

在普通精密机床上用人造多晶金刚石 刀具进行镜面切削的研究

王立江 郭 辉 张 雷

(吉林工业大学机械工程系, 长春 130022)

摘要 在普通精密机床上用人造多晶金刚石(PCD)刀具加工出镜面, 具有重要的实用价值和经济意义。

关键词: 普通精密机床; PCD 刀具; 镜面切削

1 引 言

随着科学技术的飞跃发展, 在国际商品竞争激烈之今日, 宇航、光学、精密机械、电子、仪器仪表、家用电器等工业领域要求表面粗糙度达到镜面的零件与日俱增。目前国内外的镜面切削都是在超精密机床上用天然单晶金刚石刀具进行的, 并认为人造多晶金刚石(PCD)刀具不能进行镜面切削。文献[1]就明确指出“用PCD刀具不可能进行镜面加工, 这种加工必须用天然金刚石刀具”。我们在文献[2]中打破了这一传统观点, 用PCD刀具加工出镜面。但是那是在美国进口的MSG-325型超精密车床上用美国进的PCD刀具加工出来的。这种超精密机床在国内甚少, 加工时成本十分昂贵, 因此没有普遍应用的意义。为了使镜面加工能在生产实际中得到较为普遍的应用, 我们经多年努力, 进一步探索出在国产普通精密机床上用国产PCD刀具加工出镜面的新工艺措施。实验所用机床是上海仪表机床厂出产的CMO420M/2型精密仪表车床, 刀具是采用上海硅酸盐研究所出产的颗粒度为 $15\mu\text{m}$ 的PCD

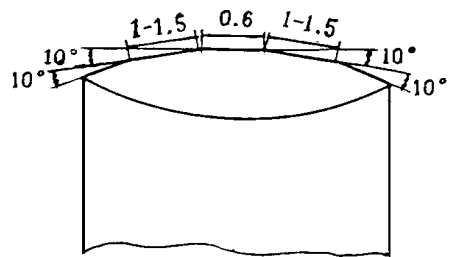
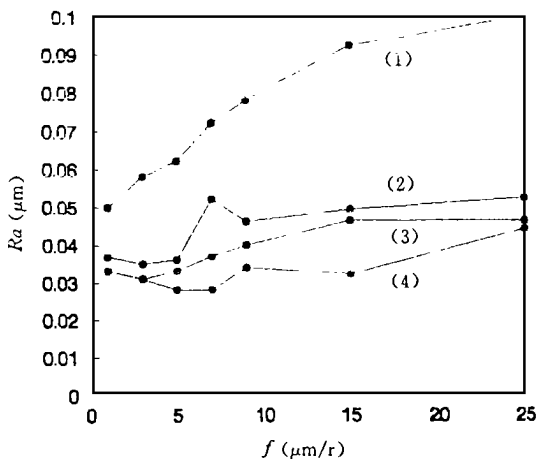


Fig. 1 Geometry of PCD cutting tool

刀片, 刀具几何参数如图1所示, 前角 $\gamma_0 = 0^\circ$ 后角 $\alpha_0 = 10^\circ$ 。镜面的表面粗糙度值 Ra 应小于等于 $0.04 \mu\text{m}$, 而影响粗糙度的因素很多, 本文主要从积屑瘤和理论粗糙度两方面着手来研究镜面切削。

2 优选切削液、消减积屑瘤

金刚石刀具切削的工件主要是铝合金、铜合金等有色金属。这类材料很容易生成积屑瘤, 而一旦发生积屑瘤, 工件表面粗糙度将明显下降。所以为了达到镜面, 必须首先消减积屑瘤。我们采取的主要措施是优选切削液, 对干切和采用煤油、水剂研磨液、乙醇等进行了实验研究。实验时采用机床转速 $n = 1795 \text{ rpm}$ 、吃刀深度 $a_p = 10 \mu\text{m}$, 对硬铝进行端面车削。实验结果见图2。由图2可见, 加切削液和不加切削液得到的表面粗糙度截然不同。干切时由于产生积屑瘤根本达不到镜面, 说明切削液对消减积屑瘤的作用十分重要。但是三种切削液的效果有差别, 乙醇的效果最好, 在本文实验范围内使用乙醇都达到了镜面, 使用煤油在进给量 $f < 10 \mu\text{m/r}$ 时也达到了镜面, 而使用水剂研磨液时只在 $f < 5 \mu\text{m/r}$ 时才能达到镜面。乙醇由于其挥发速度快, 易于带走切削热而具有优良的冷却作用, 另外其渗透性强, 能有效地发挥润滑作用, 故消减积屑瘤的功能强, 其它两种切削液则稍逊色, 因此在后续实验中选用乙醇做切削液。



