
- (3) 改变螺旋线的头数、螺距和纤维的周向间距，增加单位面积内纤维的数量，降低了单根纤维的磨损。

项目的技术路线及预期成果

技术路线:

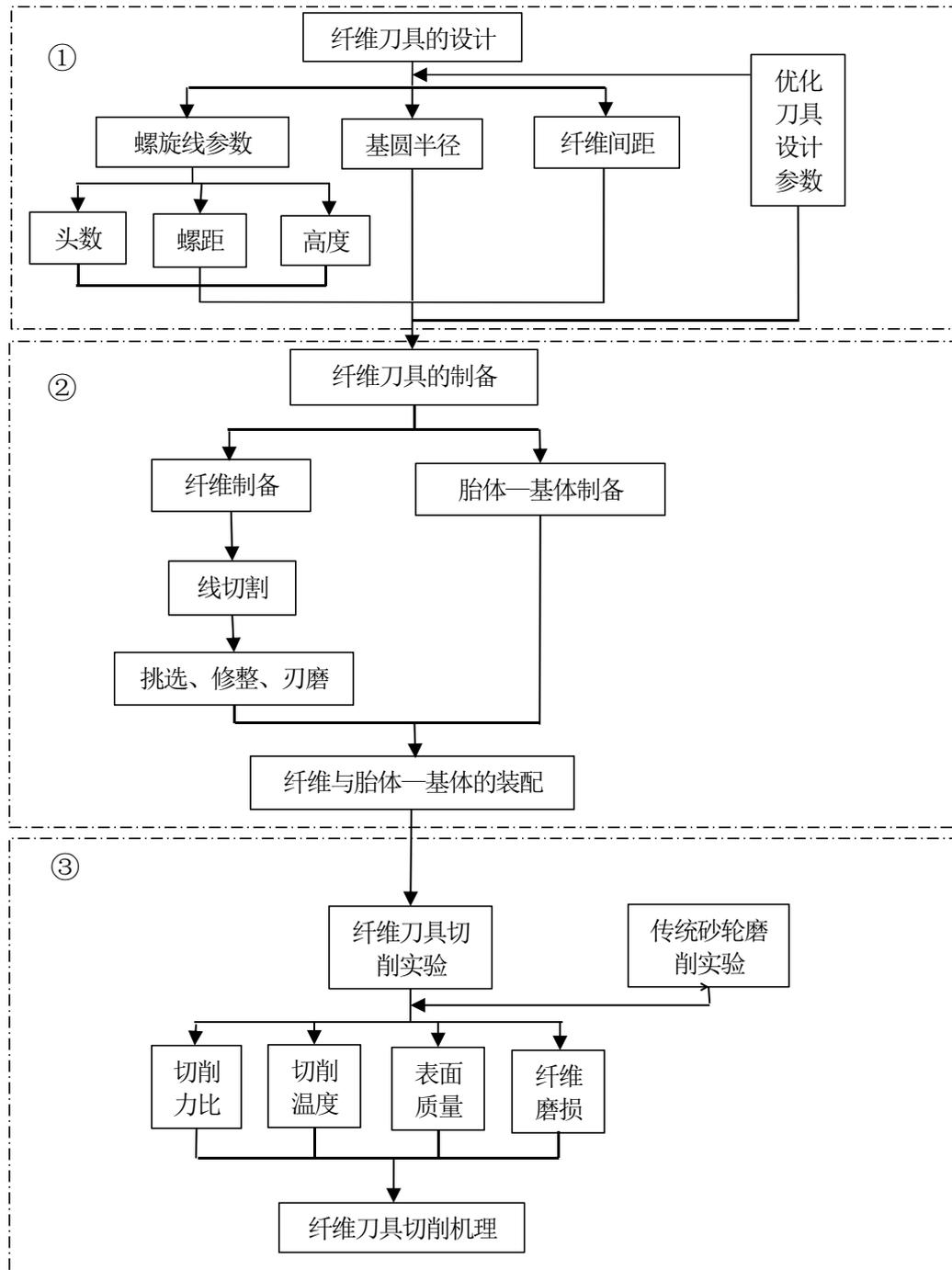


图8 技术路线图

项目研究总体技术路线如图8所示，主要分为三个阶段进行：

(1) 纤维刀具的设计

纤维刀具的螺旋结构不仅可以增大刀具的排屑能力,而且有助于切削液进入切削区,对切削区进行有效润滑冷却。通过设计计算,初步确定螺旋刀具的结构参数:螺旋头数为45、螺距为2.13mm、同一螺旋线上纤维周向间距为5.24mm(胎体每转3°钻一个孔)。

研究基圆半径对刀具前角、纤维间相互干涉情况以及纤维数目的影响,初步确定基圆半径为50mm。

(2) 纤维刀具的制备

采用电火花线切割技术将CBN-WC-10Co材料切割成尺寸为10mm×0.8mm×0.8mm的纤维,并使用特定夹具(如图9)将其夹紧,用800目金刚石砂轮对纤维进行刃磨以获得锋利的纤维微刃;刃磨后的纤维前角为0°、后角为55°。

