

非导电超硬磨料砂轮电火花放电修整技术^{*}

蔡兰蓉¹ 杨慧¹ 闫利文¹ 胡德金²

(1. 天津职业技术师范大学高速切削与精密加工重点实验室, 天津 300222;

2. 上海交通大学机械与动力工程学院, 上海 200030)

【摘要】 提出借助辅助放电材料对非导电超硬磨料砂轮进行放电修整的方法, 阐述了放电蚀除结合剂实现非导电超硬磨料砂轮修锐的基本原理。通过观察修锐前后树脂结合剂金刚石砂轮表面的微观形貌, 分析了峰值电流和电流脉宽对砂轮修锐质量的影响。结果表明, 利用辅助放电材料实现非导电砂轮放电修锐是可行的, 峰值电流是影响脉冲放电能量和修整区域温度场的重要因素; 适合树脂结合剂金刚石砂轮修锐的放电峰值电流不高于 3 A。

关键词: 砂轮 非导电 超硬磨料 放电 修整

中图分类号: TG74⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)07-0219-04

Electrical Discharge Truing/Dressing Technology of Non-electrical Super-abrasive Grinding Wheels

Cai Lanrong¹ Yang Hui¹ Yan Liwen¹ Hu Dejin²

(1. Key Laboratory of High Speed Cutting & Precision Machining, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China 2. School of Mechanical and Power Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract

A novel electrical discharge truing/dressing (EDD) technology which could dress non-electrical super-abrasive grinding wheels such as resin-bonded diamond wheel and vitrified CBN wheel by means of covering electrical material on the surface of wheel was proposed. The principle of removing non-electrical bond during MEDD process was illustrated. The resin-bonded diamond wheel topographies prior and after electrical discharge dressing were observed by VH-800 3-D digital microscope. The results of electrical discharge dressing under different discharge current (i_c) and discharge duration (t_c) were compared. Experimental results indicate that the proposed EDD method is applicable to non-electrical bond wheels. In addition, discharge current has direct influence on the wheel surface topography and the performance of diamond grains. As well as, pulse duration has less influence on the wheel surface topography. The experimental results also reveal that the appropriate discharge current (i_c) in dressing resin-bonded diamond wheel process is less than 3 A.

Key words Grinding wheel, Non-electrical, Super-abrasive, Electrical discharge, Truing/dressing

引言

传统金刚石砂轮放电修整作为非接触修整技术, 是基于电物理学、热的熔化和气化机理去除砂轮

结合剂, 从而避开修整工具直接作用和接触超硬金刚石磨粒的一种很有发展前途的修整技术^[1-2]。但由于放电电极有导电要求, 被修整的金刚石砂轮只能是黄铜基或铸铁基等导电型金刚石砂轮。对于非

导电的树脂结合剂和陶瓷结合剂金刚石砂轮,传统放电修整技术不能有效应用。为此提出一种电火花修整方法,以树脂结合剂金刚石砂轮为例,对弱导电和非导电砂轮进行修整^[3]。

1 原理

电火花砂轮修锐技术是 Suzuki 和 Uematsu^[4-5]首先提出的一种成本低廉、实用性强的超硬磨料砂轮修整技术。电火花放电之所以能够蚀除导电金刚石砂轮结合剂材料,主要是因为放电两极之间的火花通道瞬时产生大量的热,瞬时高温可使导电砂轮表面结合剂材料熔化甚至气化,形成放电凹坑突出磨粒,从而实现导电砂轮的修锐。但非导电金刚石砂轮存在绝缘性,火花放电不会直接在修整电极和非导电金刚石砂轮之间产生,为此,本文提出非导电金刚石砂轮放电修整方法,其基本原理如图1所示。

