

# 深孔加工中 BTA 钻分屑形式及钻削过程

王鹏飞<sup>1</sup>, 肖继明<sup>2</sup>, 郑建明<sup>2</sup>, 李军<sup>1</sup>, 杨华<sup>1</sup>

<sup>1</sup>西安优耐特容器制造有限公司; <sup>2</sup>西安理工大学

**摘要:** 介绍了 BTA 钻的分屑形式与钻削过程,进行了 BTA 钻的深孔钻削试验,分析了单齿钻和错齿钻的钻削过程及形成的孔底形状,并分别对比分析了单齿钻和错齿钻的切屑形态及钻削力。结果表明:与单齿钻相比,错齿钻分屑效果较好且定心作用较强,但切屑形态不佳,堵屑现象严重;错齿钻的钻削力小于单齿钻,钻削过程比较稳定。

**关键词:** BTA 钻;分屑形式;钻削过程;切屑形态;钻削力

**中图分类号:** TG506;TH162

**文献标志码:** A

**DOI:**10.3969/j.issn.1000-7008.2019.04.021

## Chip-separating Form and Drilling Process of BTA Drill in Deep-hole Machining

Wang Pengfei, Xiao Jiming, Zheng Jianming, Li Jun, Yang Hua

**Abstract:** Chip-separating form and drilling process of BTA drill are introduced and the deep hole drilling experiments of BTA drills are carried out. The drilling process of single tooth and staggered teeth drill are analyzed, as well as the shape of hole is formed. The chip morphology and drilling force of single tooth and staggered teeth drill are compared. The results show that, compared with the single tooth drill, the chip-separating effect of staggered teeth drill is better, and its centering effect is stronger. But its chip morphology is not good, and the chip-blocking phenomenon is serious. The drilling force of the staggered teeth drill is less than that of single tooth drill, and its drilling process is relatively stable.

**Keywords:** BTA drill; chip-separating form; drilling process; chip morphology; drilling force

## 1 引言

深孔加工是机械加工中技术含量高、加工难度大、加工成本高及专业性强的一种加工技术。现代深孔加工技术具有良好的自导向特性以及自动断排屑、冷却和润滑性能,且加工质量良好。BTA 深孔钻因其加工效率高、加工质量好和加工性能稳定而成为目前广泛采用的一种深孔加工技术<sup>[1,2]</sup>。

由于 BTA 深孔钻采用内排屑加工原理,其排屑空间比较狭小,容易产生堵屑现象,因此 BTA 钻均采用特殊的分屑形式与断屑措施<sup>[3]</sup>。不同的分屑形式会对 BTA 钻的钻削过程及钻削性能产生重要影响,分析不同类型 BTA 钻的钻削过程与钻削性能对于钻头的优化具有重要意义。

本文主要介绍两类典型 BTA 钻(单齿钻和错齿钻)的分屑形式与钻削过程。利用规格相同的单齿钻和错齿钻进行深孔钻削试验,对两类钻头钻削过程中形成的孔底形状、切屑形态及其分屑效果进行对比分析,并对比了钻削过程中两类钻头的钻削力及钻削性能,为深孔加工中 BTA 钻的优化及钻削性能的改善提供参考。

## 2 BTA 钻分屑形式与钻削过程

### 2.1 BTA 钻分屑形式

单齿钻和错齿钻的分屑形式有所不同。如图 1a 所示,单齿钻采用轴向阶梯分屑,即在切削刃后刀面上磨出台阶,将外刃一分为三,一般取分屑台的高度为 0.3~0.8mm。错齿钻相当于将单齿钻的中间刃移向对侧,并在原排屑口对方相应地开辟出第二排屑孔而衍生。如图 1b 所示,错齿钻采用外刃在吃刀深度方向上的错齿分屑和轴向阶梯分屑的组合分屑形式。设计时,使对侧外刃在轴向上相对正侧外刃圆锥面素线有一定的超前量  $\delta$ ,一般  $\delta = (0.5 \sim 1)f$  ( $f$  为钻头进给量),其中, AOA 为外刃所在的圆锥面素线。