- (1) cutting without lubricant
 (2) hydro-honing lubricant
 (3) kerosene (4) alcohol

Fig. 2 The experimental results of cutting with different lubricants

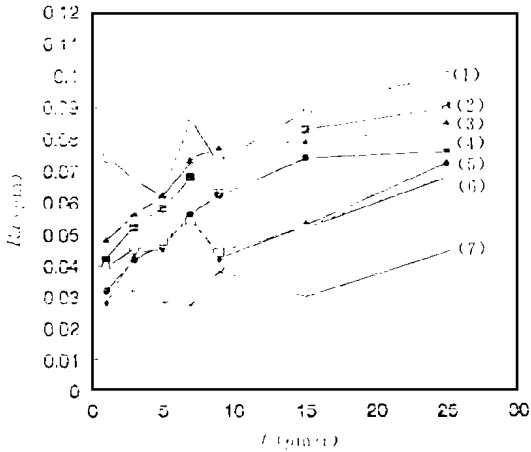
3 精确对刀、消除理论粗糙度

众所周知, 在切削加工时由于刀具有主偏角 K_r 和副偏角 $K_{r'}$, 切削过程有进给量 f , 使得已加工表面存在残留面积, 形成理论粗糙度 $Ra_{理}$

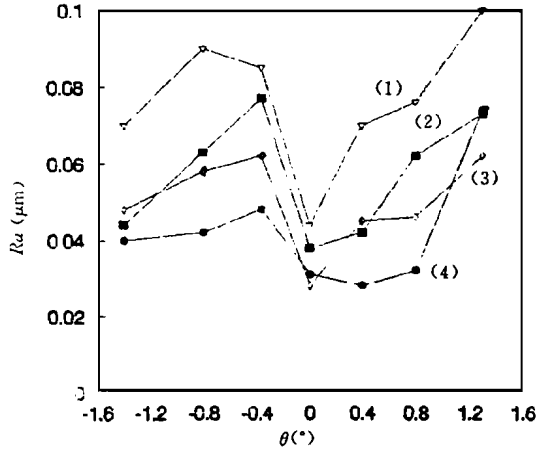
$$Ra_{理} = \frac{f}{4(\cot K_r + \cot K_{r'})}$$

为消除它一般采用修光刃刀具, 当修光刃长度大于进给量 f 时即可消除 $Ra_{理}$ 。但是实际中采用修光刃虽可减小 $Ra_{理}$, 却不会使它真正为零。欲使 $Ra_{理} = 0$ 必须精确对刀, 使修光刃与走刀方向严格平行, 在一般的加工过程中这种“严格”是没有必要的, 而在镜面切削时却必须“斤斤计较”。为此我们采用了精确对刀法, 即用刀具先预切平工件端面, 然后使修光刃在垂直于工件端面方向手动微量进给切一浅槽, 用仪器测量出槽底曲线与进给方向(即预切端面)的夹角, 再

用仪表对刀架做微量调正,使修光刃与进给方向的夹角 θ (即安装角)为 0° 及其它实验用的 θ 值。具体实验条件同上,只改变 θ 角,得实验结果如图3所示,为清晰起见转换成图4以便观察安装角 θ 对粗糙度的影响规律。



(1) $\theta = 1.3^\circ$ (2) $\theta = -0.8^\circ$ (3) $\theta = -0.36^\circ$
 (4) $\theta = 0.8^\circ$ (5) $\theta = 0.4^\circ$ (6) $\theta = 1.4^\circ$ (7) $\theta = 0^\circ$
 Fig. 3 $Ra - f$ curve of different installation angles



