

# PCD 成型刀具单向走丝线切割加工工艺

杨辉全,刘华,刘松,蒲明,唐正文

成都工具研究所有限公司

**摘要:** 从 PCD 刀具材料、主要放电参数选择、切割工艺及放电铜丝等方面研究影响单向走丝线切割 PCD 刀具的相关因素,从而选择合适的刀具刃口光洁度、轮廓精度、加工效率和圆跳动量。

**关键词:** PCD 成型刀具;单向走线工艺;放电参数

**中图分类号:** TG71;TG659;TH162 **文献标志码:** A **DOI:**10.3969/j.issn.1000-7008.2020.05.009

## Research on PCD Forming Tool Unidirectional Wire Cutting Process

Yang Huiquan, Liu Hua, Liu Song, Pu Ming, Tang Zhengwen

**Abstract:** In this paper, the relevant factors of unidirectional wire cutting PCD tools are studied from the aspects of PCD tool materials, main discharge parameters, cutting processes, and discharge copper wires, so as to ensure the cutting edge smoothness, contour accuracy, machining efficiency and circular runout of the tool.

**Keywords:** PCD forming tool; slow wire drawing process; discharge parameter

## 1 引言

PCD 成型刀具广泛应用于有色金属及非金属材料加工,选择合适的刀具设计参数和较高的刃口光洁度可以发挥良好的加工效果,获得较高的表面光洁度和生产加工效率。单向走线加工工艺是目前 PCD 刀具成型加工的主要手段之一,对其加工工艺的研究尤为重要。

单向走线是利用连续移动的细金属丝脉冲火花放电产生高温,蚀除金属、切割工件的数控机床。其原理是利用电极线与工件的小间隙,不断地放电蚀除金属离子。单向走线线切割机采取电极线连续供丝模式,电极线在运动过程中即可完成切割。本文主要从影响 PCD 刀具单向走线工艺的主要因素(刀

具材料、主要放电参数、切割工艺和放电铜丝四个方面)来进行探讨。

## 2 PCD 成型刀具单向走线工艺因素

### 2.1 PCD 刀具材料放电

如图 1 所示,在 PCD 电火花放电过程中,金刚石颗粒本身不导电,而是通过其粘接剂 Co 放电来实现腐蚀去除。放电机理包括两方面:脉冲能量弱时,局部的金刚石颗粒被碳化、熔化;脉冲能量强时,主要以局部高温使带电黏结剂熔化、粘接剂因汽化而去除,金刚石颗粒脱落。

在单向走线加工过程中,不同牌号的材料放电效果不同。根据现有条件,在发那科 A400 单向走线机床进行试验,采用相同的经验放电参数。制作 4 种不同材料牌号的刀具进行相同切割试验,并采取切 1 修 3 的方式进行加工,从而研究切割光洁度

基金项目: 国家科技重大专项(2019ZX04001031)

收稿日期: 2019 年 11 月

[12] Hosford W. Metal forming: mechanics and metallurgy [J].

Prentice-Hall, 1983, 11(1): 122-123.

[13] 周照耀, 李元元. 金属粉末成形力学建模与计算机模拟 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2011.

[14] Khoei A R, Keshavarz S, Khaloo A R. Modeling of large deformation frictional contact in powder compaction processes [J]. Applied Mathematical Modelling, 2008, 32(5): 775-801.

[15] Khoei A R, Lewis R W. Finite element simulation for dynamic large elastoplastic deformation in metal powder forming [J]. Finite Elements in Analysis and Design, 1998, 30(4): 335-352.

[16] L Logan Daryl. 有限元方法基础教程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.

