

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.12.009

刀尖微结构 SPDT 振动压印装置及其试验研究*

吕俊杰,俞虹飞,任旭,冯凯,王艺蒙
(杭州电子科技大学 机械工程学院,浙江 杭州 310018)

摘要:针对拉刀前刀面内凹且材质坚硬,难以实现刀尖表面微结构加工的问题,对单点金刚石刀具(SPDT)振动压印制备微结构的加工原理进行了研究,提出了一种刀尖微结构 SPDT 振动压印装置;利用此装置成功在试验拉刀前刀面制备了 3 排 $\times$ 30 列,最大圆截面直径为 30 μm 、深度为 10 μm 的“圆坑型”微结构;并将此试验拉刀与常规拉刀进行了对比拉削试验,研究了刀尖微结构对拉削负载的影响。研究表明:在稳定拉削阶段,相较于常规拉刀,试验拉刀的拉削负载均值、最大值、最小值降幅分别达到了 5.20%、5.04% 和 12.33%,说明在拉刀前刀面制备微结构后,可以有效降低拉削负载,提高拉削性能,改善现有加工技术。

关键词:内凹型表面;刀尖微结构;单点金刚石刀具;振动压印

中图分类号:TH161;TG156

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2019)12-1282-04

SPDT vibration imprinting device for tool tip microstructure and application

LV Jun-jie, YU Hong-fei, REN Xu, FENG Kai, WANG Yi-meng
(College of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the problem that the front face of broach is concave and hard, it is difficult to realize the microstructure machining of tool tip surface, the machining principle of single point diamond tool (SPDT) vibrating press printing microstructure was studied. A tool tip microstructure SPDT vibratory imprinting device was proposed. 3 rows and 30 columns of round pit microstructure was successfully prepared on the front of the test broach by this device. Their maximum circular section diameter was 30 μm and the depth was 10 μm . And the test broach was compared with the conventional broach. The effect of tool tip microstructure on broaching load was studied. The results show that in the stable broaching stage, compared with the conventional broach, the average broaching load, maximum and minimum broaching load of the test broach respectively is achieved by 5.20%, 5.04% and 12.33%. It shows that the broaching load can be effectively reduced after the microstructure is prepared at the front of the broach, which is helpful to improve the broaching performance and the existing machining technology.

Key words: concave surface; tip microstructure; single point diamond tool (SPDT); vibration imprint

0 引言

在金属切削过程中,刀尖表面微结构可以有效降低切削负载,延长刀具的使用寿命^[1-2],因此,在刀尖表面制备合适的微结构是提高刀具切削性能的一种有效途径。但是由于刀尖表面存在硬度大等特点,使得在刀尖表面制备微结构成为一个难题。因此,研制一种适用于刀尖表面制备微结构的装置具有重要的意义。

近年来,在刀尖表面微结构制备工艺的研究方面,

国内外许多研究人员都开展了相关的研究,其中具有代表性的主要有:美国的 LEI S 等^[3]基于飞秒激光技术,在硬质合金刀具前刀面加工出了直径在几十到几百微米的微坑微结构,并研究了微坑对切削刀片的影响;邢佑强等^[4]基于 Legend Elite-USP 钛宝石飞秒激光器,在陶瓷刀具前刀面加工出纳米级微结构,研制出了一种微纳复合微结构自润滑陶瓷刀具;苏永生等^[5]基于光纤激光器,在硬质合金刀具前刀面进行了微沟槽和微凹坑微结构的加工,并分析了平均输出功率、脉

收稿日期:2019-04-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51775153)

作者简介:吕俊杰(1995-),男,浙江东阳人,硕士研究生,主要从事刀具优化设计方面的研究。E-mail:lvjunjie950924@163.com

冲频率和离焦量等不同工艺参数对微微结构的形貌和质量的影响;ROSHAN S^[6]使用 Nd:YAG 激光器,在硬质合金刀具上加工了微坑微结构,并对激光参数如波长和注量对单个凹坑尺寸形貌的影响进行了试验,试验结果表明:使用波长 355 nm 的低注量可以获得极少飞溅的均匀圆形凹坑;LIAN Yun-song 等人^[7]使用激光,对合金刀具置入微结构,并利用激光参数对微结构的影响进行了研究;OBKAWA T^[8]用激光在硬质合金刀面加工出了多种分布微微结构,并在微结构表面涂覆了类金刚石薄膜;北京理工大学陈碧冲及华南理工大学谢晋^[9-10]采用磨削加工方法加工了微微结构,采用 V 型金刚石砂轮,在车刀前刀面上进行了微槽加工,并研究了微槽结构对切削性能产生影响的机理。

