

# 基于尺寸补偿的金刚石成型刀具改进的试验研究

张政梅, 张进生, 刘全政, 王志

山东大学; 山东省石材工程技术研究中心

**摘要:** 根据金刚石成型刀具异型区域各截面磨损程度的不同, 建立了刀具磨损速率数学模型, 并以此为依据提出了刀具改进方案, 即通过对金刚石成型刀具结块厚度的尺寸补偿, 实现刀具异型区域结块的均匀磨损, 提高其切削性能和工艺性能, 延长刀具的使用寿命。

**关键词:** 金刚石; 成型刀具; 磨损; 尺寸补偿

中图分类号: TG703

文献标志码: A

## Experimental Study on Diamond Forming Tool Improvement Based on Dimension Compensation

Zhang Zhengmei, Zhang Jinsheng, Liu Quanzheng, Wang Zhi

**Abstract:** According to the different wear degree of irregular area on diamond forming tool, the mathematical model of tool wear rate was established and the improvement project of tool was advanced, namely, through dimension compensation of diamond forming tool segment thickness, the wear in irregular area can be uniformly obtained and the performance of tool has been improved highly, the working life of diamond forming tool are extended too.

**Keywords:** diamond; forming tool; wear; dimension compensation

### 1 引言

花岗石异型制品以其精美的艺术形状和优良的物理性能等特点在建筑装饰、生活用具、精密机械、仪器仪表、工艺制品等领域得到广泛应用。花岗石异型制品是指除矩形板材制品以外的其它所有制品, 按照制品的特点和加工方式不同分为平面异型制品、曲面异型制品、实体回转制品和雕刻制品等。随着卫生间用天然石材台面国家标准 (GB/T23454—2009) 的颁布, 花岗石异型制品的国内外消费市场将越来越大。目前, 我国在花岗石异型制品加工方面存在的突出问题是生产成本低、加工效率低、能源消耗大<sup>[1]</sup>, 与意大利、日本等发达国家相比还有一定差距。

花岗石异型制品形状复杂, 但都是由不同的异型面连接而成, 异型面是花岗石异型制品的基本组成单元, 因此, 花岗石异型制品加工主要是异型面的加工。为了简化成形运动, 降低设备费用, 提高生产效率, 降低生产成本, 一般都采用成型加工方法。目前, 用结块式金刚石成型刀具来加工花岗石异型制品是被石材企业广泛采用、经济高效的加工方式。

在用金刚石刀具加工花岗石时, 起切削作用的是金刚石颗粒, 这本质上是金刚石磨粒在金属结合剂的把持下对花岗石的磨削过程<sup>[2]</sup>。由于花岗石

质地坚硬, 所以刀具磨破损严重, 大量的金刚石颗粒被消耗掉, 这是造成花岗石加工成本居高不下的主要原因。目前, 国内外对金刚石刀具磨损规律研究的热点是金刚石颗粒的磨破损过程和形式。有研究建立了金刚石单颗粒磨削模型<sup>[3,4]</sup>, 将金刚石颗粒的状态分为颗粒初露、完全露出、磨平、局部崩落、微观破碎、宏观破碎、颗粒脱落等几种<sup>[5,6]</sup>。A. Ersoy 等人针对金刚石圆盘锯的磨损过程进行了研究<sup>[7,8]</sup>, 日本的 Shinsaku Hagiwara 等学者应用马尔可夫过程 (Markov process) 理论研究了圆盘锯切花岗石时金刚石颗粒破碎、脱落及生成的过程规律<sup>[9]</sup>。

在花岗石异型制品的加工工艺中, 其关键技术是成形加工, 即如何用最短的时间把多余的花岗石去除, 粗加工出所要求的异型面。以生产中最常见的 1/4 圆弧面加工为例, 如图 1 所示, 截面 EDF 即为需要去掉的区域。由于金刚石成型刀具在异型区域各截面直径不同, 所以各截面上的金刚石颗粒的加工余量不同, 加工工艺参数也不同, 切削负荷差别很大, 造成刀具各部位磨损程度也就不一样。如果刀具局部出现过度磨损, 即便其它部位很好, 整把刀具也有可能要报废。这是因为刀具局部过度磨损后, 工件的形位误差就会增大, 很难保证加工精度, 甚至使刀具丧失加工能力。因此, 金刚石成型刀具在满足加工性能的条件下, 尽量能达到均匀磨损来保证加工精度, 延长刀具的使用寿命, 降低材料消耗。

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目 (Z2007F07)

