

# 改进双刃枪钻的蠕铁加工试验研究

王威舒, 张伟, 李铸宇, 刘涛, 崔雪飞

大连工业大学

**摘要:** 加工蠕墨铸铁时, 由于切削温度过高、切削力过大, 易导致孔加工质量变差。本文就此问题进行了双刃枪钻钻削蠕墨铸铁的试验研究, 在双刃枪钻的前刀面增加一个断屑槽, 使其变为正前角, 以改善其切削性能。利用直接法建立断屑槽的数学模型, 分别对比带断屑槽的双刃枪钻和不带断屑槽的普通双刃枪钻在钻削蠕墨铸铁时产生的铁屑, 并在此基础上, 通过改变断屑槽的槽宽  $L_{bn}$  和优化断屑槽的几何参数, 在保证孔加工质量的同时提高生产效率。

**关键词:** 断屑槽; 双刃枪钻; 蠕墨铸铁

**中图分类号:** TG937; TH162

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-7008.2021.03.013

## Experimental Study on Vermicular Iron Machining with Improved Double-flute Gun Drill

Wang Weishu, Zhang Wei, Li Zhuyu, Liu Tao, Cui Xuefei

**Abstract:** During the machining of CGI, the cutting temperature is too high and the cutting force is too large, which results in the poor quality of hole machining. To solve the problem, the drilling experiment with a double-flute gun drill is carried out. A chip breaker is added to the double-flute gun drill on the rake face, which changes its rake angle from  $0^\circ$  to a positive one and enhances its cutting performance. The direct modelling method is used to establish the mathematical model of the chip breaker, and the normal double-flute gun drill and the double-flute gun drill with chip breaker are compared when drilling CGI. On this basis, the width of the chip breaker and other geometric parameters are optimized to ensure hole quality and improve production efficiency at the same time.

**Keywords:** chip breaker; double-flute gun drill; CGI

### 1 引言

在发动机制造业中, 柴油发动机的缸体、缸盖的材料由原先的灰铸铁逐渐被蠕墨铸铁 (Compacted Graphite Iron, 简称 CGI) 替代<sup>[1]</sup>。尽管发动机的性能得到了提高, 但是蠕墨铸铁的切削加工性比灰铸铁差。在加工蠕墨铸铁气缸盖时, 普遍存在刀具切削时易折断和寿命低的现象, 切削用量不高, 生产效率也不高。例如: 原来加工灰铸铁可以使用 200 件的刀具, 加工蠕墨铸铁只能使用 110 件, 且工件材质稍有一点不均匀就会发生刀具折断现象; 钻削灰铸铁时, 原来切削速度为  $120\text{m}/\text{min}$ , 进给量为  $0.25\text{mm}/\text{r}$ ; 钻削蠕墨铸铁后, 切削速度降为  $75\text{m}/\text{min}$ , 进给量为  $0.18\text{mm}/\text{r}$ ; 原设计节拍  $12\text{min}$  的生产线, 加工蠕墨铸铁需要将节拍变为  $20\text{min}$ , 这些问题的产生导致无法满足生产需求。

枪钻分为单刃枪钻和双刃枪钻, 在不影响刀具寿命和孔加工质量的情况下, 使用双刃枪钻时所设置的进给量可以达到单刃枪钻的 2 倍左右, 提高了

生产效率; 同时由于双刃枪钻结构的对称性, 它在钻削时受力均匀, 导向性好, 相对于单刃枪钻能保证较好的直线度。因此, 提高双刃枪钻在加工蠕墨铸铁时的寿命, 能有效解决蠕墨铸铁加工效率低和成本高等问题。

近年来, 越来越多的刀具设计者将断屑槽应用在刀具中, 例如刘海宇<sup>[2]</sup>将断屑槽引入到单刃枪钻中, 取得了较好的效果; 李梦龙等<sup>[3]</sup>研究了 BTA 深孔钻中加入断屑槽的断屑问题, 发现 BTA 钻中间齿的槽宽对断屑有影响; 潘宇豪等<sup>[4]</sup>在解决枪钻在钻削不锈钢时出现的铁屑粘刀、缠刀等问题时发现, 带断屑槽的单刃枪钻钻削性能最好; 何耿焯<sup>[5]</sup>将断屑槽应用于车刀中, 得出反屑角较大时刀具磨损较大; Jeff A. 等<sup>[6]</sup>在麻花钻的前刀面增加断屑槽, 实现了切屑控制。可见, 在刀具前刀面磨出断屑槽时达到断屑的有效措施<sup>[7]</sup>。

### 2 断屑槽应用

蠕墨铸铁相对于灰铸铁切削加工性差, 加工材料为蠕墨铸铁工件时所用刀具的寿命会随之降低。

因此改进刀具以提高钻削蠕墨铸铁的效率和提高刀具的使用寿命至关重要。

目前有多种方法进行蠕铁加工,如改变刀具涂层和改变刀具材料等,但由于经济和实用性等原因,这些方法不能很好地满足蠕墨铸铁的加工需求。而改变刀具的几何参数是非常简便有效的方法之一,本文在双刃前刀面加入一个断屑槽,增大刀具前角,使其变为正前角,从而减小了双刃枪钻加工时所受到的切削力,很好地改善了双刃枪钻在加工蠕墨铸铁时的切削性能。

