

# 超硬磨料砂轮修整技术最新进展\*

李长河<sup>1,2</sup> 修世超<sup>1</sup> 蔡光起<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 东北大学 <sup>2</sup> 内蒙古民族大学

**摘要:**介绍了电解在线修整法、在线电火花放电修整法、激光修整法、软弹性修整法和游离磨粒修整法等最新的超硬磨料修整技术。

**关键词:**超硬磨料, 砂轮, 修整

## Development of Truing/Dressing Technology on Superabrasive Grinding Wheel

Li Changhe Xiu Shichao Cai Guangqi

**Abstract:** Newly dressing technologies such as electrolytic in-process dressing, in-process electro-discharge dressing, laser dressing, soft-elastic dressing and free-abrasive dressing are presented in order to satisfy high surface quality and tighter tolerances.

**Keywords:** superabrasive, grinding wheel, truing/dressing

### 1 引言

超硬磨料引入磨削工业使零件的加工效率和加工质量明显改善的同时,还延长了砂轮寿命,提高了加工零件的尺寸稳定性。磨削加工中使用的超硬磨料为立方氮化硼(CBN)和金刚石,CBN和金刚石磨料的使用在磨削中产生了革命性的变革,采用金刚石和CBN磨料的高效深切磨削(high efficiency deep-cut grinding)、超高速磨削(super high speed grinding)和快速点磨(quick-point grinding)不仅实现了高效率和高表面完整性加工,而且还能得到精确的尺寸,特别是对硬、脆材料实现延性域无损伤加工。然而由于超硬磨料的高硬度和超硬磨料砂轮精确的几何形状精度,用传统的机械修整方法,修整工具磨损加快,修整时间长,很难达到满意的修整质量和效率,并且磨粒突出高度低,仅为磨粒直径的20%~30%,导致磨削力增加,磨削条件恶化,磨削区温度升高,从而使工件表面完整性下降,缩短了砂轮寿命。为了充分发挥超硬磨料砂轮的性能,研究开发高效和高精度超硬磨料砂轮的修整技术意义非常重大。

### 2 超硬磨料砂轮的修整

超硬磨料砂轮具有优良的磨削性能,抗磨损能力强,不需要经常修整,但在初始安装和使用磨钝后需要修整。超硬磨料砂轮的修整分为整形和修锐两个工序,整形是对砂轮进行微量切削,使砂轮达到所要求的几何形状精度,并使磨料尖端细微破碎,形成锋利磨刃。修锐是去除磨粒间的结合剂,使磨粒间

有一定的容屑空间,并使磨刃突出结合剂之外形成切削刃。

#### 2.1 超硬磨料砂轮的整形法

超硬磨料砂轮的整形一般与普通磨料砂轮整形方法相同,最常用的整形方法为金刚石笔整形和金刚石滚轮整形,由于篇幅所限,本文不作介绍。

#### 2.2 超硬磨料砂轮的修锐法

超硬磨料砂轮的修锐要达到以下要求:①去除砂轮表面的结合剂材料,使磨粒突出砂轮表面形成切削点;②在砂轮表面磨粒之间形成容屑空间;③磨粒在结合剂中的粘结深度达到要求,使磨粒在切削时有牢固的把持力而不脱落。

(1) 电解在线修整法(Electrolytic In-process Dressing 简称 ELID)

ELID是1985年Murata首先提出的,并且使用磨粒网格尺寸为400#金属结合剂金刚石砂轮磨削陶瓷等硬、脆材料<sup>[1]</sup>。1990年,日本H. ohmori将电解在线修整技术进一步完善,并成功地用1000#的微细磨粒尺寸的金属结合剂CBN砂轮实现了硬、脆材料的镜面磨削<sup>[2]</sup>。

电解在线修整系统主要由金属结合剂的超硬磨料砂轮、电极(石墨或黄铜制成)、电源和电解液组成(见图1),金属结合剂通过电刷与电源的正极连接,电极与电源的负极相连,电极覆盖1/6砂轮圆周并且比砂轮宽2mm,电极与砂轮间隙可调,一般为0.1~0.3mm,当在砂轮与电极之间注入电解液并接通电源的情况下,就发生电解反应。电解在线修锐超硬磨料砂轮的原理如图2所示,图2a为经过整形的砂轮表面结合剂和磨粒变平的示意图。在预修锐开始时(见图2b),砂轮中的金属结合剂材料由于电解

