

# PCD 刀具精密切削时超越性加工现象的研究

张 雷 王立江 姜英飞 郭耀辉  
(吉林工业大学机械系, 长春 130025)

**摘要** 用 PCD 刀具进行精密切削时, 出现了工件已加工表面粗糙度低于刀具表面粗糙度这一与传统切削理论相反的超越性加工现象。本文研究了超越性加工现象的机理, 提出了双错位的概念, 这对于改善 PCD 刀具的应用条件具有重要意义。

**关键词:** 超越性; 表面粗糙度; 双错位

## 1 引言

由于 PCD 复合片刀具兼备金刚石的高硬度和硬质合金的高强度, 同时又具有 SPD 刀具所无法相比的优越性<sup>[1]</sup>, 使得它在精密、超精密加工中越来越得到广泛的应用<sup>[2]</sup>。然而, 由于传统切削理论认为刀具表面粗糙度必须低于工件表面粗糙度, 即要想加工出表面粗糙度低的工件必须刃磨出表面粗糙度更低的刀具。这给 PCD 刀具的刃磨提出了较高的要求, 同时占用了大量的生产准备时间。如果能够利用较高表面粗糙度的刀具加工出较低表面粗糙度的工件, 这将对传统切削理论的突破, 并且具有明显的实用价值。众所周知, 刀具表面粗糙度分为三种: 前刀面粗糙度、后刀面粗糙度和刃口粗糙度。从切削过程来看, 对工件已加工表面及其粗糙度的形成影响最直接、最大的是后刀面粗糙度。本文在利用国产和进口 PCD 刀片制成的圆弧刃车刀端面车削 LY12 工件时, 发现了工件已加工表面粗糙度低于刀具后刀面粗糙度的现象, 并称之为超越性加工现象。本文研究了超越加工现象的机理, 并根据往复走刀实验, 提出了双错位的概念, 进一步改善了已加工表面的粗糙度。

## 2 切削实验与理论分析

实验条件如下:

机 床: CM 0402M/2 型精密仪表车床

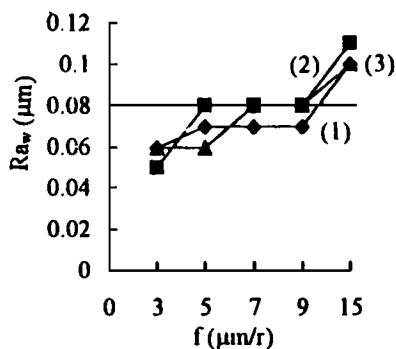
刀具: 1<sup>#</sup> PCD车刀(湖北江汉石油钻头厂生产的刀片), 粒度 5 μm, 前角  $\gamma_0 = 25^\circ$ ; 后角  $\alpha_0 = 8^\circ$ ; 刀尖圆弧半径  $r = 0.4 \text{ mm}$ , 后刀面粗糙度  $R_{ax} = 0.08 \text{ μm}$ 。

2<sup>#</sup> PCD车刀(美国 GE 公司生产的刀片), 粒度 3 μm,  $\gamma_0 = 25^\circ$ ;  $\alpha_0 = 8^\circ$ ;  $r = 0.4 \text{ mm}$ ,  $R_{ax} = 0.08 \text{ μm}$ 。

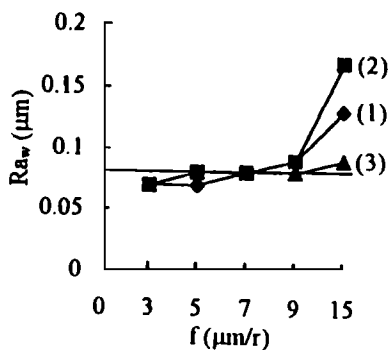
试件: 硬铝 LY12, 直径为 60 mm。

切削条件: 主轴转速  $n = 565, 1130, 1795 \text{ r/min}$ , 切削深度  $a_p = 10 \text{ μm}$ , 进给量  $f = 3, 5, 7, 9, 15 \text{ μm/r}$ , 切削液为乙醇, 端面车削。