综上所述,微结构的制备工艺大多集中在激光加工、磨削加工、电火花加工等方面。但是,此类加工方法存在诸多不足之处:(1)激光加工无法将激光束照射进内凹型表面,因此,无法使用激光加工在空间内凹表面制备微结构;(2)磨削加工和电火花加工在微结构制备过程中,容易在加工表面产生刻蚀残留物,这些残留物会对刻蚀表面会造成损伤,同时,危险气体的存在也增大了加工过程的安全风险。

相较于以上加工方法,利用单点金刚石刀具制备微结构方法更加绿色,成本更低。但是,目前国内外对 SPDT 在刀尖表面制备微结构的相关研究设计仍然较少,而开展刀尖微结构 SPDT 振动压印装置及应用的研究,具有十分重要的意义。

本文将对 SPDT 振动压印制备微结构的加工原理进行研究,并提出一种刀尖微结构 SPDT 振动压印装置。

1 制备原理与系统结构

1.1 SPDT 振动压印制备微结构原理

SPDT 振动压印制备微结构的加工原理如图 1 所示。

图 1 中,通过对圆锥形金刚石刀尖施加往复的振动力,金刚石刀尖对工件表面不断挤压,最终通过材料的塑性变形,在工件表面形成压痕(即“圆坑型”微结构)。

其中,所制备的圆坑型微结构最大截面直径须满足下式:

$$D_s = 2A \cdot \tan(\theta/2) + D_\lambda \quad (1)$$

式中: D_s —微结构最大圆截面直径; A —振动力的振幅; θ —圆锥形刀尖截面夹角; D_λ —刀尖截面直径。

1.2 SPDT 振动压印装置系统结构

1.2.1 机械系统设计

本研究设计的刀尖微结构 SPDT 振动压印装置如图 2 所示。

图 2 中,刀尖微结构 SPDT 振动压印装置机械设

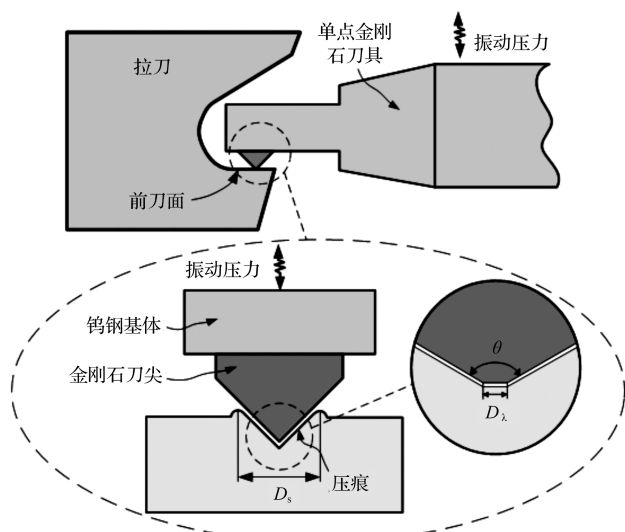


图 1 SPDT 振动压印制备微结构的加工原理

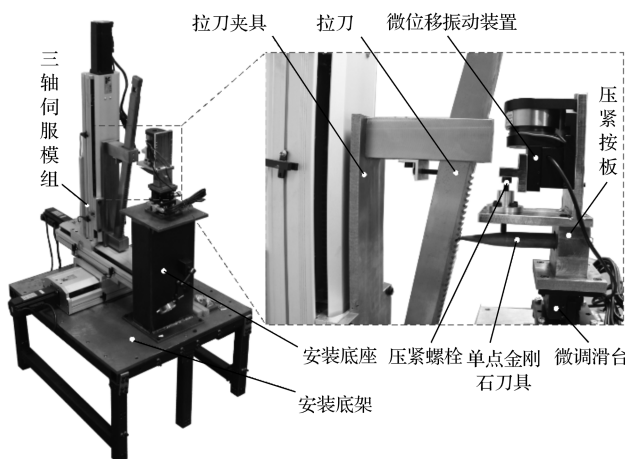


图 2 SPDT 振动压印装置

计部分主要由安装底架、安装底座、三轴伺服模组、拉刀夹具、拉刀、微位移振动装置、单点金刚石刀具(圆锥形刀尖截面夹角为 $\theta = 90^\circ$, 刀尖截面最小直径为 $D_\lambda = 10 \mu\text{m}$)、压紧按板、压紧螺栓、微位移滑台组成。