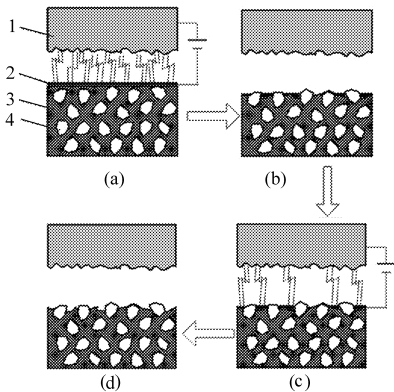


图1 火花放电修整树脂结合剂金刚石砂轮基本原理

Fig. 1 Mechanism of MEDD on resin-bonded diamond grinding wheel

1. 修整电极 2. 导电材料 3. 树脂结合剂 4. 金刚石磨粒

在非导电砂轮表面贴附一层极薄的导电材料作为辅助电极,在脉冲电压作用下修整电极与辅助电极之间放电,放电产生的瞬时高温作用到导电材料表面(图1a),首先将一部分导电材料蚀除,同时放电产生的瞬时高温和热爆炸力也会通过介质及辅助电极传递作用于非导电树脂结合剂金刚石砂轮表面。树脂结合剂为高分子材料,无固定熔点(200~400℃),受热后先于金刚石磨粒软化或分解被蚀除,周围的金刚石磨粒因此裸露出来(图1b)。未被蚀除的导电材料会熔入树脂结合剂中,树脂结合剂的导电性能得到增强。在脉冲电压作用下,修整电极与导电材料及树脂结合剂之间会再次产生放电(图1c),放电产生瞬时高温会进一步氧化分解砂轮表面的树脂结合剂,使磨粒裸露高度增大(图1d),达到修锐的效果。

此外,金刚石和树脂结合剂的材料热物理性能差别很大。金刚石热传导率为 $20\text{ W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$,是树脂结合剂的3000~8000倍;其热扩散系数为 $3.114\text{ cm}^2/\text{s}$,是树脂结合剂的1000倍;在相同的热流密度作用下,金刚石磨粒的温升值大大低于树脂结合剂的温升值。人造金刚石在空气中开始氧化温度大约在740~840℃,而树脂结合剂一般温度超过350℃,就会发生碳化分解。因此,可以通过控制放电参数选择性地蚀除砂轮表面的树脂结合剂材料,而不损伤金刚石磨粒,使砂轮表面具有一定的磨粒突出高度和容屑空间。

修整后砂轮的表面形貌即砂轮的工作能力取决于脉冲放电能量。如果放电点局部区域的功率密度过大会引起树脂结合剂熔化区域面积过大削弱对磨料的把持能力,同时还会引起金刚石磨粒发生氧化反应失去磨削能力;另一方面,若放电功率密度过小,则不能有效蚀除辅助导电材料及树脂结合剂使磨粒露出时表面形成足够的突出磨削高度。单个脉冲放电所释放的能量为

$$W_M = \int_0^{t_c} u(t)i(t)dt \quad (1)$$

式中 t_c ——单个脉冲放电时间, μs

$u(t)$ ——放电间隙中随时间变化的电压, V

$i(t)$ ——放电间隙中随时间变化的电流, A

由于火花放电间隙的阻抗的非线性特性,击穿后间隙上的火花维持电压是一个与电极对材料及工作液种类有关的数值。当用纯铜电极时的单个脉冲能量为

$$W_M = (25 \sim 30)i_c t_c \quad (2)$$

式中 i_c ——脉冲峰值电流, A

根据上面的分析可知,电规准峰值电流(i_c)和电流脉宽(t_c)最终通过式(2)对砂轮表面温度场分布产生作用,进而影响修锐效果。

2 树脂结合剂砂轮的放电修整实验

2.1 实验装置和实验条件

本实验在 TROOP434 型电火花成形机床上进行。实验装置如图2所示。修整所用工具电极为紫铜电极,采用的工作放电介质是高压雾状乳化液。实验用砂轮为 6A2100 × 30 × 32RVD100/120M100 型树脂结合剂杯形砂轮(RVD)。砂轮磨粒粒度为100/120,浓度为100%,砂轮直径为100 mm。

修整前后金刚石砂轮表面微观形貌利用 VH-800 三维数字显微镜来观察。图3为修锐前砂轮的表面微观形貌。图3a、3b分别为未使用和磨钝后的RVD砂轮表面形貌,从图中可看出砂轮表面没有突