\* 教育部科学技术研究重点项目(项目编号:104190)  
收稿日期:2004年7月

而脱离砂轮,同时铁的氧化物被堆积在砂轮表面,形成具有绝缘性质的氧化物薄膜(见图 2c),氧化物绝缘薄膜可使作用在结合剂上的电解电流逐渐降低,电解作用减弱,避免了金属结合剂材料的过量流失。当进行磨削加工时,突出砂轮表面的磨粒磨损的同时氧化物绝缘薄膜也被去除,氧化层的去除引起电解电流增加,电解修锐重新开始,金属结合剂从砂轮表面脱离,使砂轮获得恒定的磨粒突出高度,周而复始,实现稳定的高效率磨削加工。

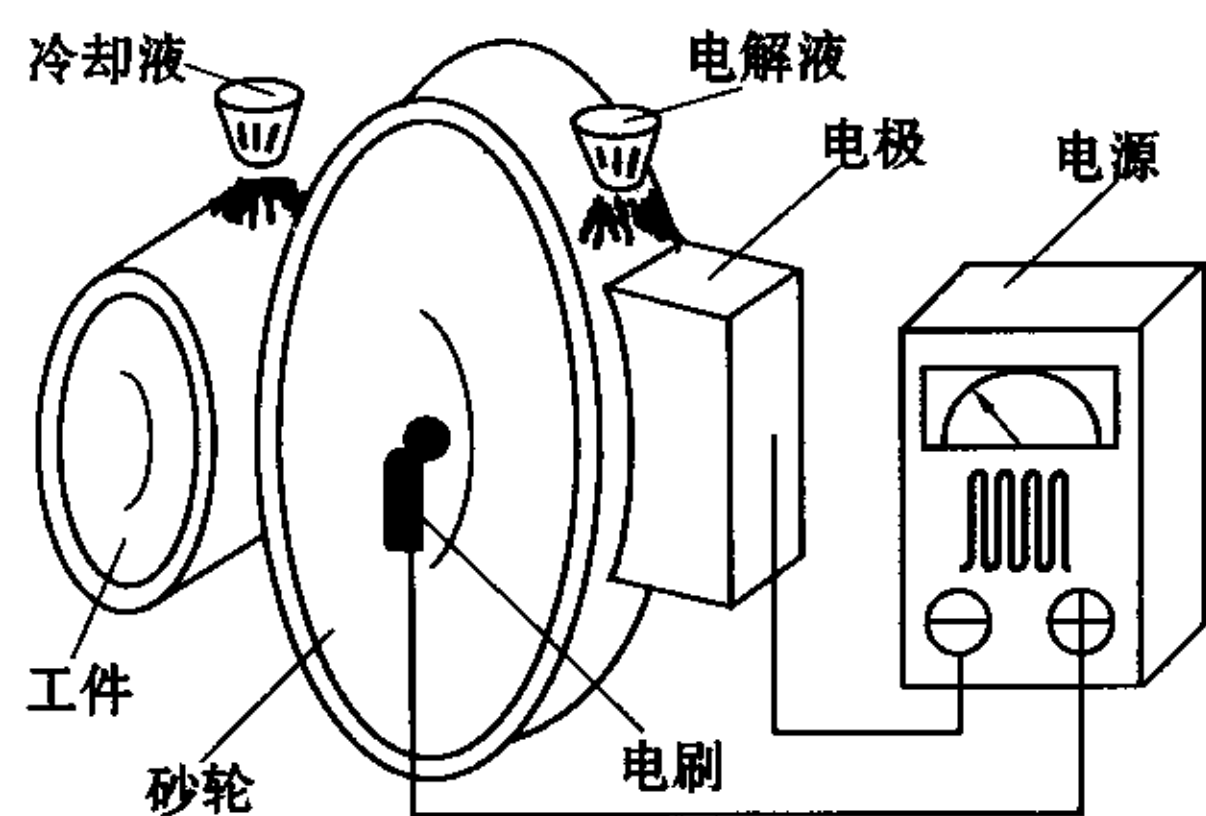


图1 在线电解修整简图

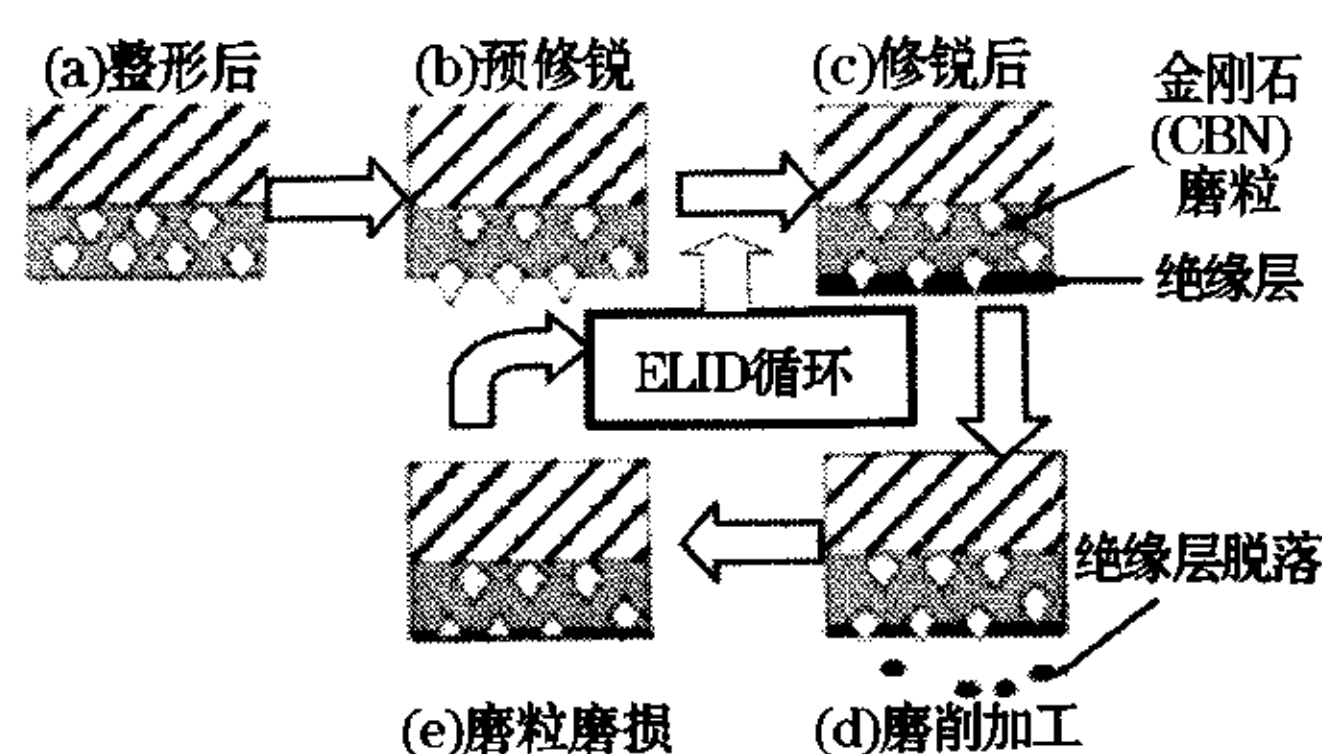


图2 ELID磨削机理

图3<sup>[3]</sup>和图4<sup>[4]</sup>是在相同条件下使用ELID和普通修锐法的加工零件表面粗糙度对比图及法向磨削力对比图。从图中明显可以看出,ELID明显改善加工表面粗糙度值和降低磨削力。