其中,微位移振动装置由音圈电机、光栅尺、COPLEY 驱动器(CDHD—4D5/006)、开关电源组成。

本研究以三轴伺服模组为驱动原件,配合拉刀夹具,实现了拉刀三维空间内的位置定位与输送;将单点金刚石刀具通过螺栓,与置于微调滑台平面上的压紧按板相连接。微结构制备前,在夹具上装夹拉刀,调整拉刀前刀面至水平位置,三轴伺服模组带动拉刀至单点金刚石振动压印初始位置,通过音圈电机往复撞击压紧螺栓,在单点金刚石刀具刀柄上施加 20 Hz ~ 100 Hz 振动频率的激振力,最终实现“圆坑型”微结构的高位置精度、高效率、高质量制备。

1.2.2 电气系统设计

为了使微结构制备过程更加便捷,本研究对所提出的刀尖微结构 SPDT 振动压印制备装置进行自动化

设计。

SPDT 振动压印装置控制原理如图 3 所示。

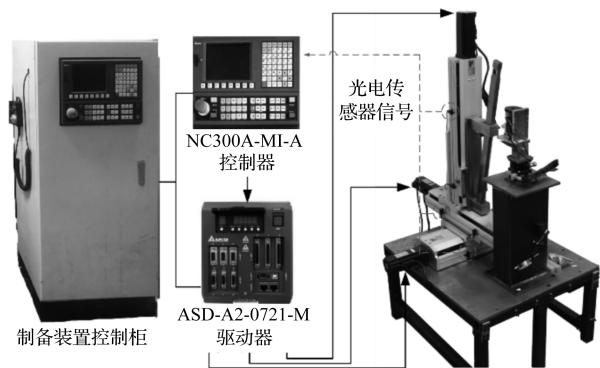


图 3 SPDT 振动压印装置控制原理图

图 3 中,SPDT 振动压印装置电气控制部分主要由 NC300A-MI-A 控制器、ASD-A2-0721-M 驱动器、光电传感器、控制柜组成。

通过核心的 NC300A-MI-A 控制器,本文进行整个制备装置的动作控制;通过其特有的 CN 接口,与 ASD-A2-0721-M 驱动器连接;采用“一拖三”的电机驱动模式(即 1 个驱动器驱动 3 个电机),极大地减少了控制单元,缩短了控制链条,避免了三轴联动中产生的传动控制误差,提高了加工精度。

同时,本文利用光电传感器作为三轴伺服模组的限位开关,限定了三轴伺服模组运动的极限距离,增强了本制备装置的安全性。并且,本文还为 NC300A-MI-A 控制器提供了人机交互界面,使用了嵌入式系统,架构稳定;提供 On-line 及 off-line MLC 编程,使装置操作及维护更加简单。

2 拉削试验与结果分析

2.1 试验样件制备

2.1.1 试验拉刀

拉削试验刀具采用的是键槽拉刀,材料为高速钢 W6Mo5Cr4V2。

试验拉刀造型如图 4 所示。

图 4 中,拉刀具体尺寸为:总长度为 600 mm,宽度 b 为 16 mm,最大齿数为 50;刀齿前角 γ_0 为 12° ,后角 α_0 为 6° ,齿距 p 为 6 mm。

其中:刀齿齿数序号为 1~40 部分为粗拉区,齿升量为 0.04 mm;刀齿齿数序号为 41~45 部分为半精拉区,齿升量为 0.01 mm;刀齿齿数序号为 46~50 部分为精拉区,齿升量为 0 mm。