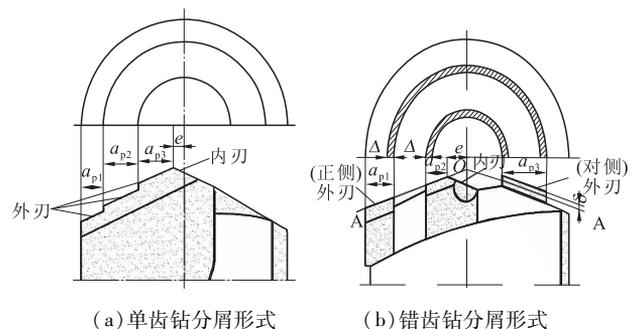


图 1 BTA 钻分屑形式

钻削开始时,BTA 钻根据各切削刃之间的相对高度和宽度依次钻入。当各切削刃完全钻入后,外刃在切削深度方向上分别切去  $a_{p1}$ 、 $a_{p2}$ 、 $a_{p3}$  位置的金属,内刃切去  $e$  位置的金属,并在外刃与内刃转折处的钻尖上进行撕裂分屑(图中  $\Delta$  为重叠部分)。这样就可以通过分屑与加大进给量切下厚而窄的切屑,同时从切屑断面强度方面来考虑,更有利于切屑的进一步卷曲、变形和折断<sup>[4-6]</sup>。

分屑后形成细长的带状切屑,当其在排屑入口处交汇时容易互相纠缠而堵塞出屑口。通过在 BTA 钻头刀齿前刀面设计断屑台的方式,对分屑后形成的细长带状切屑施加一定附加变形,当变形程度超过被切削材料的断裂应变时,切屑将被折断,可以获得窄而短的切屑<sup>[7,8]</sup>。

### 2.2 BTA 钻的钻削过程

BTA 钻分屑形式不同,各切削刃之间的相对高度不同,导致其钻削过程也不同。图 2 和图 3 分别为单齿钻和错齿钻的钻削过程及形成的孔底形状。由图可以看出,单齿钻在外刃后刀面上磨出两个分屑台(有一定高度),相当于各切削外刃依次滞后,钻削时中心刃和内刃首先钻入,然后中间刃和外刃依次完全钻入;而错齿钻中间刃在轴向上相对外刃所在的圆锥面素线具有一定的超前量,钻削时中间刃与中心刃交替钻入,随后外刃继续钻入。由于 BTA 钻的导向条和外刃拐点之间存在一定的滞后量,所以导向条在外刃完全钻入后才逐渐挤入孔内,对孔壁起到挤光作用。

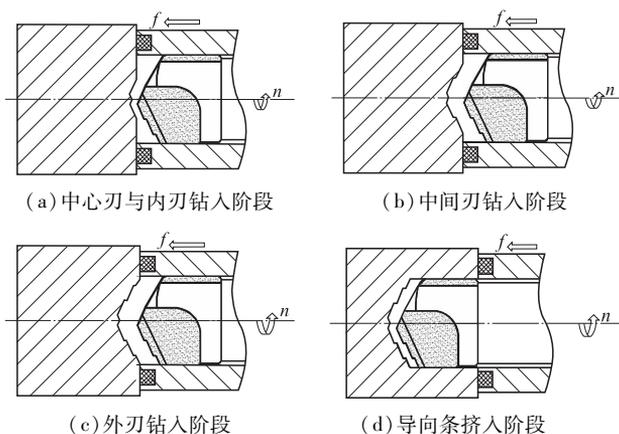
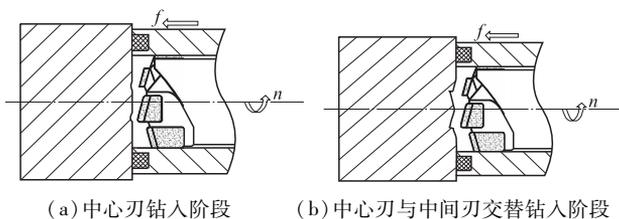
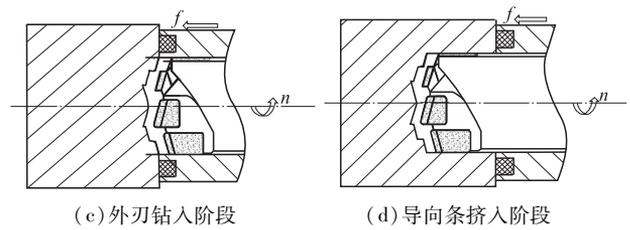