实验结果: 1<sup>#</sup> 刀见图 1, 2<sup>#</sup> 刀见图 2, 图中水平实直线代表后刀面粗糙度  $R_{ax}$ , 纵坐标  $R_{aw}$  为试件已加工表面粗糙度。



(1)  $n = 565 \text{ r/min}$  (2)  $n = 1130 \text{ r/min}$   
(3)  $n = 1795 \text{ r/min}$



(1)  $n = 565 \text{ r/min}$  (2)  $n = 1130 \text{ r/min}$   
(3)  $n = 1795 \text{ r/min}$

Fig. 1 Experimental results of 1<sup>#</sup> PCD cutting tool

Fig. 2 Experimental results of 2<sup>#</sup> PCD cutting tool

由图 1 和图 2 不难看出, 利用国产和进口的刀片制成的圆弧刃 PCD 车刀端面切削 LY12 试件时出现了超越性加工现象, 图中实直线以下的区域为超越性加工区。为了分析超越性现象产生的原因, 采用图 3 所示的切削模型。

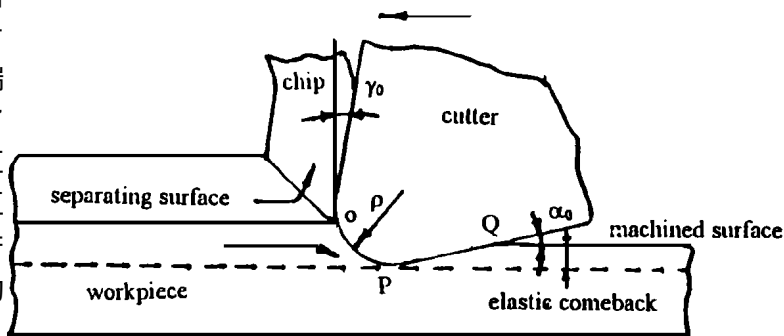


Fig. 3 Cutting model

图 3 中的 O 点为切削层金属的分流点。在切削过程中, O 点以上的工件材料被刀体挤压产生剪切滑移, 经前刀面流出形成切屑; O 点以下的工件材料经过刀具刃口钝圆 OP 段的挤压后, 产生弹性恢复, 紧贴着后刀面 PQ 段流出而形成已加工表面。刀具后刀面粗糙度向已加工表面的复印就发生在 PQ 段上, 最终起主要作用的是后刀面 PQ 段的一块小面积 PWMN (见图 4), 即刀具的复印是 PQMN 小面积在运动中对工件进行

复印的结果, 也就是 PQMN 上各断面廓形叠加后复印到已加工表面上。设 PQMN 上各水平断面廓形(图 4 中  $oxy$  断面) 曲线用  $F_i(x)$  表示,  $i$  表示各断面的位置,  $i = 1, 2, 3, \dots$ , 则后刀面粗

糙度  $R_{\alpha\alpha}$  为:

$$R_{\alpha\alpha} = \frac{1}{l} \int_0^l |F_i(x)| dx \quad (1)$$

$l$  为测量时的取样长度, 并且有

$$\frac{1}{l} \int_0^l |F_1(x)| dx \quad \frac{1}{l} \int_0^l |F_2(x)| dx \quad \dots \quad R_{\alpha\alpha} \quad (2)$$

将 PQMN 上所有水平断面廓形曲线相叠加, 可得叠加后的函数  $F_f(x)$  (见图 5)。由于计算粗糙度时廓形曲线必须以其算术平均中线作为横轴, 而叠加后的函数  $F_f(x)$  的算术平均中线显然上移了一个  $\delta$  值 (见图 5), 使原来的  $x$  轴上移至  $x'$ , 因此, 叠加后在工件表面上复印出的粗糙度为:

$$R_{af} = \frac{1}{l} \int_0^l |F_f(x)| dx \quad (3)$$

显然

$$R_{af} < R_{\alpha\alpha} \quad (4)$$

实际上, 切削过程的复印是一个复杂的熨压过程。这种熨压是后刀面小面积的各个断面廓形对已加工表面的错位叠加熨压, 从而产生了  $R_{af} < R_{\alpha\alpha}$  的超越性现象。因此我们把这种机理称为错位叠加熨压机理, 把这一错位称为后刀面错位。