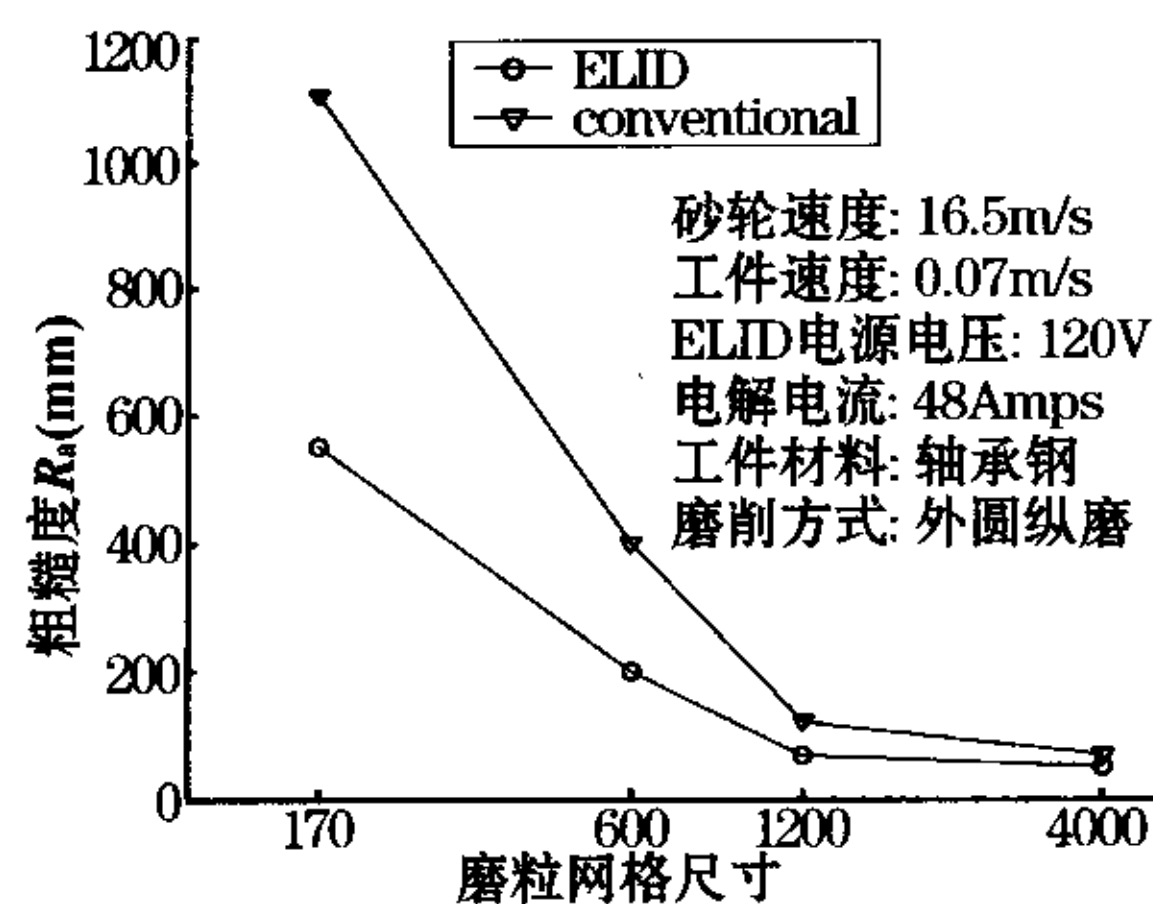


图3 ELID与普通修锐法加工零件的表面粗糙度对比图

### (2) 在线电火花放电修锐法

在线电火花放电修锐法是在磨削过程中,电极和金属结合剂之间产生火花放电,放电产生的能量使电极和金属结合剂发生烧损,砂轮中金属结合剂在放电累积侵蚀作用下脱离砂轮表面,从而达到修锐的目的。在线电火花放电修锐系统主要由电极、金属结合剂砂轮、脉冲电源发生器以及绝缘介质等

组成,金属结合剂与电源正极相连,由纯铜(石墨)制成的电极接电源负极,在砂轮表面与电极微小间隙(一般为 $10\mu\text{m}$ )内充满油、乳化液、压缩空气或者没有任何绝缘介质。在线电火花放电修锐主要用于超精密光整加工中,微细磨料超硬磨料砂轮的在线修锐,由于没有直接力的接触,修锐后砂轮无变形,精度保持性好,磨粒突出高度达到磨粒直径的60%。图5、图6<sup>[5]</sup>为在线电火花放电修锐的效果对比图,从图中明显看出,修锐效果显著。