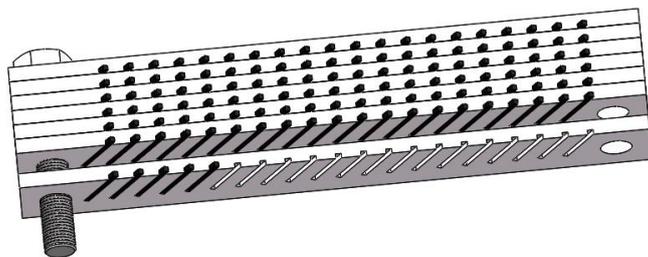


图9 夹具

采用车削的加工方法将铝合金材料制备成刀具基体,基体尺寸为 $\Phi 180\text{ mm} \times 15\text{ mm}$,内孔尺寸为 $\Phi 32\text{ mm}$ 。将导热材料、金属氧化物、固体润滑剂和造孔剂等材料按照比例混合后加入球磨机中球磨,将混合料装入模具型腔内,采用压制和烧结的加工方法与刀具基体制备成刀具胎体—基体,胎体—基体尺寸为 $\Phi 200\text{ mm} \times 15\text{ mm}$,内孔尺寸为 $\Phi 32\text{ mm}$ 。其中百分比为:酚醛树脂为60%,导热材料为18%,金属氧化物为12%,固体润滑剂为5%,造孔剂为3%;导热材料为铝粉,金属氧化物为 Fe_2O_3 ,固体润滑剂为 MoS_2 ,造孔剂为碳酸铵。在胎体圆周面上钻与径向成 30° ,尺寸为 $\Phi 1.2\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的小孔。

用注射器往小孔内注入环氧树脂胶,再用镊子将纤维嵌入胎体中,再通过合抱(如图10)工艺使其出刃高度保持一致。

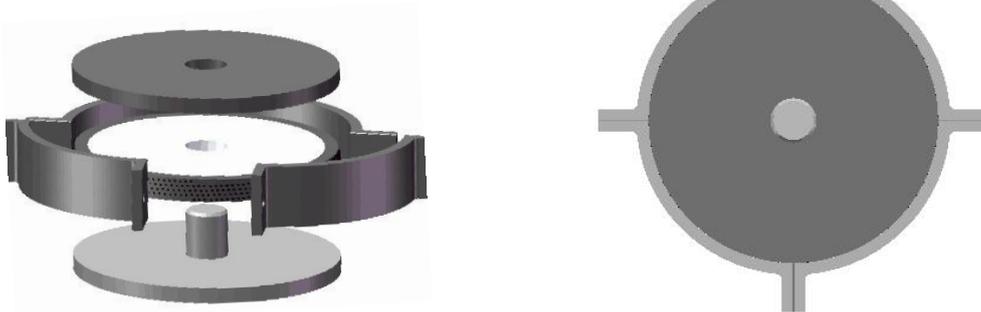


图 10 合抱示意图

(3) 纤维刀具的切削性能研究

采用杭州机床厂生产的 MGK7126×6 平面精密磨床进行纤维刀具切削性能实验，实验磨床主轴转速为 0-3000 r/min，加工工件的材料为 TC4 钛合金，尺寸为 20 mm×20 mm×10 mm，密度为 4.5 g/cm³，硬度为 30 HRC，屈服强度为 860 Mpa，抗拉强度为 950 Mpa。

采用 Kistler925BA 压电晶体测力计在磨床主轴带动转盘高速旋转时，在线测量切削力，得出纤维刀具切削力比。

采用红外测温仪检测纤维刀具加工时切削区的切削温度。

采用扫描电子显微镜观察实验后工件上切削划痕的表面形貌，采用光学轮廓仪观测实验后工件上划痕的三维形貌。

用传统砂轮在同一机床上以相同的加工参数加工相同的工件。从切削力比、切削温度及表面质量等方面进行纤维刀具与传统砂轮对比，然后分析刀具设计参数对切削性能的影响，并对其进行优化。

预期成果：

(1) 以有序排布的纤维取代传统砂轮无序分布的磨粒，并通过设定基圆的方法制备出一种正前角加工螺旋有序排布纤维刀具。

(2) 在国家核心期刊上发表论文 1 篇，申请发明专利 2 项。

年度目标和工作内容（分年度写）

2017.01-2017.03

设计纤维刀具的参数。

2017.04-2017.06

完成纤维刀具的制备。

2017.07-2017.09

进行试切实验，优化设计参数。

2017.10-2017.12

撰写论文并申请专利，完成项目汇报。

指导教师意见

此刀具可以实现正前角加工，与传统砂轮相比加工效率得到显著提高，同时改善了传统砂轮加工过程中磨削力比大和磨削温度高等现象；采用合抱工艺能够使纤维的出刃高度一致，显著减少了刀具的修整工作量；此刀具可在一定程度上代替传统砂轮，对工件表面进行快速加工，在提高加工效率方面有很大的推广前景。

签字：

日期：2017年4月17日

注：本表栏空不够可另附纸张

