

无心外圆磨床的发展趋势

无锡冶金机械厂 (214151) 李良福

摘要 本文概述了无心外圆磨床的现代化趋势,分析了有发展前途的研究科学和实现该种加工方法的新法。

关键词 无心外圆磨床 发展趋势 新加工方法

一、引言

采用导轮的无心外圆磨床已被广泛采用于成批和大批量生产中,用以高生产率制造宽产品种的任意精度的制件,其中包括精密制件。这种磨削方法的广泛采用是由于其具有一系列的磨削特点。例如,在加工时工件的自定心,可达到的加工精度高于在两顶尖和卡盘内外圆磨时的精度。摩擦传动装置可保证自由接近磨削区。可去除较多的余量。

近年来,由于建立了带多坐标 NC 系统的无心外圆磨床,故显著扩大了无心磨床加工的可能性。这种无心外圆磨床可采用来控制加工和修正砂轮与导轮;磨削速度可提高到 120m/s;该磨削过程可采用在纳米工艺中。

二、无心磨削的稳定性和安全性的保证

无心外圆磨削过程的稳定性大多取决于工件旋转的稳定性。旋转稳定性的破坏伴随着“打滑”(工件的圆周速度提高到砂轮的速度),从而导致工件从磨削区挤出,而在一系列情况导致砂轮的破裂。此外,在加工过程开始时工件不旋转,暂时扭矩未达到所需值。因此,在不动的被加工表面上形成切口,从而在横截面内工件进一步成形的变坏。

在分析传统无心磨削方式(图 1)和借助计算机计算和实验研究基础上,给出了可确定工件定位和

磨削条件参数的实际推荐。工件在无心外圆磨床上旋转的稳定性与一系列参数有关,属于这些参数(见图 1)的有:托板的斜面角 θ ;表征半径为 r 的工件轴线在加工过程中的配置角 $\gamma = \alpha + \beta$;法向切削分力 P_N 和切向切削分力 P_T ;在托板和导轮上的法向反力 R_H 、 R_B 和摩擦力 $\mu_H R_H$ 、 $\mu_B R_B$ (μ_H 和 μ_B 为摩擦系数);工件的重量 G 。

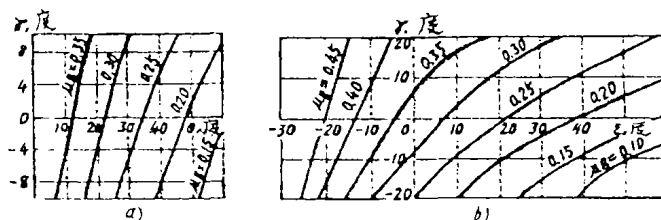


图 2 评定工件旋转稳定性的计算图表:

a - ($k = 0.2$; $\mu_H = 0.15$);

b - ($K = 0.4$; $\mu_H = 0.15$; $\gamma = \alpha + \theta$)

现已确定,影响工件旋转稳定性的不变参数是表征具体工件定位条件的 θ 角和 γ 角(所谓无心外圆磨床的几何形状调整),而可变参数是在托板和导轮上引起的切削分力和摩擦力。并且,在导轮上的摩擦力方向与加工条件有关,可能有不同方向。

当几何形状的调整给定时,工件旋转的稳定性条件取决于比值 $k = P_T/P_N$ 和摩擦系数值 μ_H 、 μ_B 。从图 2a 中可见,当 $0.35 \geq \mu_B \geq 0.15$ 时,工件稳定旋转的界限随着摩擦系数 μ_B 的减小(例如在采用金属导轮时),这界限偏移到托板斜面角 θ 较大值的区域。类似规律性(见图 2b)已被领先俄罗斯的研究人员所揭示[1]。

对图 1 所示方式,现已稳定在托板和导轮上的摩擦系数之间有下列关系[1]:

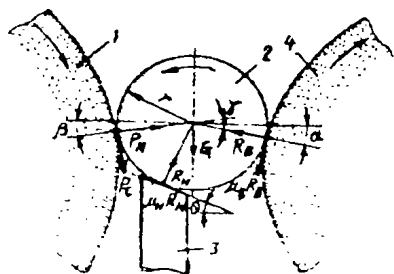


图 1 有导轮的无心外圆磨削示意图

$$\mu_B = \frac{\mu_H \cos \alpha}{\sin \alpha - \mu_H (\cos \theta - \sin \alpha)}$$

遵守这关系时可保证工件的旋转直到接近砂轮,也就是可防止在被加工表面上形成切口。

在无心外圆磨床上常采用不同材料的导轮,因此在每种具体情况必须从加工过程的稳定性观点预先评估导轮—工件摩擦副的功能条件。

在文献[2]中描述了以无心外圆磨床为基础的试验台,它可模拟工件被导轮摩擦传动。在该文献中还列出了在加工轴承钢和其它钢种工件时在摩擦试验和导轮磨损试验的结果。导轮为钢质导轮和树脂、陶瓷、聚氨酯和橡胶结合剂导轮。在试验台上检测了在不断测量摩擦系数 μ_B 时工件相对砂轮的滑动速度 Δv 。