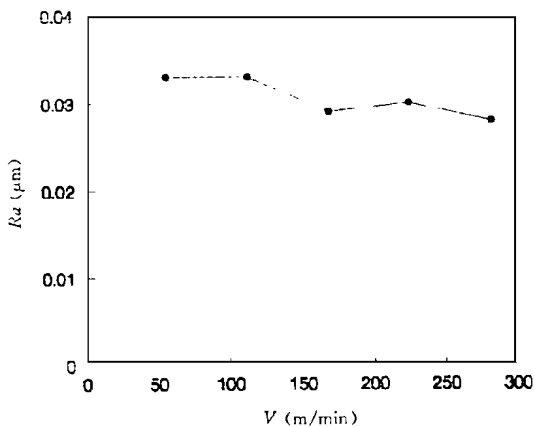
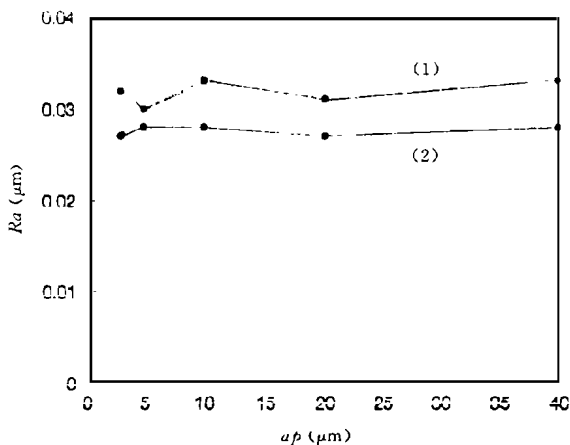
(1) $f = 25 \mu\text{m/r}$ (2) $f = 9 \mu\text{m/r}$
 (3) $f = 5 \mu\text{m/r}$ (4) $f = 1 \mu\text{m/r}$
 Fig. 4 Curve of Ra and θ

由图3、图4可看出,安装角 θ 值不同所得到的表面粗糙度相差很大, θ 的绝对值越小 Ra 值也越小,当 $\theta = 0$ 时粗糙度最小,在 $f = 15 \mu\text{m/r}$ 的条件下 Ra 值都在 $0.02 \sim 0.04 \mu\text{m}$ 之间,达到了稳定的镜面。这一结果的产生不是偶然的,当减小 θ 角时理论粗糙度急剧下降,当 θ 减到 0° 时实际加工表面粗糙度已完全不受理论粗糙度的影响,再配合其它条件便实现了镜面切削。

4 切削用量对镜面切削的影响

在一般的切削加工中切削用量三要素 V 、 f 、 a_p (尤其是 f)对粗糙度都有一定的影响。为了实现镜面加工我们采用的刀具具有修光刃,而且精确对刀使 $\theta = 0^\circ$;并用乙醇切削液,在这种条件下切削用量对粗糙度的影响作用究竟如何我们进一步做了实验研究。图5、6、7分别是 $Ra - V$ 、 $Ra - a_p$ 、 $Ra - f$ 实验曲线。

图5是固定 $f = 5 \mu\text{m/r}$ 、 $a_p = 10 \mu\text{m}$,这时 V 引起的 Ra 引的变化仅为 $0.005 \mu\text{m}$,可见镜面切削时 V 对粗糙度的影响很小。其原因有二,一是 V 对 Ra 的影响实质上是积屑瘤对 Ra 的影响。在切削实验中由于充分注入冷却和润滑效果都很好的乙醇使积屑瘤难以形成;二是由于PCD刀具本身硬度较高,耐磨性很好、热传导系数大、与有色金属之间摩擦系数低,故切削力小、切削温度低、刀具磨损很慢、耐用度极高,所以即使是高速切削也不会因刀具磨损而使 Ra 值升高。