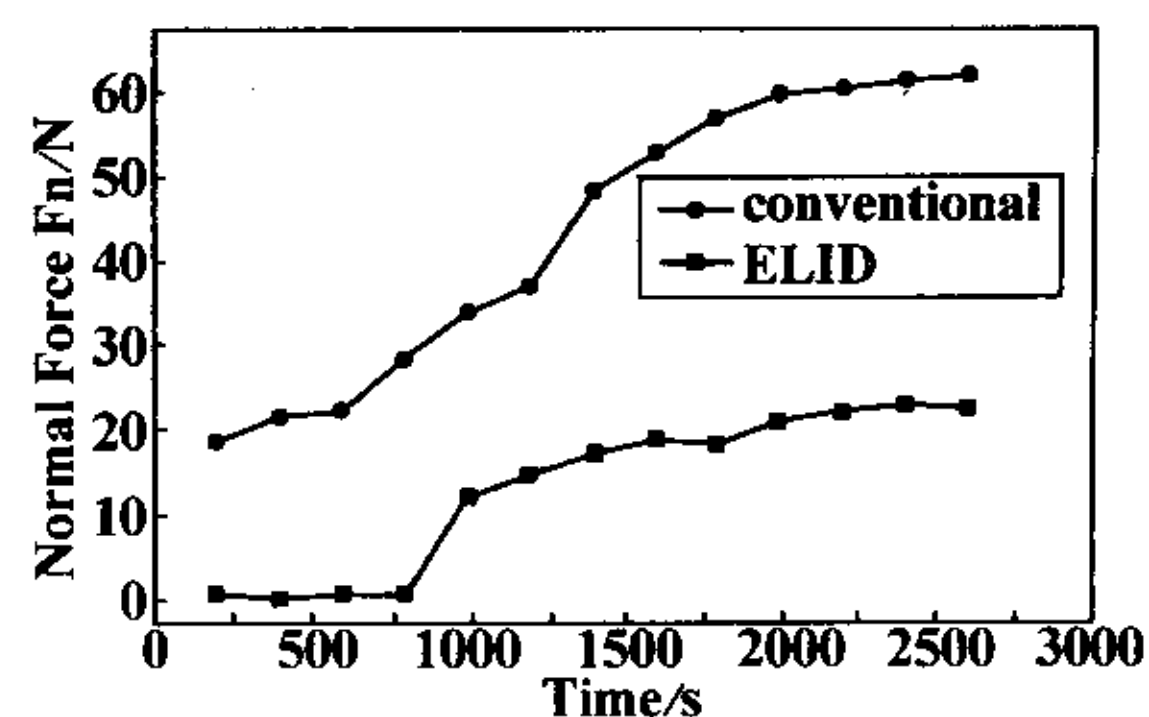


图4 ELID与普通修锐法法向磨削力对比图

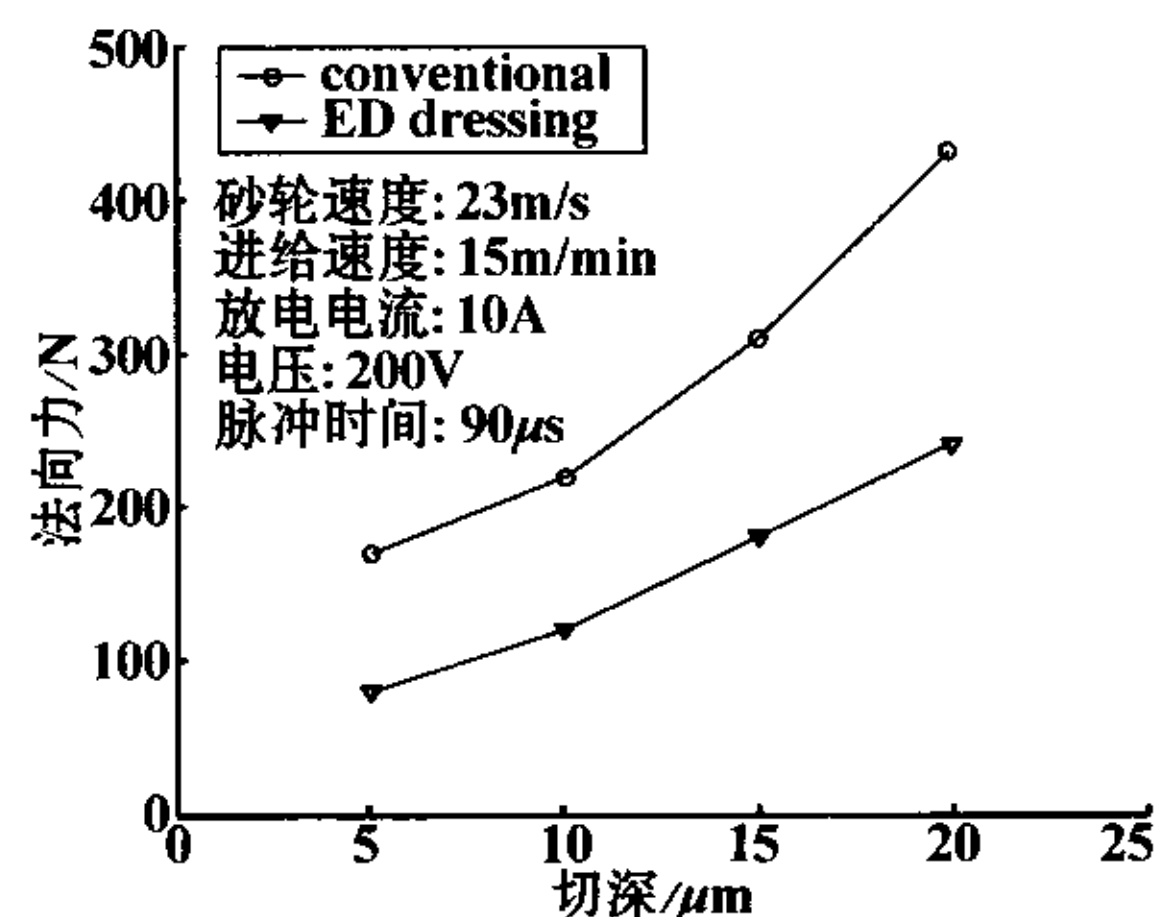


图5 ED修整与机械修整砂轮磨削加工法向力对比

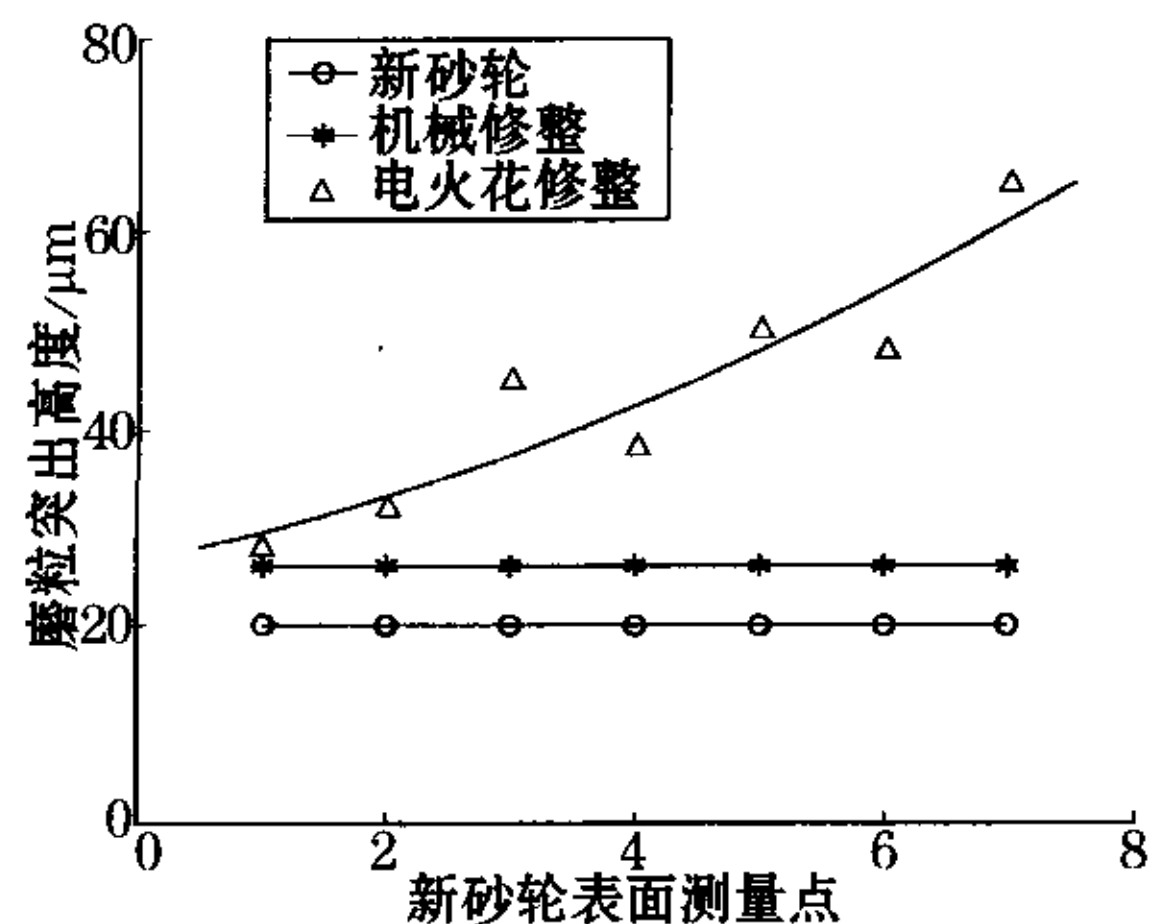


图6 电火花修整、机械修整和新砂轮磨粒突出砂轮表面对比

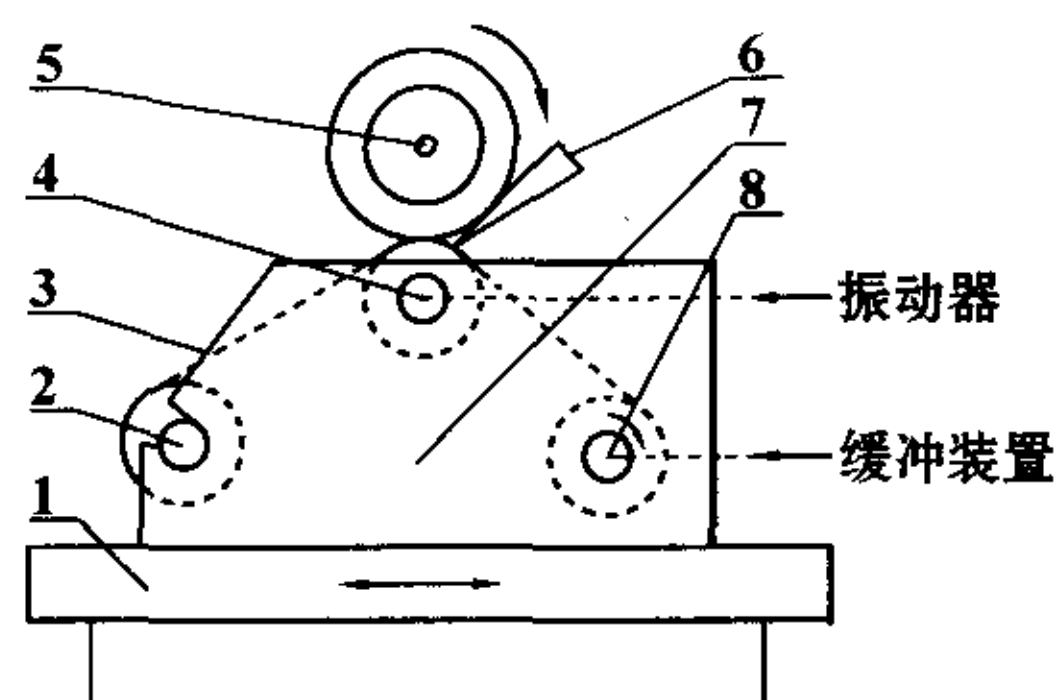