第一作者: 江凌燕, 工程师, 株洲钻石切削刀具股份有限公司, 412007 湖南省株洲市

First Author: Jiang Lingyan, Engineer, Zhuzhou Cemented Carbide Cutting Tool Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412007, China

通信作者: 江湘颜, 副教授, 湖南工业大学机械工程学院, 412007 湖南省株洲市

Corresponding Author: Jiang Xiangyan, Associate Professor, School of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou, Hunan 412007, China

和放电效率等。BT005, BT010, BT025, BT030 分别指 BT 公司不同颗粒度的 PCD 复合片, 粒度逐渐增大。试验结果见表 1。

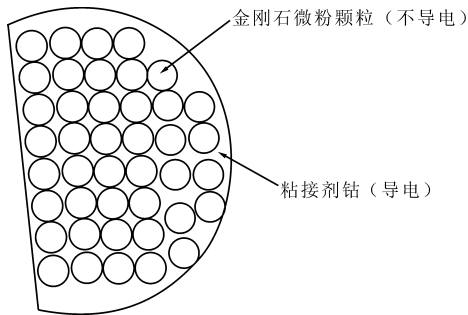


图 1 聚晶金刚石微观带电

表 1 BT 系列 PCD 牌号的切割试验

材料牌号	BT005	BT010	BT025	BT030
切割效率 (mm/min)	1.2	1	0.85	0.75
切割粗糙度 (μm)	0.2	0.3	0.4	0.6

由表 1 可知, 随着 PCD 粒度的增大, 切割效率降低, 刃口光洁度越来越差。进一步证明随着 PCD 粒度的增大, 粘接剂的致密性越来越差, 使导电性逐步降低, 放电效率更慢; 随着 PCD 粒度的增大, 金刚石颗粒在放电过程中脱落的缺口也逐渐增大, 导致刃口光洁度降低。

### 2.2 主要放电参数选择

在单向走线放电加工中, 影响放电的主要参数包括控制电流、加工电压、放电脉宽时间、放电脉间时间和伺服电压等。放电脉宽时间、控制电流和加工电压主要影响放电能量的强弱。放电能量增强, PCD 材料的去除率升高, 但会使刀具刃口质量降低, 工件表面加工质量下降。放电脉宽时间和伺服电压增大可以提高加工刀具的精度, 但会降低加工效率。

为获得良好的切割效果, 采用发那科 A400 设备进行多次切割试验, 分别得出不同 PCD 型号的电加工参数。

图 2 005,010 材料放电参数 图 3 025,030 材料放电参数

如图 2 和图 3 所示, 针对导电性能较好的 005, 010 PCD 材料, 采用切 1 修 2 的方式进行切割; 针对

导电性能较差的 025, 030 刀片采用切 1 修 3 的方案。根据该设备内部参数, 当 PM 不同时, 各加工参数数值代表的含义不同。

### 2.3 确定切割工艺

#### (1) 多次切割技术

多次切割技术是提高慢速走丝线切割精度和加工质量的主要工艺。一般通过一次放电成形, 二次放电提高精度, 三次以上放电提高表面粗糙度。多次切割的加工量见图 4。

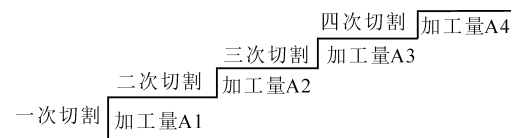


图 4 多次切割的加工量

制作 4 把 BT030 型号的 PCD 刀具, 该材料导电性较差, 采取 4 次切割成型工艺, 进行 4 次加工试验。每把刀具加工选取相同的经验放电参数与相同的切割总量, 但每把刀具的加工量不同, 每次加工量分别用 A1, A2, A3, A4 表示。由于刀具有焊接误差的影响, 因此在保证 4 把刀具尺寸相同的情况下, 其总加工余量可能有细微差别。同时, 由于机床可以设置第 2, 3, 4 次的加工量, 第 1 次加工量不精确。经过 4 次试验, 观察不同加工量对切割的影响, 得到数据见表 2。

表 2 不同加工量的切割数据试验

试验序号	1 号刀	2 号刀	3 号刀	4 号刀
A1 (mm)	约 0.255	约 0.241	约 0.214	约 0.181
A2 (mm)	0.03	0.04	0.06	0.08
A3 (mm)	0.012	0.015	0.02	0.03
A4 (mm)	0.003	0.004	0.006	0.009
总的切割效率 (mm/min)	0.75	0.78	0.76	0.79
切割粗糙度 (μm)	0.4	0.45	0.6	0.8