### 3 往复走刀实验及双错位概念的提出

往复走刀是在第一次正切削的基础上, 既不进刀也不退刀, 而使刀具进行反进给切削。由于切削系统存在刚性回弹, 回弹量即为反进给切削的切深, 这就获得了微量切除金属的效果。往复走刀的实验条件如下:

机 床: CM0420M/2 型精密仪表车床

刀 具: 1# PCD 车刀, 2# PCD 车刀

试 件: 硬铝 LY12, 直径为 60 mm

切削条件:  $n = 1795 \text{ r/min}$ ,  $a_p = 10 \mu\text{m}$ ,  $f = 3, 7, 15 \mu\text{m/r}$ , 切削液乙醇, 端面车削

实验结果: 1# 刀见图 6, 2# 刀见图 7, 图中水平实直线代表后刀面粗糙度  $R_{\alpha\alpha}$

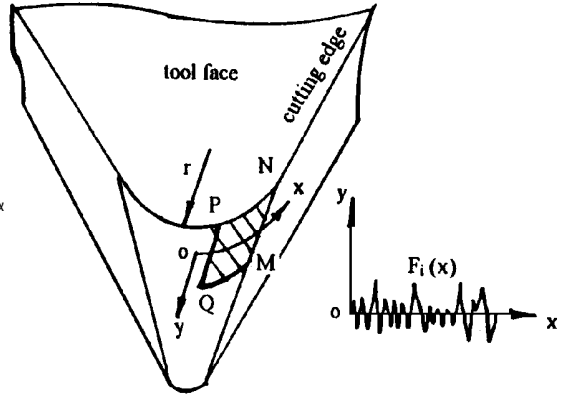


Fig. 4 The pressing area of the tool flank

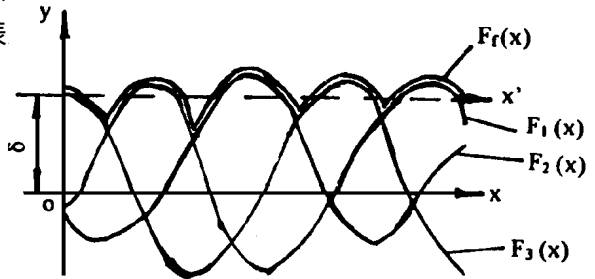
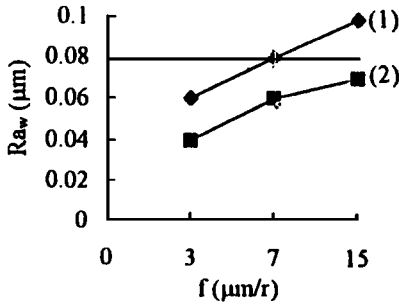
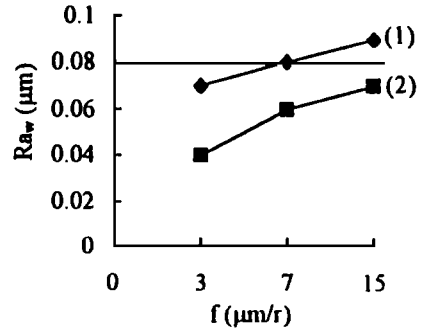