收稿日期: 2010年3月

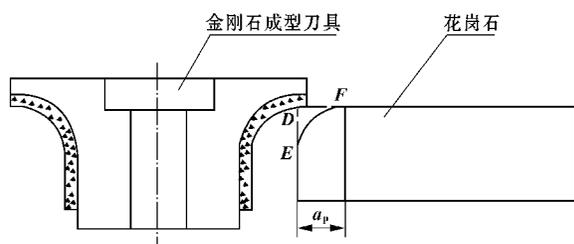


图1 1/4圆弧面加工示意图

本文提出了基于金刚石结块结构尺寸补偿法来改进金刚石成型刀具的研究方案,通过试验数据分析,计算出刀具不同部位磨损的变化趋势,然后在结块厚度上进行补偿,以此来实现金刚石成型刀具的均匀磨损。

## 2 试验方案

试验在 SPEED03 型数控加工中心(意大利 CMS 公司制造)上进行,其最高转速为 15000r/min, X 轴、Y 轴、Z 轴的最大进给速度分别为 54m/min、36m/min、30m/min。刀具选用金刚石成型磨轮(ASS10105),圆弧半径为 15mm。检测装置采用高倍金相显微镜系统(Leica DM 1M,规格 2500 倍)、数字高度尺(Digital Height Gauge,测量精度 0.01mm)、数显游标卡尺(测量精度 0.01mm)等。加工材料选用齐鲁红花岗岩(G3754),其主要物理性能如表 1 所示,整个试验装置如图 2 所示。

表1 齐鲁红花岗岩的主要物理性能

物理性能	单位	数值
体积密度	kg/m <sup>3</sup>	2661
吸水率	%	0.11
干燥压缩强度	MPa	224.0
水饱和和压缩强度	MPa	218.6
干燥弯曲强度	MPa	16.9
水饱和和弯曲强度	MPa	16.2
干燥断裂模数	MPa	19.6
水饱和和断裂模数	MPa	16.8
耐磨度	l/cm <sup>3</sup>	54

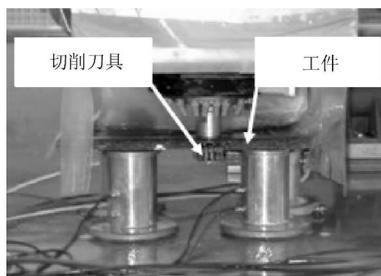


图2 试验装置

分别在刀具的异型弧面上选取五个截面直径为五组测量值,即 1-1、2-2、3-3、4-4、5-5。如图 3 所示,各截面间的相隔距离分别为 6mm、4mm、3mm、2mm。对于每一组测量值分别测量五次,然后计算加工后刀具直径的变化值,取其平均值作为刀具在这一截面直径上的磨损变化量。试验选取的工艺参数分别为:切削速度 30m/s、进给速度 500mm/min、背吃刀量 15mm、加工长度 60m。

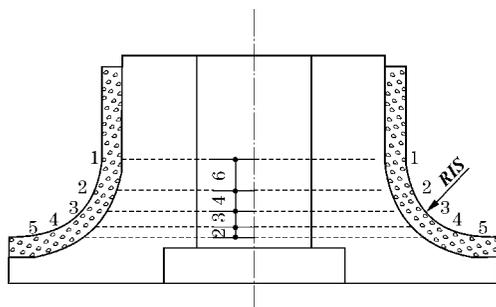


图3 实验测量值选取示意图

## 3 试验结果分析

由于加工的圆弧半径为 15mm,而实验的背吃刀量也是 15mm,故 1-1 截面上的金刚石颗粒基本没有参与切削,直径没有发生变化。选取此截面为金刚石结块长度的测量基准,试验测量结果如表 2 所示。根据试验结果可画出各测量截面刀具直径变化的趋势图,如图 4 所示。

表2 试验测量结果

测量截面	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5
截面对应长度尺寸(mm)	0	6	10	13	15
截面直径变化值(mm)	0	0.038	0.112	0.22	0.57

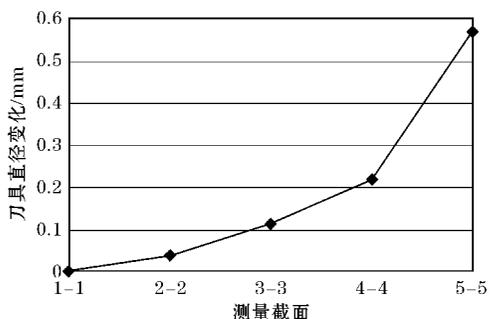


图4 各测量截面刀具直径变化趋势图

从图 4 的趋势图可以看出,刀具圆弧区域的磨损速率可以用抛物线来拟合,由此建立如下数学模型:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (1)$$