通过分析以上数据可以发现, 在相同加工参数和刀片材料的情况下, 不同的加工余量对切割速度的影响不大; 随着切割余量的不断增大, 切割粗糙度不断增大。对于此牌号的 PCD 刀具, 达到的最佳切割粗糙度仅为  $R_a 0.4 \mu\text{m}$ 。

#### (2) 刀具刃口成型

刀具刃口成型是 PCD 成型刀具最重要的工序 (见图 5), 能实现带 A 轴单向走线机床的多轴联动加工。在发那科 A400 电加工机床进行试验, 通过测量刃口不同点的分度, 使刀具加工时刃口各点更接近实际分度点, 从而保证刀具刃口轮廓精度和圆跳动。通过形状导入、输入刀具角度参数、程序编程

和分度测量可以生成加工程序。单向走线模拟图示见图6。

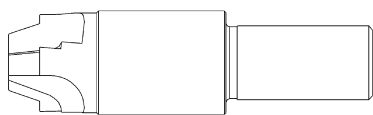


图5 PCD 刀具外形



图6 单向走线模拟

通过在线监测,刀具外圆刃口的全跳动在0.008mm以内。在ZOLLER仪器上监测刀具状态,刀具的轮廓精度达到0.015mm,满足设计要求。

#### 2.4 电极丝的选择

电极丝的热物理性能是影响加工效率的主要因素之一。在切割工件放电时会产生大量的热量,如果热量损耗在电极丝上,电极丝会因高温而断裂。同时,电极丝应具有低熔点和高气化压力的特点,由于低熔点的锌对改善电极丝放电性作用明显,所以在黄铜丝外再加一层锌,就产生了镀锌电极丝。为比较普通黄铜丝与镀锌铜丝在切割PCD刀具时的影响,选取BT010材料型号的PCD刀具在相同放电条件及工艺下进行切割试验,得出的数据见表3。

表3 不同线切割丝的切割试验

型号	切割速度 (mm/min)	切割表面粗糙度 ( $\mu\text{m}$ )	轮廓精度 (mm)
普通黄铜丝	0.8	0.6	0.02 以内
镀锌铜丝	1	0.4	0.015 以内

可以看出,镀锌铜丝切割PCD刀具速度较高,加工工件表面质量较好,加工精度较高。但镀锌铜丝价格相对普通铜丝更贵,需结合实际生产加工效率,考虑是否采用镀锌铜丝。

### 3 结语

(1)PCD刀具材料的粒度越小,放电效率越高,单向走线切割的光洁度越好。

(2)不同粒度的PCD刀片宜采取不同的加工参数,达到切割效率和光洁度的要求。

(3)PCD刀具宜采取多次切割的工艺,在相同加工参数的情况下,随着切割余量的减小,不断优化切割光洁度。

(4)带A轴的5轴联动单向走线机床可以保证该类成型PCD刀具的刃口成型、圆跳动量及刃口质量。

(5)在切割PCD刀具时,镀锌铜丝比普通黄铜具丝有更高的切割效率、更优的切割质量及精度,但成本更高。

### 参考文献

- [1]杨冰.慢走丝加工工艺技术实践探讨[J].中国高新区,2019(4):24.
- [2]孟宪旗,陈斌杰,李海涛.浅析慢走丝用电极丝技术的发展及应用[J].模具制造,2019(3):75-79.
- [3]孟宪旗,李海涛.慢走丝电火花加工表面质量的改善与提高[J].模具制造,2018,18(1):63-66.
- [4]冯巧波,周佳骏.慢走丝电火花线切割加工精度影响因素的研究[J].机械设计与制造,2010(8):185-186.
- [5]张才平.慢走丝线切割加工精度的改善和提高[J].模具制造,2014,14(7):84-87.

第一作者:杨辉全,工程师,成都工具研究所有限公司,610051 成都市

First Author: Yang Huiquan, Engineer, Chengdu Tool Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610051, China