特别有趣的是当滑动速度的符号变化时摩擦系数跳跃式变化的实验数据(见图3)。当 $\Delta v = 0$ 时没有滑动,也就是产生工件沿导轮的滚动。 Δv 的正值符合工件“超前”导轮,从而伴随着引起相对工件旋转方向的滑动摩擦力。 Δv 的负值符合工件的“滞后”,这时滑动摩擦力沿工件旋转方向定向。从图3中可看出,存在着决定工件滑动速度相对导轮的增大和减小特性之间的滞后现象。

同样已确定,当无滑动时 μ_B 值达到最大值,因为导轮的磨粒被挤入工件的表面内,从而伴随着引起最大的咬合力。

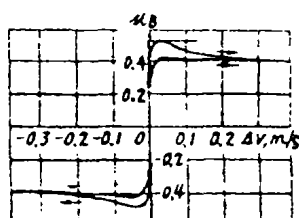


图3 在导轮上的摩擦系数 μ_B 对工件滑动速度 Δv 的变化

在文献[2]中列出了根据一系列因素(法向切削分力、工件材料、导轮的修整速度、导轮的材料和结合剂等)实验确定导轮摩擦特性的结果。其中包括已确定,有相同粒度的导轮在修整速度 300mm/min 时,在陶瓷结合剂情况 $\mu_{Bmax} = 0.4$,在橡胶结合剂情况 $\mu_{Bmax} = 0.34$,在树脂结合剂时为 0.25。在聚氨酯结合剂时 μ_{Bmax} 数值实际上与导轮的粒度无关($\mu_{Bmax} = 0.2 \sim 0.3$)。对钢导轮 $\mu_{Bmax} = 0.17$ 。

实验表明,陶瓷和树脂结合剂导轮的磨损量大于橡胶和聚氨酯结合剂导轮一个数量级。随着橡胶和聚氨酯结合剂导轮的粒度增大,它们的磨损量增

加不大。由于强烈磨损,不推荐采用陶瓷和树脂结合剂的导轮。

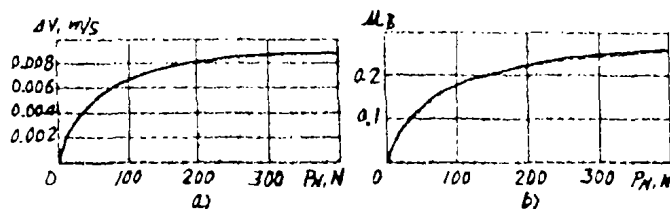


图4 在导轮上的滑动速度 Δv (a)和摩擦系数 μ_B (b)对法向磨削分力 P_N 的变化

导轮的磨损量与法向磨削分力和滑动速度显著有关。图4所示为橡胶结合剂导轮的滑动速度和摩擦系数与法向磨削分力的关系。

利用不同特性导轮的摩擦系数实验数据,可保证图2所示计算图表的实际应用,它可确定在无心外圆磨床上的安全工作区。

三、采用砂带的无心磨削

由于专门研究无心磨削的改进,提出了利用砂带替代砂轮[3]。图5所示为这种加工的示意图,柱形工件2靠摩擦传动在托板6上旋转和移动。摩擦传动是靠导轮1的轴线偏转 ψ 角实现的。砂带3靠接触轮5被压紧在柱形工件上,并借助滚轮4拉紧。在该情况的调整参数是 θ 角和 γ 角、 ψ 角以及导轮和砂带的圆周速度。

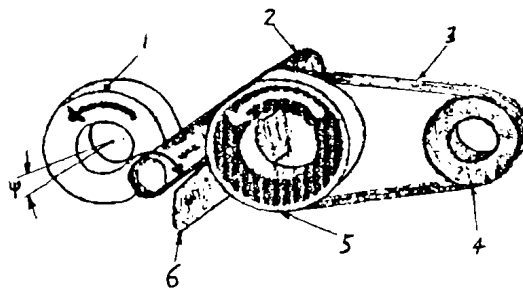


图5 利用砂带的无心磨削示意图

这种方式早先被采用来初加工棒料和精磨及抛光小零件,现在广泛用来制造任意的零件,其中包括薄壁零件、高精密零件和对表面质量要求高的零件,以及用来加工余量大的零件。由于采用现代化磨料、砂带工作表面新的涂层方法(其中包括通过有序配置磨粒)和采用特殊的坚固结合剂,故达到很好的效果。

用砂带的无心磨削有一系列优点。可增加机床的使用安全性。可提高加工生产率。促使这点的不仅是砂带的速度高(达 50m/s)和稳定,轴向进给速

度显著高(达 18m/min),而且砂粒还可有效的定向。无需修整工具。因为砂带与砂轮的区别是没有不平衡度,可显著减小振动水平,由于在高速切削时可较好的散出热量和降低单位负荷,故可减小热变形。所有这些可促使提高加工精度。