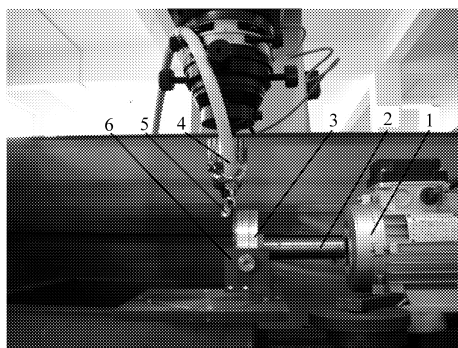


图2 实验用树脂结合剂砂轮修整装置

Fig. 2 Photograph of the experimental equipment

1. 三相异步电动机 2. 连接绝缘轴 3. 树脂结合剂砂轮 4. 喷嘴 5. 修整电极 6. 导电压块

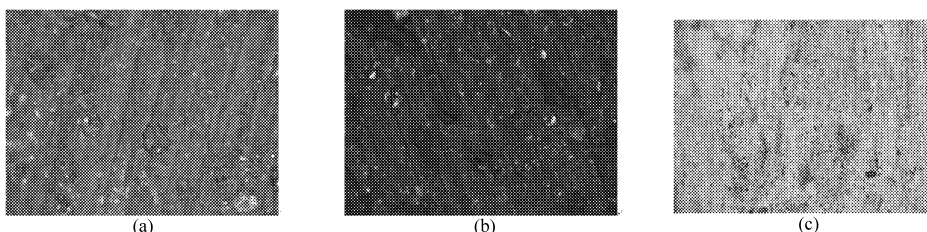


图3 树脂结合剂金刚石砂轮修整前表面形貌

Fig. 3 Resin-bonded diamond wheel surface topographies before dressing

2.2 实验结果及分析

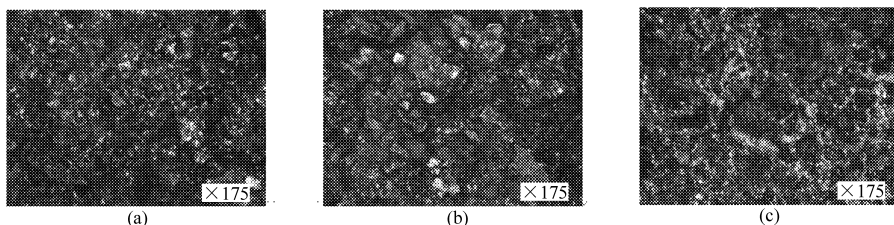
2.2.1 峰值电流对砂轮表面轮廓的影响及分析

图4分别为用不同放电峰值电流在雾状乳化液中电火花放电修整砂轮后得到的砂轮表面微观形貌。由图4a和4b可见两组放电参数都可以使树脂结合剂受热分解,砂轮表面产生了一些凹坑形成一定的容屑空间,一些金刚石磨粒裸露出来均匀地分布在砂轮表面并且保持良好的形状特征。这说明这两组实验修整区域的单个脉冲放电能量适当,既熔化了树脂结合剂又有效控制了金刚石磨粒发生氧化

出的金刚石磨粒,没有容屑空间。热压烧结的新金刚石砂轮表面上大部分金刚石磨粒被埋覆在结合剂中,磨钝后的RVD砂轮表面上磨粒或被埋在磨屑中或已被磨平丧失磨削能力,对这些砂轮必须进行修整才能恢复其磨削能力。根据前面提出的放电修整非导电金刚石砂轮方法,修整前在RVD砂轮磨削表面上涂抹一层薄而致密石墨层作为辅助电极。其表面形貌如图3c所示。

实验参数:脉冲间隔为 $10\ \mu\text{s}$,砂轮转速为 $120\ \text{r/min}$,峰值电流 i_c 为 $1\sim 3\ \text{A}$,电源极间放电电压为 $120\ \text{V}$,修整时间 T 为 $10\sim 30\ \text{min}$ 。修整时,砂轮接电源正极,工具电极接电源负极。

反应失出磨削能力。但图4a所示砂轮表面的金刚石磨粒裸露高度小于图4b所示砂轮表面的金刚石磨粒裸露高度。这说明放电峰值电流的大小影响单位时间的树脂结合剂蚀除量。而采用图4c中放电参数进行修整实验时,部分树脂结合剂受热分解,金刚石磨粒也受热烧焦发生氧化反应丧失原来的形状特征。说明这组实验修整区域的单个脉冲放电能量过高,修整区域金刚石磨粒温度超过了其热稳定温度($740\sim 840^\circ\text{C}$)。金刚石磨粒完全石墨化并丧失了应有的磨削工作能力。

图4 雾状乳化液中电火花放电修整后树脂结合剂金刚石砂轮表面形貌($t_c = 10\ \mu\text{s}$, $T = 30\ \text{min}$)Fig. 4 Resin-bonded diamond wheel surface topographies after dressing($t_c = 10\ \mu\text{s}$, $T = 30\ \text{min}$)

(a) $i_c = 1\ \text{A}$ (b) $i_c = 2\ \text{A}$ (c) $i_c = 3\ \text{A}$

由图4可以看出,三组放电参数都可以使砂轮表面树脂结合剂受热分解,砂轮表面出现了一些凹坑。这说明,虽然火花放电仅在修整电极和辅助放电石墨层之间产生,但树脂结合剂可以通过热的传导吸收足够的热量而发生碳化分解,但过高的温度会使金刚石磨粒石墨化而丧失磨削性能。峰值电流 i_c 是影响单个脉冲放电能量和砂轮表面修整区域温