图 2 单齿钻的钻削过程



(a) 中心刃钻入阶段 (b) 中心刃与中间刃交替钻入阶段



(c) 外刃钻入阶段 (d) 导向条挤入阶段

图 3 错齿钻的钻削过程

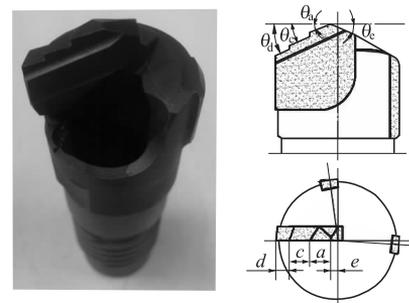
## 3 BTA 钻试验条件与方法

### (1) 试验设备及仪器

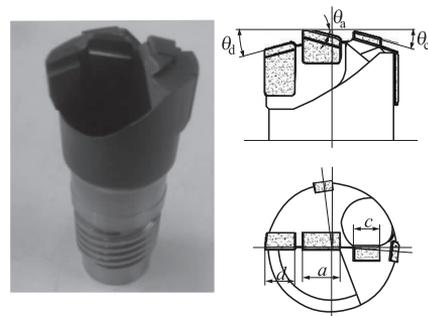
试验设备为专用数控深孔钻床,采集仪器为 9271A 型 Kistler 压电晶体钻削测力仪、Kistler5070A 型电荷放大器、北京波普 WS-5921/U 系列数据采集卡及计算机。

### (2) 试验钻头

钻头采用单齿 BTA 钻和错齿 BTA 钻,规格均为  $\phi 17.75$  mm,见图 4。利用多用途显微镜和游标卡尺测得两类钻头的主要几何参数见表 1。



(a) 单齿 BTA 钻



(b) 错齿 BTA 钻

图 4 试验钻头

表 1 BTA 钻切削刃几何参数

钻头类型	$a$ (mm)	$c$ (mm)	$d$ (mm)	$e$ (mm)
单齿钻	3.2	3	2.6	1.2
错齿钻	5	3	4	/
钻头类型	$\theta_a$ ( $^\circ$ )	$\theta_c$ ( $^\circ$ )	$\theta_d$ ( $^\circ$ )	$\theta_e$ ( $^\circ$ )
单齿钻	16	16	16	17
错齿钻	18	15	15	/

### (3) 工件材料

工件材料为 20CrMnMo,属于高强度渗碳钢,韧

性及塑性较好,热处理后具有良好的综合力学性能和低温冲击韧度,可切削加工性较好。

(4) 钻削条件

切削速度  $v = 55.8\text{m/min}$  ( $n = 1000\text{r/min}$ ), 进给速度  $v_f = 50\text{mm/min}$  ( $f = 0.05\text{mm/r}$ )。

(5) 试验方法

采用工件固定、刀具旋转和进给的加工方式,分别对单齿钻和错齿钻的中心刃、中间刃、外刃及导向条进行分段钻削。对比验证两类钻头的分屑形式、钻削过程及形成的孔底形状,收集各段钻削形成的切屑,对切屑形态进行分类处理与对比分析。采集各段钻削过程中钻头所受的钻削力,并利用 MATLAB 软件进行数据处理,对比研究两类钻头的受力情况及钻削性能。

