

PCD 刀具微细切削加工研究

唐艳芹, 王玉兴

(华南农业大学工程学院, 广东广州 510642)

摘要: 对 PCD 刀具微细切削加工刃下区的弹性应力、弹性位移和弹塑性分界线方程进行了推导, 利用 PCD 刀具进行微细切削无氧铜和硬铝的实验, 并对工件表面进行了 SEM 分析, 指出侧向塑流和纵向塑流是影响工件表面粗糙度的主要因素, 通过对后刀面压作用的分析, 提出了 PCD 刀具后刀面刃磨方向应平行于刀具刃口的建议。

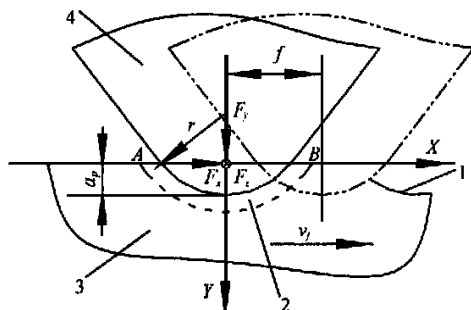
关键词: 微细加工; 弹塑性变形; 超硬刀具

中图分类号: TG669

文献标识码: A

人造聚晶金刚石复合刀具简称 PCD 刀具, 是一种新型超硬刀具材料, 其应用日益广泛, 目前, 该刀具材料不仅在普通精密切削加工中发挥越来越重要的作用, 而且在超精密切削加工的微细加工领域也有一席之地^[1,2], 在微细切削加工过程中, 刀刃钝圆弧上临界点以上的材料形成切屑而被切除, 临界点以下的材料则经受刀刃和后刀面的作用后, 形成已加工表面, 因此, 工件表面质量主要由临界点以下的切削区简称刃下区材料的变形决定, 研究 PCD 刀具微细切削过程中刃下区工件材料的变形, 对提高工件已加工表面质量具有实际意义。

界线方程, 刃下区任意点 (x, y) 的弹性应力分布为:



1- 已加工表面 2- 塑性区 3- 弹性区 4- 刀具
1- processed surface 2- unctuous area 3- elastic area 4- cutting tool

图 1 PCD 刀具微细加工的弹、塑性变形

Fig. 1 Elastic and plastic displacement caused by superfine machining with PCD cutting tool

1 刃下区材料的弹、塑性变形

微细切削加工过程中, 刃下区存在着弹性变形和塑性变形, 工件已加工表面质量主要由弹性变形和塑性变形的程度决定。

不妨以常用的圆弧形刀刃作为研究对象, 来研究弹、塑性变形区域分界线方程及变形量, 图 1 所示是圆弧形刀刃在走刀进给量 f 后的情况, 取基面为坐标系的 $X-Y$ 平面 (圆弧刃承担全部切削工作), 切削速度方向沿 Z 轴反方向, 刀尖指向工件的方向为 Y 轴正方向, 工件所受的切削力分解为沿 3 个坐标轴方向的分力, 它们分别是主切削力 F_z , 轴向力 F_x 和径向力 F_y , 刀尖构成一个圆环面, 其大半径为 r , 小半径为 ρ , 显然, 工件的尺寸远大于 r , 而 r 又远大于吃刀深度 α_p , 所以, 利用弹性半空间体在边界上受法向集中力和切向集中力作用下的弹性解可以得出刃下区 $X-Y$ 平面内的弹性应力分布和弹、塑性分

$$\sigma_x = \frac{F_x x}{2\pi} \left[\frac{1-2\mu}{R(R+y)^2} - \frac{3x^2}{R^5} \right] + \frac{F_y}{2\pi} \left[\frac{1-2\mu}{R(R+y)} - \frac{3x^2 y}{R^5} \right], \quad (1)$$

$$\sigma_y = -\frac{3y^2}{2\pi R^5} (F_x x + F_y y), \quad (2)$$

$$\sigma_z = \frac{F_x x (1-2\mu)}{2\pi R^3 (R+y)^2} \left[3R^2 - x^2 - \frac{2Rx^2}{R+y} \right] - \frac{F_y (1-2\mu)}{2\pi} \left[\frac{1}{R(R+y)} - \frac{y}{R^3} \right], \quad (3)$$

$$\tau_{xy} = -\frac{3xy}{2\pi R^5} (F_x x + F_y y), \quad (4)$$

$$\tau_{zx} = -\frac{F_z x (1-2\mu)}{2\pi R (R+y)^2}, \quad (5)$$

$$\tau_{yz} = 0, \quad (6)$$

式中 μ 是工件材料的泊松比, $R = \sqrt{x^2 + y^2}$,将以上各式代入米塞斯屈服条件:

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) = 2\sigma_s^2, \quad (7)$$

得分界线与 X 、 Y 两轴的交点 $A(x_{s2}, 0)$ 和 $B(x_{s1}, 0)$,其中:

$$x_{s1} = \{ [3F_y^2(1-2\mu)^2 + 3F_z^2(1-2\mu)^2 + 4F_x^2(1+\mu)^2 - 6F_xF_y(1-2\mu)(1+\mu)] / 4\pi^2\sigma_s^2 \}^{1/4}, \quad (8)$$

$$x_{s2} = - \{ [3F_y^2(1-2\mu)^2 + 3F_z^2(1-2\mu)^2 + 4F_x^2(1+\mu)^2 + 6F_xF_y(1-2\mu)(1+\mu)] / 4\pi^2\sigma_s^2 \}^{1/4}, \quad (9)$$

$$y_s = \sqrt{\frac{(7-2\mu)F_y}{4\pi\sigma_s}}, \quad (10)$$

x_{s1} 与 x_{s2} 不相等,即分界线不对称于 Y 轴,这是由于 F_x 的存在所致,设弹、塑分界线为分段抛物线,并取如下形式:

$$y = y_s \left[1 - \frac{x^2}{x_s^2} \right], \quad (11)$$

$x > 0$ 时, $x_s = x_{s1}$,当 $x < 0$ 时, $x_s = x_{s2}$.

由弹性半空间体在集中力作用下的位移解,可以得到 X - Y 平面内塑性区各点的弹性位移:

$$\hat{q} = \frac{(1+\mu)F_x}{2\pi ER} \left\{ 1 + \frac{x^2}{R^2} + (1-2\mu) \left[\frac{R}{R+y} - \frac{x^2}{(R+y)^2} \right] \right\} + \frac{(1+\mu)F_y}{2\pi ER} \left[\frac{xy}{R^2} - \frac{(1-2\mu)x}{R+y} \right], \quad (12)$$

$$\hat{\delta} = \frac{(1+\mu)F_x}{2\pi ER} \left[\frac{xy}{R^2} + \frac{(1-2\mu)x}{R+y} \right] + \frac{(1+\mu)F_y}{2\pi ER} \left[2(1-\mu) + \frac{y^2}{R^2} \right], \quad (13)$$

$$\hat{\delta} = \frac{(1+\mu)F_z}{2\pi ER} \left[1 + \frac{(1-2\mu)R}{R+y} \right], \quad (14)$$

式中, E 是材料的弹性模量, \hat{q} 、 $\hat{\delta}$ 和 $\hat{\delta}$ 分别是沿 X 、 Y 和 Z 三个方向的弹性位移。

图1的工件上虚线 AB 就是弹、塑性分界线, AB 线以上区域为塑性变形区,主要由刀刃和后刀面的作用而产生, AB 线以下为弹性变形区。

2 弹、塑性变形对已加工表面质量的影响

刃下塑性区材料的变形有侧向塑流和纵向塑流,所谓侧向塑流就是工件材料受切削力作用时,向刀刃两侧自由端的塑性流动,侧向塑流面积形成了切削几何残留面积的顶部,使工件表面粗糙度升高;纵向塑流则是塑性区材料承受刀刃和后刀面的“复印”,形成切削纹理的变形,后刀面的“复印”在普通切削加工中是难以完成的,原因是刀瘤的存在,只有在用超硬刀具材料进行微细切削加工才得以完成,“复印”是指后刀面和刀刃在对工件表面的熨压过程中,其刀刃和刀面粗糙度会“复印”到工件已加工表面上的现象。文献[3]中曾提出,金刚石刀具切削过程中,后刀面的“熨平”可能是形成低粗糙度表面的原因,笔者在用PCD刀具做微细切削无氧铜和硬铝实验中证实了这一点,而且发现侧向塑流形成在残留面积的尖峰,影响表面的峰值粗糙度。图2所示是PCD刀具微细切削无氧铜的表面SEM照片,图3是PCD刀具微细切削硬铝的表面SEM照片,试验中所用的PCD刀具后刀面是沿着平行于刀刃方向抛光完成的,可以看出,工件表面上各切削纹理印痕相似,显亮的是侧向塑流形成的残留面积尖峰。众所周知,在测工件已加工表面粗糙度时,探测头的走向必须垂直于加工纹理方向,沿着加工纹理方向测得的值比正常的值要小很多,不能反映工件表面粗糙度。刀具后刀面的刃磨加工纹理方向是刃磨时留下的,显然,垂直和平行于刃口两种纹理“复印”在工件表面上的粗糙度将有很大差别,可以肯定,刀具后刀面的刃磨加工纹理方向平行于刃口的情况是有利于降低工件表面粗糙度的,这对指导PCD(无方向性)超硬刀具的刃磨具有重要意义^[2]。