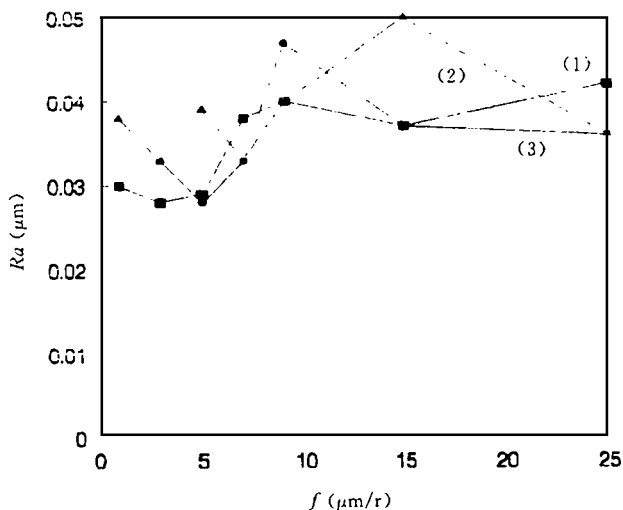
Fig. 5 Curve of Ra and V 

(1) Cuprum (2) Al-Cu-Mg alloy

Fig. 6 Curve of Ra and a_p

图6是固定 $n = 1795 \text{ rpm}$ 、 $f = 5 \mu\text{m/r}$ 对紫铜和硬铝两种材料做出的结果。可见 a_p 对粗糙度的影响极小。硬铝的 Ra 值在本实验范围内为 $0.027 \sim 0.028 \mu\text{m}$ ，其变动量仅为 $0.001 \mu\text{m}$ ，紫铜也只有 $0.003 \mu\text{m}$ 。在文献[3]中我们也得出 a_p 对 Ra 影响极小的结论，但那是在美国进口的 MSG-325型超精密机床上得出的。而这里是在普通精密机床上用国产 PCD 刀具得出的，具有更现实的意义。

图7是固定 $a_p = 10 \mu\text{m}$ 在不同 n 的条件下做出的 $Ra-f$ 曲线。可见 f 对 Ra 的影响比 V 、 a_p 的影响大一些，但是和一般切削相比就小的多。这和 $\theta = 0^\circ$ 有直接关系。由图3可明显看出当 $\theta = 0^\circ$ 时随着 f 的增大， $Ra-f$ 曲线都有上升的趋势，但 $\theta = 0^\circ$ 时曲线却较平直，说明经过精确对刀使 $\theta = 0^\circ$ 后 f 对表面粗糙度的影响很小。这在理论上是容易理解的。因为 $\theta = 0^\circ$ 时，只要进给量 f 小于修光刃长度，则无论 f 值为多少 $Ra_{理}$ 皆为0。在实际生产中这种情况很有意义。即在增大进给量提高生产率的同时还能保证工件粗糙度不变差，使质量和生产率的矛盾得以解决，确为一种理想的加工过程。

(1) $n = 1795 \text{ r/min}$ (2) 1130 r/min (3) 565 r/min Fig. 7 Curve of Ra and f

参 考 文 献

- [1] 鸿野雄一郎. 烧结ダイヤモンド工具の特徴と使用例. ジャパンマシニスト, 1983, (12): 31 ~ 34
- [2] Wang Li-jiang, et al. A Study on Mirror Turning with Multipoint Diamond Cutting Tool. Progress in Natural Science, 1992, 2(2): 151 ~ 156
- [3] 王立江等. 人造多晶金刚石刀具加工表面微观纹理的实验研究. 光学精密工程, 1995, 3(3): 67 ~ 72

A Study on Mirror Turning with Man-Made Diamond Cutting Tool and Ordinary Precision Lathe

Wang Lijang, Guo Yaohui, Zhang Lei

(*Department of Mechanical Engineering, Jilin University of Technology, Changchun 130022*)

Abstract

In present work, mirror turning is carried out using man-made diamond cutting tool (PCD) and ordinary precision lathe, showing important practical value and economical benefit.

Key words: Ordinary lathe, PCD cutting tool, Mirror turning

王立江 男, 1958年毕业于哈尔滨工业大学, 现为吉林工业大学教授, 博士生导师、机制新工艺学术带头人, 共承担十余项科研任务, 其中有四项国家自然科学基金课题, 内容涉及超声波振动切削、人造金刚石超精密加工和变参数振动钻削。已发表论文九十余篇。