### 4 BTA 钻试验结果与分析

#### 4.1 钻削过程分析

图 5 和图 6 分别为单齿钻和错齿钻的分段钻削过程及形成的孔底形状。

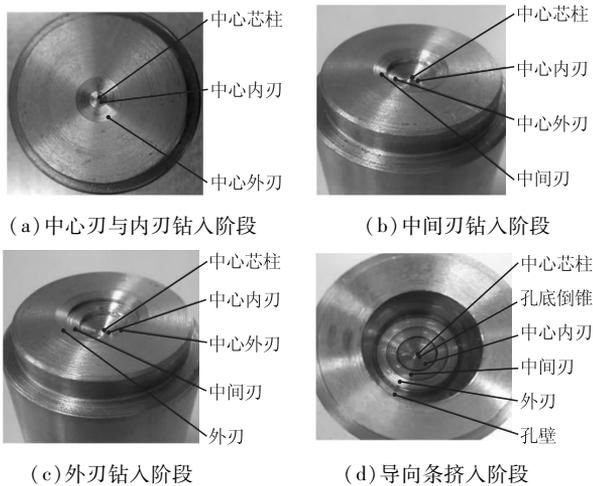


图 5 单齿钻钻削过程及形成的孔底形状

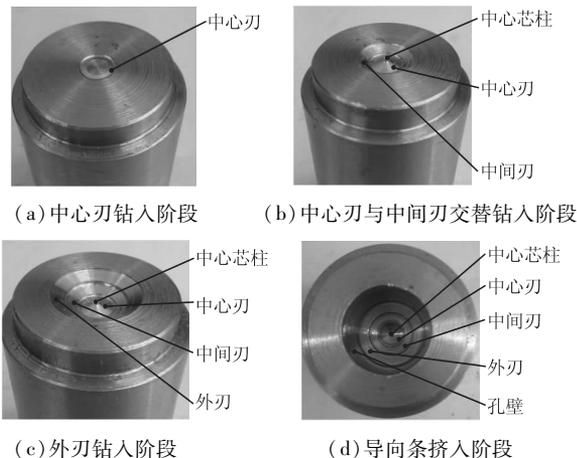


图 6 错齿钻钻削过程及形成的孔底形状

从图 5 和图 6 可以看出,单齿钻由于各外刃之间磨有一定高度的分屑台,钻削时按中心刃、中间刃和外刃依次完全钻入。同时,各切削刃之间的相对高度能使钻削得到阶梯状的孔底形状,钻头轴向阶梯分屑效果明显,但入钻时间较长。由于错齿钻中间刃与中心刃之间的相对高度较小,钻削时中间刃与中心刃能够交替钻入,缩短了钻头的入钻时间,但孔底阶梯分屑台阶不明显。然而,错齿钻的中间刃位于钻头对侧,且成功开辟了第二排屑口,一方面增大了钻头排屑孔的面积,另一方面中间刃的切屑从第二排屑孔流出,有效地减小了各支切屑的相互干扰。由于错齿钻外刃相对滞后,外刃入钻时间相对较晚,但轴向阶梯分屑效果较好。综合而言,错齿钻的分屑效果良好,且孔底形成的倒锥芯柱宽度较大,定心作用较好。

#### 4.2 切屑形态分析

图 7 和图 8 分别为单齿钻和错齿钻钻削过程中形成的切屑形态。由图可以看出,钻削 20CrMnMo 工件材料时,单齿钻以“C”形、带状、锥形及螺旋形切屑为主,切屑形态较为良好,排屑通畅,但钻削过程中振动明显;错齿钻以“C”形、带状、锥形及长条形切屑为主,切屑形态不佳,堵屑现象严重,但钻削过程比较稳定。