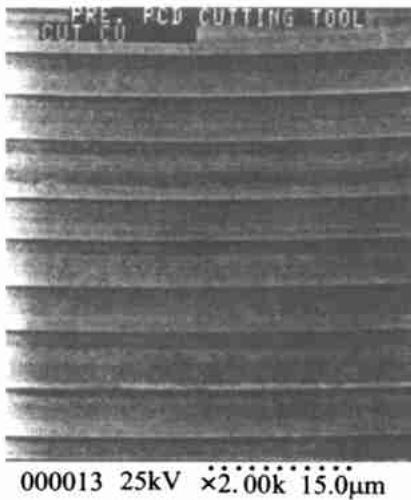


图 2 无氧铜的表面 SEM 照片

Fig. 2 SEM picture of pure copper surface

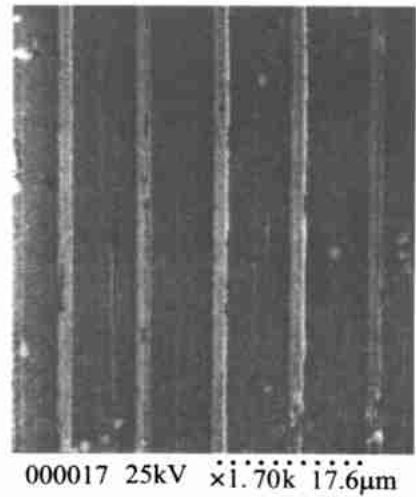


图 3 硬铝的表面 SEM 照片

Fig. 3 SEM picture of cast aluminum surface

3 结束语

研究表明, PCD 刀具微细切削加工刃下区弹性应力以及弹、塑性分界线方程是可以通过弹、塑性理论进行确定的. PCD 刀具微细切削加工中的侧向塑流和纵向塑流是影响工件表面粗糙度的主要原因, 侧向塑流影响峰值粗糙度. PCD 刀具后刀面的刃磨方向宜沿着与刀具刃口平行的方向进行, 以保证后刀面的“熨压”作用有利于降低已加工表面粗糙度.

参考文献:

- [1] 王玉兴, 王立江, 唐艳芹. 用金刚石砂轮机械磨削人造多晶金刚石的研究 [J]. 吉林工业大学学报, 1996, 26(1): 74-79.
- [2] 王玉兴, 王立江, 唐艳芹. 粗粒度人造多晶金刚石用作超精切削加工刀具材料的可能性 [J]. 工具技术, 1996, 30(4): 17-21.
- [3] ROYAL O. Deviling micro-point grinders now grind polycrystalline diamond compact tools [J]. Cutting Tool Engineering, 1982, (3): 4-8.

Study on Superfine Machining Using PCD Cutting Tool

TANG Yan-qin, WANG Yu-xing

(College of Engineering, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

Abstract: The elastic stress and displacement of the machining area under PCD cutting edge during the superfine cutting was studied theoretically, and the boundary equation between the elastic and plastic area developed. Experiments using PCD cutting tool to cut hard AL and Cu were conducted. The surface of the workpiece obtained was analyzed with SEM method. It was demonstrated that sideways and lengthways plastic transformation were the main factors affecting the roughness of the workpiece surface. the authors suggested that the grinding trace on the rear surface of the tool should parallel the edge.

Key words: superfine machining; elastic and plastic transformation; cutting tool of ultra-hard material

【责任编辑 柴 焰】