拉削加工是一种单程加工工艺,拉削进给量就是拉刀刀齿的齿升量,因此,在试验条件一致的情况下,可将齿升量相等部分刀齿的拉削情况视为相同。所

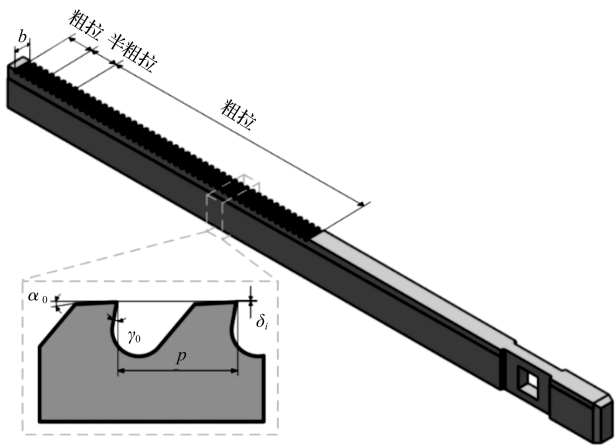


图 4 试验拉刀造型

以,本文对拉刀粗拉区前刀面进行 SPDT 制备微结构。

2.1.2 前刀面微结构制备

根据艾兴等^[11]的研究发现,合理提升微结构的面积占有率,减少微结构的直径,对提高刀具的切削性能有明显的影

响。综合考虑以上因素后,在试验拉刀前刀面开设最大圆截面直径为 30 μm ,每列间距 300 μm ,每行间距 150 μm ,共 3 行 40 列“圆坑型”微结构。

根据式(1),笔者选取微位移振动装置的振幅为 10 μm ,振动频率为 20 Hz。在微结构开设前,须对拉刀进行表面预处理,即将拉刀样品放入乙醇溶液中,利用超声清洗,然后用冷风吹干。

2.2 拉削性能试验

2.2.1 拉削试验系统

拉削试验系统如图 5 所示。

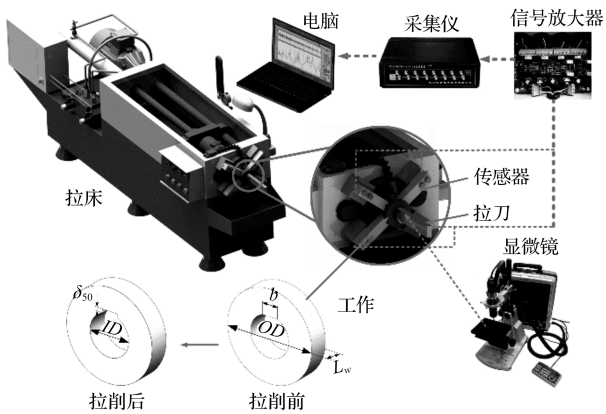


图 5 拉削试验系统

图 5 中,拉削试验系统采用 LG612Ya-800 卧式内拉床,主要由拉床床身、控制台、导向套、主油缸(缸径 100 mm,活塞杆直径 50 mm,行程 800 mm)、三向力传感器 CTY204、45 号钢工件和试验拉刀组成。该拉削机床的额定拉力为 20 kN,在该试验中笔者选取拉削速度为 85 mm/s。拉削时,拉刀固定在主溜板上,在液

压缸的带动下实现工件的拉削。

其中,试验工件为 45 钢制成的圆筒。工件的外径 (OD) 为 90 mm, 内径 (ID) 为 41 mm, 厚度 L_w 为 20 mm, 总切削深度 δ_{50} 为 1.88 mm。

2.2.2 试验采集系统

拉削负载采集由三向力传感器及相对应的数据采集仪完成。三向力传感器采用“四位一体”组合式压力互补传感器 CTY204 (输出电压为 0 ~ 10 V, 最大负载为 2 T, 灵敏度为 2 mV/V, 频率响应为 50 Hz) 构成, 采用数据采集仪 (uT3408FRS-ICP) 收集试验数据 (采样频率 10 240 Hz、触发方式: 上升沿检测)。

2.2.3 试验安排

为保证试验数据的真实有效性, 本文对前刀面未开设微结构的常规拉刀, 利用 SPDT 制备微结构的拉刀, 在相同的试验条件下, 分别进行 5 次干拉削试验, 以用于对比分析; 并采集每次拉削试验的拉削负载。

2.3 拉削试验结果分析

根据前述试验方案, 本文得到了重复性较好的拉削负载数据。

笔者选取其中一组常规拉刀 (CB) 和前刀面开设有微结构的拉刀 (MB) 的拉削负载试验数据, 提取两者拉削负载稳定后 (1.8 s ~ 4.3 s) 的均值、最大值与最小值进行比较, 如图 6 所示。