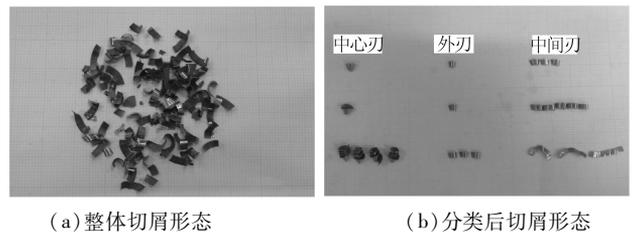


图 7 单齿钻切屑形态

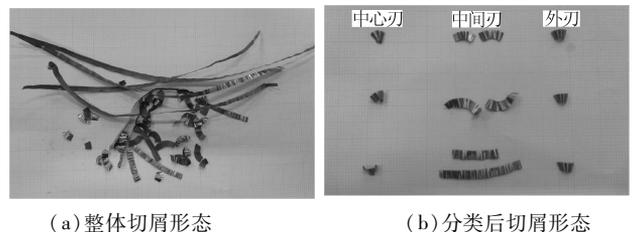


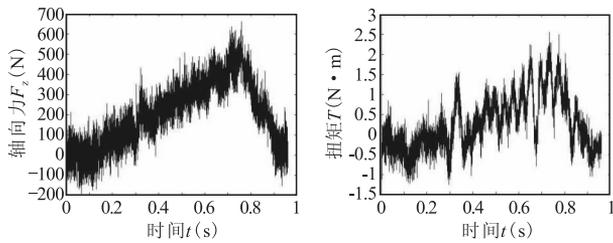
图 8 错齿钻切屑形态

经过分析可得:单齿钻中心刃断屑效果不佳,形成的切屑为连续螺旋状,切屑形态较大,影响排屑效果;错齿钻中间刃断屑效果不好,切屑较长,容易堵屑。因此,需要根据 20CrMnMo 工件材料来调整 BTA 钻的断屑台参数,以改善其断屑效果和提提高钻削性能。

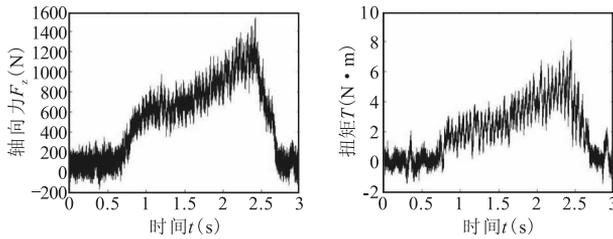
#### 4.3 钻削力分析

图 9 和图 10 分别为单齿钻和错齿钻分段钻削

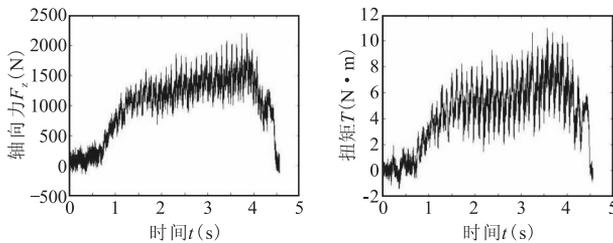
过程中受到的钻削力,包括轴向力  $F_z$  (N) 和扭矩  $T$  ( $N \cdot m$ )。