度场的重要因素。

2.2.2 脉冲宽度对砂轮表面轮廓的影响及分析

图5分别为用不同脉冲宽度在雾状乳化液中电火花放电修整砂轮后得到的砂轮表面微观形貌。由图可见,图5a、5b两组放电参数均可以使树脂结合剂分解,砂轮表面形成了一定的容屑空间,说明这两组实验修整区域的单个脉冲放电能量能通过放电石

墨层使树脂结合剂受热被蚀除。但图 5b 所示的砂轮表面热影响区域的面积明显大于图 5a 所示的砂轮表面热影响区域。这说明脉冲宽度的大小影响单个脉冲放电能量,进而影响单位时间砂轮材料的蚀除量。但由于在修整时砂轮以一定的速度运动,因此脉冲宽度对修整区域的最高温度值影响不明显,脉冲宽度的加大没有明显使金刚石磨粒发生氧化反

应,失去原有的形状特征。

3 结论

(1) 提出的树脂结合剂砂轮表面涂覆一层辅助放电材料后再进行表面放电修整的技术方案是可行的,辅助放电材料附近的树脂结合剂能吸收足够热量发生碳化分解,使金刚石磨粒露出形成一定的容屑空间。

(2) 峰值电流 i_e 是影响单个脉冲放电能量和砂轮表面修整区域温度场的重要因素;随着峰值电流的增大,修整区域温度场的最高温度也逐渐增大。适合修整树脂结合剂金刚石砂轮的放电峰值电流 i_e 不高于 3 A。

(3) 被修整砂轮以一定速度运动时,脉冲宽度对修整区域的最高温度值影响不明显,但影响单位时间砂轮材料的蚀除量。

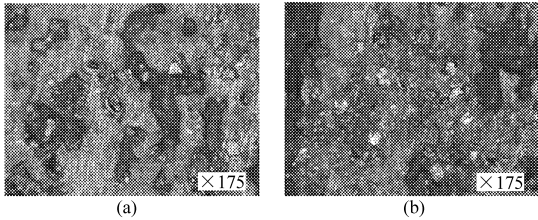


图 5 雾状乳化液中电火花放电修整后树脂结合剂金刚石砂轮表面形貌($i_e = 1 \text{ A}$, $T = 10 \text{ min}$)

Fig. 5 Resin-bonded diamond wheel surface topographies after dressing($i_e = 1 \text{ A}$, $T = 10 \text{ min}$)

(a) $t_e = 10 \mu\text{s}$ (b) $t_e = 20 \mu\text{s}$

参 考 文 献

- 1 滕燕,盖玉先,董申. 超精密磨削中的超硬砂轮修整技术[J]. 航空精密制造技术,2000,36(1):17~20.
Teng Yan, Gai Yuxian, Dong Shen. Super-abrasive grinding wheel dressing for ultra-precision grinding [J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 2000,36(1):17~20. (in Chinese)
- 2 Ortega N, Sanchez J A, Aranceta J, et al. Optimisation of grit protrusion in the electro-discharge dressing process of large grit size CBN grinding wheels [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 149(1~3):524~529.
- 3 蔡兰蓉. 雾状介质中放电修整金刚石砂轮技术及机理研究[D]. 上海:上海交通大学,2008.
Cai Lanrong. Research on technology and it's mechanism of mist-jetting electrical discharge dressing diamond wheels [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2008. (in Chinese)
- 4 Kunieda M, Yoshida M, Taniuchi N. Electrical discharge machining in gas [J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 1997, 46(1):143~146.
- 5 Suzuki K, Uematsu T, Nakagawa T. On-machine truing/dressing of metal bond grinding wheels by electro-discharge machining [J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 1987,36(1):115~118.

(上接第 213 页)

- 5 刘云忠. 边界元法计算厚板表面裂纹问题的应力强度因子[J]. 固体火箭技术,1996,19(3):64~70.
Liu Yunzhong. Calculation for stress intensity factor of thick plate with cracks using boundary element method [J]. Journal of Solid Rocket Technology, 1996,19(3):64~70. (in Chinese)
- 6 Gross D. Bruchmechanik [M]. Berlin:Springer Verlag, 1996.
- 7 张伟,孙波. 自紧厚壁筒表面裂纹的应力强度因子研究[J]. 船舶力学,2000,4(4):43~47.
Zhang Wei, Sun Bo. Calculation of stress intensity factor about an autofrettage thick-walled cylinder with an internal surface crack [J]. Journal of Ship Mechanics, 2000,4(4):43~47. (in Chinese)