式中,  $x$  为以 1-1 为基准的截面对应长度尺寸,  $y$  为截面直径变化量。

利用 Excel 对实验数据进行回归分析, 可得式 (1) 中各系数分别为:  $a_0 = 0.0184132$ 、 $a_1 = -0.032443$ 、 $a_2 = 0.0042932$ , 故金刚石成型刀具圆弧区域的磨损速率公式为

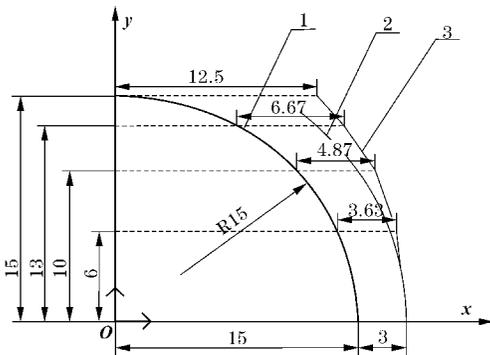
$$y = 0.0184132 - 0.032443x + 0.0042932x^2 \quad (2)$$

### 4 刀具改进方案设计

从上面得出的异型圆弧面磨损规律看出, 要达到刀具的均匀磨损可以在金刚石结块厚度尺寸上进行补偿。经过调研, 对于结块厚度为 4mm 的 1/4 圆弧金刚石成型刀具, 在其使用寿命内一般加工花岗岩 600m-800m。设计改进后的新型金刚石成型刀具的加工能力可达到 1000m, 取结块厚度基本尺寸为 3mm, 然后在此基础上进行补偿。则结块各截面厚度值如表 3 所示, 结块厚度示意图如图 5 所示。

表 3 金刚石结块各截面厚度

测量截面	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5
截面对应长度尺寸 (mm)	0	6	10	13	15
结块截面厚度 (mm)	3	3.63	4.87	6.67	12.5



1. 半径为 15mm 结块圆弧 2. 结块厚度为 3mm 的圆弧  
3. 各截面尺寸补偿后的连线

图 5 结块厚度示意图

将图 5 中的连线 3 用三点求圆弧法进行拟合, 得到结块厚度尺寸补偿后的结块截面示意图, 如图 6 所示,  $AB$  弧是结块的外圆弧, 即半径 15mm 的圆弧, 区域  $ABCD$  是没有进行厚度尺寸补偿的结块厚度截面形状,  $ABED$  是有尺寸补偿的结块厚度截面形状,  $CED$  是尺寸补偿区域。

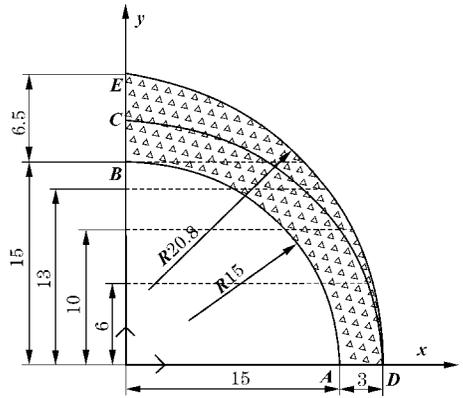


图 6 金刚石结块厚度尺寸示意图

由以上得出的金刚石结块厚度尺寸研制开发新型金刚石成型刀具, 刀具总体结构尺寸如图 7 所示。

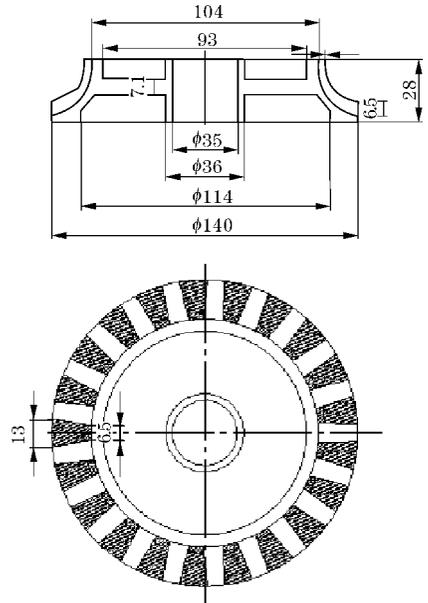


图 7 刀具结构图

为了检验新型金刚石成型刀具的切削性能, 选择切削速度 30m/s、进给速度 500mm/min、背吃刀量 14.2mm 进行实验。在此参数组合下, 加工齐鲁红花岗岩 30m, 则新刀的切削效率为 19.4385cm<sup>3</sup>/min, 刀具的磨损率为 0.0812mm/dm<sup>3</sup>, 刀具磨损率降低, 圆弧区域磨损均匀, 达到了预期的刀具改进效果。