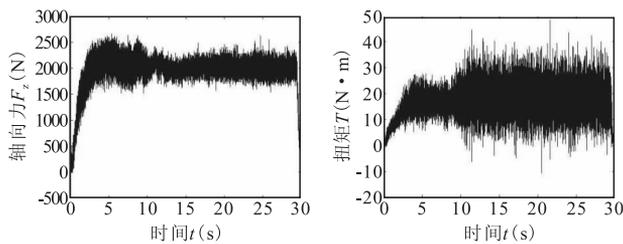
(a) 中心刃钻入阶段



(b) 中间刃钻入阶段

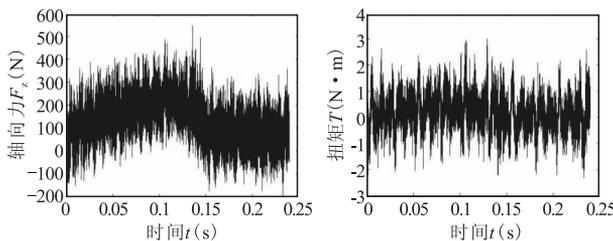


(c) 外刃钻入阶段

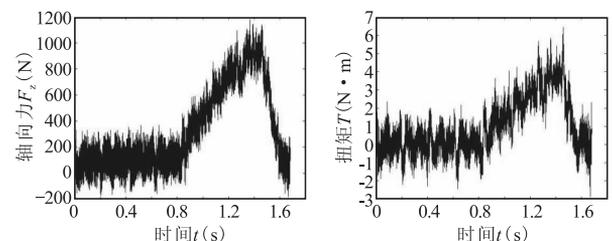


(d) 导向条挤入阶段

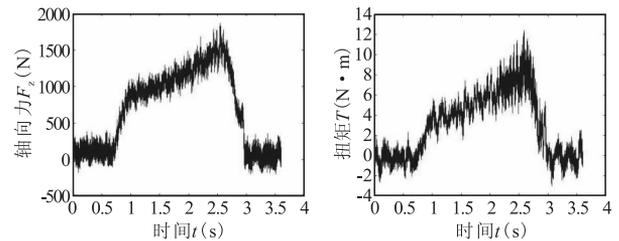
图9 单齿钻的钻削力



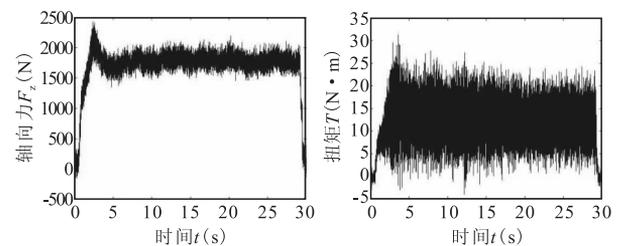
(a) 中心刃钻入阶段



(b) 中心刃与中间刃交替钻入阶段



(c) 外刃钻入阶段



(d) 导向条挤入阶段

图10 错齿钻的钻削力

由图9和图10可以看出,当中心刃开始钻入时,单齿钻轴向力逐渐增大至500N左右,而错齿钻轴向力仅增大至200N左右;当中间刃钻入时,单齿钻轴向力增大至1100N左右,而错齿钻轴向力仅增大至900N左右;当外刃钻入时,单齿钻和错齿钻的轴向力增大幅度相差不大;当导向条挤入工件孔壁后,单齿钻轴向力迅速增大至2250N左右,随后逐渐稳定在2000N左右,而错齿钻轴向力迅速增大至2000N左右,之后逐渐稳定在1800N左右。

钻头的扭矩变化规律与轴向力基本一致,但外刃钻入后,错齿钻扭矩要略高于单齿钻,且进入正常钻削阶段后,错齿钻扭矩要远远小于单齿钻。因此,错齿钻钻削力总体小于单齿钻,钻削力变化幅度也较小,而且实验过程中能明显感觉到错齿钻的钻削稳定性相对要好。钻削力的差异主要是由于两类钻头的结构不同而导致。经过分析,单齿钻钻削过程中导向条对孔壁的挤压力较大,同时受到孔壁的摩擦扭矩较大,增大了钻削力;而错齿钻的结构极大改善了钻头的力平衡效果,减小了导向条对孔壁的挤压力,孔壁的摩擦扭矩随之减小,降低了钻头的钻削力,使钻削性能得以提高。

### 5 结语

- (1) 单齿钻采用轴向阶梯分屑形式,钻削时使用原有的切屑宽度一分为三;而错齿钻采用错齿分屑与轴向阶梯分屑的组合形式,既减小了原来的切屑宽度,又使各支切屑之间的相互干扰得以改善。
- (2) 单齿钻中心刃与内刃的分屑和断屑效果不佳,形成连续螺旋状的切屑,切屑尺寸较大,影响排