可控制加工表面的质量,并在一台无心外圆磨床上可采用一组不同的砂带。由于砂带和接触轮的更换简便,故无心外圆磨床易于重新调整。

四、进一步提高无心外圆磨床上的磨削速度

这趋势是由于采用新的工具材料实现的。例如,立方氮化硼砂轮可速度达 120m/s 工件。下表列出了用陶瓷结合剂砂轮传统无心磨削时(A)和用立方氮化硼砂轮高速磨削时(B)的结果比较数据,工序为粗磨凸轮轴的轴颈,余量为 4mm:

表 1

加工方法	A	B
磨削速度, m/s	63	120
磨削时间, s	20	12
加工指标		
直径偏差, μm	20	20
圆度, μm	10	8
表面粗糙度(R_z), μm	8	40

在无心精磨时,采用有特殊涂层的陶瓷结合剂砂轮在一系列情况可保证速度的提高。

五、无心磨削在纳米工艺中的应用

在机器制造业中,对专用来制造特别精密的轴承和光纤通信器材元件的超精密无心外圆磨床的需求日益增长。这些零件的允许圆度偏差在 10 ~ 35nm 范围内。

为提高类似要求,在无心外圆磨床上应实现不连续的进给,并用纳米测量,而传统的电机一丝杠定位系统是不可能达到的。必须有新的技术解决方法,应保证无心外圆磨床的进给机构有超刚度无间隙的结构和定位系统所需的精度。

在文献[4]中研究了以压电直线电机为基础的无心外圆磨床的超精密进给机构的结构,列出了它们的计算方法和实验研究试样的结果。对压电直线电机提出了紧凑性和高刚度、大轴向力相结合的要求,纳米精度应保证在所有移动范围内。压电电机应消除负荷的突变。不经受剪应力和较大的拉力。

目前建立的压电电机,其刚度为 2190N/ μm ,行程长度为 30 μm ,输出力为 8kN、定位精度为 0.005 μm (5nm)。

六、在无心磨削时检测力的新手段

由于在无心外圆磨床上的加工精度高,故对检

测手段提出更高的要求。符合这些要求的例如其作用是基于声发射的高敏感性仪器。类似仪器应具有 ~ 1ms 的快速动作,并可在宽广的频率范围内(50 ~ 950kHz)获得振幅大大超过按传动功率测量磨削力时的信号。

新型仪器可用来:在砂轮靠近工件时处理精确切换速度的命令;按切削力适应控制过程;控制循环以在修整砂轮时保证最小去除磨料(0.25 μm 以下),从而对立方氮化硼砂轮的无心外圆磨床甚为迫切。

宽广的信号工作频率范围对用立方氮化硼砂轮高速磨削特别重要。它是靠用模拟程序装置控制的滤波器与复盖范围相联合实现的。磨削力检测系统的高敏感性可瞬时揭示砂轮单个磨粒与工件或砂轮与修整工具的初始接触。早先在加工时和修整砂轮时采用的类似系统,因其价格高而受到限制,但近来由于完善了结构故它们的价值大大下降。

这种检测装置可内置在砂轮的平衡部件内。对粗磨和用单颗金刚石修整砂轮的工序,可将系统的传感器安装在砂轮架壳体上或砂轮的修整机构上。当对加工质量的要求较高时,或用金刚石滚轮以较小去除磨料量修整砂轮时,传感器可直接安装在砂轮或金刚石导轮的主轴上。上述装置已被英国和美国公司成功采用于无心磨削轴承套圈[5]。基于声发射作用的检测和控制系统的采用,可大大提高在无心外圆磨床上的生产率和加工精度。

七、结束语

这样,可断定新趋势的出现,即高生产率的无心磨削工艺可采用在成批生产中,用来制造超高精度的零件。因此,在建立国产有竞争力的无心外圆磨床时,不仅必须注意早先生产的传统结构,而且还要建立新原理的基于本文研究的结构。

参考文献

1. С.Д. Вайс 等. Исследования бесцентровых круглошлифовальных станков. СТИН, 2001(8)2328
2. Hashimoto F. Effects of friction and wear characteristics of regulating wheel on centerless grinding. Abrasives. Centerless grinding, coated abrasives. - Aug. 2000, - P.8 ~ 15.
3. Mewes D.H, Mclean R.M. Advantages of centerless grinding dimensioning and finishing with coated abrasives belts. Abrasives. Centerless grinding, coated abrasives. - Aug. 2000, P31 ~ 37.
4. Ni J., Zhu Z. Design of high stiffness ultraprecision centerless grinding machine. Linear piezomotor as feed drive. Abrasives, Centerless grinding, coated abrasives, - Aug. 2000, - P.16 ~ 25.
5. Morgan J., Case W. Acoustic emission monitoring for production. Ibid. P. 26 ~ 30.