### (3) 激光修锐法

激光修锐法是利用密度很高的激光束照射到被修整的超硬磨料砂轮表面,在短时间内将能量聚集在微小区域上瞬时加热,从而将结合剂熔化去除,使磨粒突出砂轮表面,达到修锐的目的<sup>[6]</sup>。通过选择适当的能量密度,就可以使结合剂熔化成一定大小的容屑空间,而超硬磨料砂轮磨粒毫无损伤。利用YAG激光束修整树脂结合剂CBN砂轮,可得到高的修整质量和效率。由于陶瓷结合剂的高温特性,激光修整陶瓷结合剂超硬磨料砂轮修整效率和质量不能得到满意的效果,在实际生产中很少采用。最近,

一种新的激光辅助修锐法可成功实现修锐陶瓷结合剂超硬磨料砂轮,激光束和金刚石修整工具从砂轮表面沿轴向移动,激光束在金刚石修整工具与CBN砂轮接触前将CBN砂轮微小区域瞬时加热,使陶瓷结合剂材料变软或熔化,金刚石修整工具就可很容易将其去除,通过选择加热时间和能量密度,可以修锐包括陶瓷结合剂在内的超硬磨料砂轮<sup>[7]</sup>。

#### (4) 软弹性修锐法

软弹性修锐法(图7)是借助于砂带磨削原理进行的,在修整过程中,超硬磨料砂轮高速旋转,而砂带以低速运动,由于砂带是由软质基体制成,它和超硬磨料砂轮弹性接触,从而去除结合剂并使磨粒微破碎形成切削刃。试验表明,通过接触轮使砂带振动能有效提高修整质量和效率<sup>[8]</sup>。