# 印制电路板用密齿型铣刀的铣削性能分析

余伟,陈汉泉,李智林

广东鼎泰高科精工科技有限公司

**摘要:** 随着印制电路板向无卤、无铅、高速和高频等方向快速发展,为了达到相关性能需求,类陶瓷和石英粉等材料在基板中的填充占比越来越高,从而对印制电路板成型加工用硬质合金铣刀的冲击越来越大。通过对密齿型铣刀刃型、螺旋角和芯径进行正交试验设计,综合对比不同设计方案的铣刀在板边质量、排屑效果、刀具磨损及使用寿命的差异,最终得出了铣削性能较优的设计方案。

**关键词:** 印制电路板;铣刀;螺旋角;芯径

**中图分类号:** TG714;TH161

**文献标志码:** A

**DOI:**10.3969/j.issn.1000-7008.2019.04.022

## Analysis on Performance of Chip-breaker-type of Router Bit Used in Printed Circuit Board

Yu Wei, Chen Hanquan, Li Zhilin

**Abstract:** With the rapid development of printed circuit board towards halogen-free, lead-free, high speed, high frequency and etc, the filler of ceramic and quartz powder in the substrate is used more and more, and its impact on router bits used in PCB machining is becoming more and more severe. In this paper, the orthogonal test is designed with cutting edge shape, spiral angle and the core diameter of the dense tooth router bit into consideration, the differences of the board quality, chip evacuation, tool wear and life are compared, and an optimal design of the router bit is finally obtained.

**Keywords:** printed circuit board; router bit; spiral angle; core diameter

### 1 引言

印制电路板又称印刷线路板,由电子印刷技术制作。印刷电路板是组装电子器件用的基板,其主要功能是使各电子器件形成预定电路的连接,起中继传输的作用,是电子元器件电气连接的载体。由

于现代电子科技的飞速发展,印制电路板不断地向高精度、高密度和高可靠性方向发展,体积不断减小,由单层发展到双面、多层和挠性,并且保持着继续发展的趋势。

铣刀作为印制电路板槽型加工过程中使用最普遍和最有效的切削工具,其铣削精度、铣削效率和使用寿命,对印制电路板槽型加工起着至关重要的作用。随着印制电路板朝无卤、无铅、高速和高频等方

收稿日期:2018年7月

屑效果;错齿钻中间刃断屑效果不佳,切屑较长且容易堵屑。

(3)错齿钻的力平衡效果较好,受到孔壁的摩擦扭矩较小。因此,在同等钻削条件下,错齿钻受到的钻削力小于单齿钻,且钻削力波动幅度也较小,钻削过程比较稳定。

### 参考文献

- [1]邱易,雷勇,郑建明,等.深孔加工工具系统研究现状及趋势分析[J].工具技术,2015,49(12):7-12.
- [2]Gao C H, Cheng K, Kirkwood D. The investigation on the machining process of BTA deep hole drilling[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 107(1): 222-227.
- [3]王峻.现代深孔加工技术[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2005.

[4]柯大昭,李倩梅.分屑大进给切削刀具[M].武汉:华中工学院出版社,1986.

[5]王世清.深孔加工技术[M].西安:西北工业大学出版社,2003.

[6]Shinozuka J, Obikawa T, Shirakashi T. Chip breaking analysis from the viewpoint of the optimum cutting tool geometry design[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1996, 62(4): 345-351.

[7]常兴,武文革.切屑形成的基本理论与屑形控制[J].工具技术,2002,36(10):13-15.

[8]刘钟灏,应冰飞.加工核电机组群孔管板的深孔钻的研制[J].动力工程学报,1990,10(5):1-13.

第一作者:王鹏飞,硕士,助理工程师,西安优耐特容器制造有限公司,710201 西安市

First Author: Wang Pengfei, Master, Assistant Engineer, Xi'an United Pressure Vessel Co., Ltd., Xi'an 710201, China