### 5 结语

(1) 通过试验研究建立了金刚石成型刀具 1/4 圆弧区域各截面的磨损速率数学模型为:  $y = 0.0184132 - 0.032443x + 0.0042932x^2$ 。

(2) 提出了通过金刚石结块厚度尺寸补偿法来改进刀具的方案, 并开发研制了新型金刚石成型刀具。通过对新刀的磨损性能的试验检验, 刀具结块

# 超声振动辅助磨削加工智能控制技术研究

闫鹏<sup>1</sup>, 王冬<sup>2</sup>, 刘向东<sup>3</sup>

<sup>1</sup>山东轻工业学院; <sup>2</sup>中国建筑材料检验认证中心; <sup>3</sup>山东省机电设备招标中心

**摘要:** 根据超声振动辅助磨削加工的特点, 结合检测难易程度和实际需要, 选择磨削力比作为输入。利用磨削力检测系统获得磨削力比实时数据, 对采样结果进行分析处理。采用分级控制, 分别控制超声功率和工件进给速度。将磨削力比的变化和变化率作为模糊控制器的输入, 工件进给速度作为控制器的输出。根据模糊控制规则, 利用 Matlab 提供的 Simulink 仿真模块, 对超声振动辅助磨削加工模糊控制系统进行了动态仿真, 仿真结果符合模糊策略, 进给速度能够随着磨削力比的变化实现调整, 从而避免产生磨削烧伤和颤振。

**关键词:** 超声振动; 磨削; 智能控制; 磨削力比; 仿真

中图分类号: TG661

文献标志码: A

## Study on Intelligent Control of Ultrasonic Vibration Assisted Grinding

Yan Peng, Wang Dong, Liu Xiangdong

**Abstract:** According to characteristics of ultrasonic vibration assisted grinding and combined with inspection difficulties and practical needs, the grinding force ratio was chosen as the input. The real time data of grinding force ratio were collected by the grinding force inspection system and processed. The ultrasonic vibration power and the feed rate of workpiece are controlled in hierarchical control strategy. The changes and the change rates of grinding force ratio act as the input of fuzzy controller, and the feed rate of workpiece as its output. According to the fuzzy control rules, the fuzzy control system of combined machining was simulated dynamically by Simulink module in Matlab. The simulation result is accord with the fuzzy control strategy, the feed rate can be adjusted as the change of grinding force ratio, so that the grinding burn and chatter can be avoided.

**Keywords:** ultrasonic vibration; grinding; intelligent control; grinding force ratio; simulation

## 1 引言

对于高强度、高硬度、高韧性、高脆性等难切削加工材料的加工, 特种加工技术具有传统加工技术无法比拟的许多优势。电火花加工、超声加工、激光加工、电解加工及其与传统加工方法相结合的复合

加工, 已经成为难加工材料高效精密加工不可或缺的关键技术和重要补充。

超声振动辅助磨削是一种二元复合加工技术, 它将磨削加工与超声振动加工结合在一起, 使其互为有利条件。通过在磨削加工中引入超声振动, 可以强化加工效果, 明显提高加工效率, 并且通过调整加工参数, 可以获得高质量的加工表面。

对于非线性的、随机的复合加工过程, 很难建立

收稿日期: 2010 年 1 月

异型区域能够实现均匀磨损, 延长了刀具使用寿命, 提高了刀具的切削性能和工艺性能, 刀具改进效果明显。

### 参考文献

- [1] 张进生, 张良智, 王志. 石材异型制品加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [2] 徐西鹏. 岩石材料的金刚石锯切研究进展[J]. 机械工程学, 2003, 39(9): 17-22.
- [3] Antonimaria Di Ilio, Antonio Togna. A theoretical wear model for diamond tools in stone cutting[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2003, 43: 1171-1177.
- [4] B Brook. Principles of diamond tool technology for sawing rock[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2002, 39: 41-58.
- [5] Polini W, Turchetta S. To characterise diamond mill wear[J]. Wear, 2003, 255: 1414-1420.

- [6] L Camino, W Polini, S Turchetta. Wear progression of diamond mills[J]. Diamond and Related Materials, 2008(12): 728-732.
- [7] A Ersoy, S Buyuksagig, U Atici. Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard abrasive rocks[J]. Wear, 2005, 258: 1422-1436.
- [8] U Atici, A Ersoy. Correlation of specific energy of cutting saws and drilling bits with rock brittleness and destruction energy[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209: 2602-2612.
- [9] Shinsaku Hagiwara, Shuji Iwata, Toshiyuki Obikawa, et al. Study on the transition process of diamond grain shape in stone grinding[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1997, 63: 892-896.

第一作者: 张政梅, 博士研究生, 山东大学机械工程学院, 250061 济南市

First Author: Zhang Zhengmei, Doctoral Candidate, School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China