1. 工作台 2. 砂带驱动轮 3. 砂带 4. 接触轮  
5. 砂轮主轴 6. 磨削液喷嘴 7. 支架 8. 砂带滚轮

图7 软弹性修锐法装置简图

#### (5) 游离磨粒修锐法

游离磨粒修锐法是通过在游离磨粒施加一定压力对结合剂材料进行去除加工而达到修锐的目的。一种是超硬磨料砂轮浸在油与普通磨料混合的容器内,修锐盘压在砂轮表面,游离磨粒粘在砂轮表面并在砂轮带动下进入修锐盘与砂轮之间,游离磨粒在修锐盘压力作用下压入砂轮表面,随着砂轮旋转,游离磨粒挖出砂轮表面的结合剂材料,使CBN或金刚石磨粒突出砂轮表面,达到修锐的目的。磨粒突出高度大于或等于游离磨粒的直径时,修锐盘对游离磨粒的作用力消失,修锐结束。通过控制游离磨料的粒度和修锐盘的压力从而提高修锐效率和改善砂轮形貌<sup>[9]</sup>。

另一种游离磨粒修锐法是利用压力将普通磨料注射到砂轮与修整轮之间,游离磨粒在砂轮与修整轮之间的微小间隙内滚压,从而去除砂轮表面结合剂材料,使砂轮磨粒露出结合剂表面,形成锋利磨刃<sup>[10]</sup>。

还有一种是利用压缩气体把普通磨料(或磨料与流体介质的混合物)喷向旋转的超硬磨料砂轮表面,依靠磨料的能量对砂轮表面结合剂材料进行冲蚀,从而达到修锐的目的<sup>[11]</sup>。

### 3 结语

超硬磨料砂轮在磨削硬、脆材料、不锈钢以及高温合金等难磨材料中广泛应用,由于超硬磨料比普通磨料的硬度高,因此超硬磨料砂轮抗磨损能力强,精度保持性好,磨削寿命长。但超硬磨料的高硬度也给砂轮修整带来了难题,修整工具磨损加剧,修整效率低,质量差。修整质量的好坏直接影响磨削加工的质量和效率,因此采取正确的修整方法尤为重要。本文所介绍的砂轮修整方法都是近年来超硬磨料修整技术的最新进展,并在实际生产中得到验证的技术,这些修整技术对于充分发挥超硬磨料的性能,确保加工质量和效率具有重要意义。

#### 参考文献

- 1 R Murata, K Okano, C Tsutsumi. Grinding of structural ceramics. Grinding Symposium PED, 16(1985):261 ~ 272
- 2 H Ohmori, T Nakagawa. Mirror surface grinding of silicon wafers with electrolytic in-process dressing, Annals of the CIRP, 39(1)(1990): 329 ~ 332
- 3 Jun Qian, Wei Li, Hitoshi Ohmori. Cylindrical grinding of bearing steel with electrolytic in-process dressing. Precision Engineering, 24(2000):153 ~ 159
- 4 H S Lim, K Fathima, A Senthil Kumar. A fundamental study on the mechanism of electrolytic in-process dressing grinding. International Journal of Machine Tools and Manufacture 42(2002):935 ~ 943
- 5 N Ortega, J A Sanchez, J Aranceta. Optimisation of grit protrusion in the electro-discharge dressing process of large grit size CBN grinding wheels. Journal of Materials Processing Technology, 149(2002):524 ~ 529
- 6 李伯民,赵波. 现代磨削技术. 机械工业出版社,2003:6
- 7 C Zhang, Y C Shin. A novel laser-assisted truing and dressing technique for vitrified CBN wheels. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 42(2002):825 ~ 835
- 8 Mingxia Ma, Baoge Ying, Xiankui Wang. Soft-elastic dressing of fine grain diamond wheels. Journal of Materials Processing Technology, 103(2000):194 ~ 199
- 9 Xiaoping Li. A free-abrasive machining approach to dressing of resin-bonded CBN grinding wheels. Materials Processing Technology, 48(1995):223 ~ 230
- 10 蔡光起,巩亚东,宋贵亮译. 磨削机理与应用. 沈阳:东北大学出版社,2002,8
- 11 Han Huang. Effect of truing/dressing intensity on truing/dressing efficiency and grinding performance of vitrified diamond wheels. Journal of Materials Processing Technology, 117(2001):9 ~ 14

第一作者:李长河,内蒙古民族大学副教授,东北大学先进制造研究所博士研究生,110004 沈阳市