Fig. 5 Overlapping of cross-sectional profiles



(1) first turning (2) reciprocating turning

Fig. 6 Experimental results of reciprocating turning by 1# PCD cutting tool



(1) first turning (2) reciprocating turning

Fig. 7 Experimental results of reciprocating turning by 2# PCD cutting tool

由图 6 和图 7 不难看出, 无论是进口的还是国产的 PCD 刀片制成的圆弧刃车刀在往复走刀实验中进一步改善了已加工表面的粗糙度, 更明显地出现超越性加工现象。这是由于当刀具切削一次之后, 再往回返时, 不会正好沿着前一次切削的痕迹走, 而是与之有个相位差  $\Delta f$  (见图 8, 图中实线为正走刀, 虚线为反走刀)。我们把在往复走刀过程中两次走刀痕迹之间存在相位差的现象称为走刀错位。由图 8 可知, 第一次走刀后残留面积的最大高度为:

$$R_{\max} = BA - CA = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{f}{2}\right)^2} \quad (5)$$

而往复走刀以后残留面积的最大高度为:

$$R_{\max} = BA - CA = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{\Delta f}{2}\right)^2} \quad (6)$$

由于

$$\Delta f < f \quad (7)$$

故

$$R_{\max} < R_{\max} \quad (8)$$

因此, 往复走刀以降低工件的表面粗糙度。这样由于后刀面错位和走刀错位的双错位的作用, 使超越性加工现象出现的机率进一步增大。

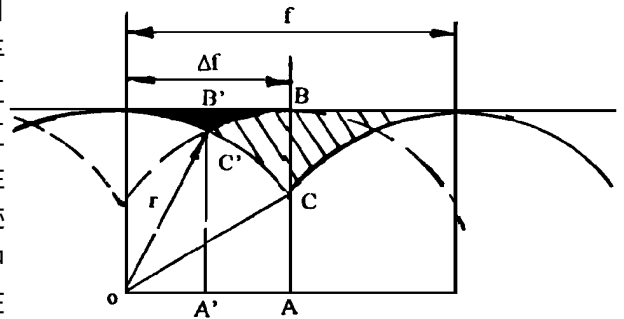


Fig. 8 Illustration of overlapping locations in turning

## 4 结 束 语

本文采用国产和进口两种 PCD 刀片制成的圆弧刃车刀精密切削时发现了工件表面粗糙度低于刀具后刀面粗糙度的新现象。本文用后刀面错位叠加熨压机理解释了这种超越性加工现象产生的原因,并根据往复走刀实验进一步提出了双错位的概念。双错位的存在使往复走刀后,工件表面粗糙度再次下降,更易于出现超越性加工现象,这种新现象对精密、超精密加工具有重要意义。

### 参 考 文 献

- [ 1] 王立江等. 人造多晶金刚石刀具的优越性及其加工镜面的反射率. 光学 精密工程, 1994, 2( 6): 35 ~ 39
- [ 2] Wang Lijiang, et al. A Study on Mirror Turning with Multipoint Diamond Cutting Tool. Progress in Natural Science, 1992, 2( 2): 151 ~ 156
- [ 3] 郭耀辉. 用 PCD 刀具进行镜面切削的研究. 吉林工业大学硕士学位论文, 1996
- [ 4] 周泽华主编. 金属切削理论. 北京: 机械工业出版社, 1992

## Study on Outstanding Phenomenon in Precision Turning with PCD Cutting Tool

Zhang Lei, Wang Lijiang, Jiang Yingfei Guo Yaohui

(Department of Mechanical Engineering, Jilin University of Technology, Changchun 130025)

### Abstract

In precision turning with PCD cutting tool, present work finds such an outstanding phenomenon that the surface roughness of the workpieces is lower than that of the cutters used to machine, which is contrary to the traditional cutting theory. In this paper, the principle of this phenomenon is studied and the definition of double overlapping locations is given. This is of great significance for the application of PCD cutting tool.

**Keywords:** Outstanding, Surface roughness, Double overlapping locations

张 雷 男, 1970 年 12 月出生, 1993 年毕业于南京理工大学机械学院机械制造专业。1996 年毕业于吉林工业大学研究生部“机械制造专业”, 获工学硕士学位。现为吉林工业大学博士研究生, 主要从事精密、超精密加工的研究工作。