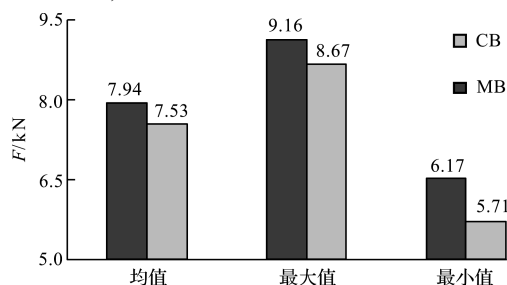


图 6 拉削负载对比

从图 6 中可以看出:

相较于常规拉刀 CB, 拉刀 MB 的拉削负载有明显的降低; 常规拉刀 CB 的拉削负载均值、最大值、最小值分别为 7 945.25 N, 9 125.25 N 和 6 517.26 N, 而拉刀 MB 的拉削负载均值、最大值、最小值则分别降低至 7 532.42 N, 8 665.47 N 和 5 713.18 N, 拉削负载均值、最大值、最小值都得到了降低, 降幅分别达到了 5.20%、5.04% 和 12.33%。

3 结束语

本研究提出了一种利用单点金刚石振动压印的微结构制备装置, 进行了机械及电气系统设计, 利用此装置成功在试验拉刀前刀面制备了 3 排 × 30 列最大圆截面直径为 30 μm, 深度为 10 μm 的“圆坑型”微结构, 并将该试验拉刀与常规拉刀进行了对比拉削试验, 研究了刀尖微结构对拉削负载的影响。

研究结果表明: 在稳定拉削阶段, 相较于常规拉刀, 试验拉刀的拉削负载均值、最大值、最小值均得到了降低, 且降幅分别达到了 5.20%、5.04% 和 12.33%, 这有助于提高拉削性能, 改善现有拉削加工技术。

参考文献 (References):

- [1] 王秀英. 具有微织构摩擦表面的燃气轮机榫槽拉刀减阻效应的研究[D]. 合肥: 安徽大学机械工程学院, 2014.
- [2] 吴泽, 邓建新, 亓停, 等. 微织构自润滑刀具的切削性能研究[J]. 工具技术, 2011, 45(7): 18-22.
- [3] LEI S T, DEVARAJAN S, CHANG Z H. A study of micropool lubricated cutting tool in machining of mild steel[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2009, 209(3): 1612-1620.
- [4] 邢佑强, 邓建新. WS₂/Zr 软涂层微纳结构陶瓷刀具的制备及其切削性能[J]. 航空制造技术, 2014, 3(12): 48-53.
- [5] 苏永生, 李亮, 何宁, 等. 激光加工硬质合金刀具表面微织构的试验研究[J]. 中国激光, 2014, 41(6): 267-273.
- [6] ROSHAN S, KANMANI S S, PALANI I A. Performance of laser surface textured high speed steel cutting tool in machining of Al7075-T6 aerospace alloy[J]. *Surface & Coatings Technology*, 2017, 313(12): 337-346.
- [7] LIAN Yun-song, DENG Jian-xin, YAO Bin, et al. Influence of different cemented carbides on fabricating periodic micro-nano textures by femtosecond laser processing[J]. *Surface & Coatings Technology*, 2017, 317(3): 166-171.
- [8] OBIKAWA T. Micro-texture at the coated tool face for high performance cutting[J]. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2011, 51(3): 966-972.
- [9] 陈碧冲. 微织构刀具的设计与切削性能试验研究[D]. 北京: 北京理工大学机械工程学院, 2015.
- [10] 谢晋, 罗敏健. CBN 车刀前刀面微沟槽结构磨削及其对干切削温度的影响[J]. 机械工程学报, 2014, 50(11): 192-197.
- [11] 程锐, 艾兴, 葛栋良, 等. MQL 条件下微织构刀具车削钛合金的切削加工性试验分析[J]. 工具技术, 2018, 52(11): 36-39.

[编辑: 周昱晨]

本文引用格式:

吕俊杰, 俞虹飞, 任旭, 等. 刀尖微结构 SPDT 振动压印装置及其试验研究[J]. 机电工程, 2019, 36(12): 1282-1285.

LV Jun-jie, YU Hong-fei, REN Xu, et al. SPDT vibration imprinting device for tool tip microstructure and application[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2019, 36(12): 1282-1285.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>