### 3 建立数学模型

机械零件传统的制造方法是根据建立的数学模型来考虑其加工方法<sup>[8]</sup>。数学模型对断屑槽的加工分析尤为重要,因此,根据断屑槽的几何参数建立数学模型的意义不言而喻。

#### 3.1 断屑槽的几何参数

如图1所示,断屑槽主要由以下几个参数决定:①槽宽 $L_{Bn}$ ,前刀面内断屑槽的最小宽度;②槽底前角 $\gamma_{Bn}$ ,在断屑槽的外缘转点处横截面内,刀尖和断屑槽最低点的连线与水平面之间的夹角;③径向倾角 $\delta_{Bn}$ 为过刀尖点且与刀具轴线垂直的平面内,主切削刃与前刀面之间的夹角;④断屑槽圆角 $R_1$ ;⑤斜角 $\lambda_{Bn}$ ,断屑槽低端与前刀面的交线,该交线与主切削刃的夹角;⑥断屑槽间距 $d_{Bn}$ 。

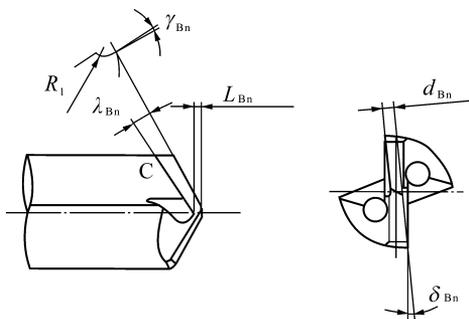


图1 断屑槽的几何参数

#### 3.2 建立断屑槽数学模型

设断屑槽曲面与前刀面的交线为 $l_d$ ,则 $l_d$ 与刃带的交线为点C。过C点且与加工断屑槽时砂轮端面平行的平面设为 $S_d$ ,求出 $S_d$ 面的解析表达式,即可表达出断屑槽的数学模型。

由图1可得C点的坐标为

$$\begin{aligned} X_c &= \frac{D}{2} \times \tan\left(\frac{\pi}{2} - \varphi + \lambda_{Bn}\right) \\ Y_c &= -d_r \\ Z_c &= \frac{D}{2} \end{aligned}$$

此时,只需求出平面 $S_d$ 的一个法向量即可。平面 $S_d$ 的法向量 $l_{sd}$ 相当于单位向量 $i(1,0,0)^T$ 绕 $y_w$ 顺时针旋转 $(\frac{\pi}{2} - \varphi + \lambda_{Bn})$ 得到向量 $n_{d0}$ ,再将 $n_{d0}$ 绕旋转轴 $l_{dt}$ 顺时针旋转 $\gamma_{Bn}$ 。而旋转轴 $l_{dt}$ 是由主切削刃AB上的向量 $l_{AB}$ 绕 $y_w$ 顺时针旋转 $\lambda_{Bn}$ 而得,执行此步骤时需进行级联变换<sup>[9]</sup>。

通过计算可得 $S_d$ 的法向量为

$$S_d = [X_{isd}, Y_{isd}, Z_{isd}, 1]$$

所以,平面 $S_d$ 的方程为

$$\begin{aligned} X_{isd} \left[ x - \frac{D}{2} \tan\left(\frac{\pi}{2} - \varphi + \lambda_{Bn}\right) \right] \\ + Y_{isd} (y + d_r) + Z_{isd} \left( z - \frac{D}{2} \right) = 0 \end{aligned}$$

## 4 蠕铁钻削试验研究

### 4.1 试验方案

为了提高加工蠕铁时双刃枪钻的使用寿命和耐用度,对比带断屑槽和不带断屑槽的双刃枪钻的钻削性能,并在此基础上改变槽宽,研究槽宽对断屑槽性能的影响。

参照实际生产情况,切削用量共计25组,设定切削速度分别为60m/min,65m/min,70m/min,75m/min,80m/min,进给量分别为0.08mm/r,0.1mm/r,0.12mm/r,0.14mm/r,0.16mm/r。

试验的双刃枪钻一共3把,尺寸均为D12.5mm×650mm,分别命名为1号刀、2号刀和3号刀。1号刀为不带断屑槽的普通双刃枪钻,2号刀和3号刀带有断屑槽。如表1和表2所示,除断屑槽参数外,3把刀具的其它参数相同。

表1 双刃枪钻参数

直径	第一后角	第二后角	第三后角	前刀面距离
Φ12.5	10°	25°	35°	0.5mm
芯厚	主刃带宽		副刃带宽	横刃宽度
4.2mm	0.75mm		1.0mm	0.55mm

表2 断屑槽参数

刀具号	槽宽 $L_{Bn}$ (mm)	槽底前角 $\gamma_{Bn}$ (°)	径向倾角 $\delta_{Bn}$ (°)	斜角 $\lambda_{Bn}$ (°)	槽间距 $d_{Bn}$ (mm)
2号刀	0.6	3	5	10	1.2
3号刀	1.2	3	5	10	1.2

### 4.2 试验结果分析

从切屑形态、刀具磨损和孔的加工质量进行分析,试验结果分析如下。

#### (1) 切屑形态

将试验过程中收集的铁屑进行随机取样。试验发现,双刃枪钻在加工蠕铁时产生的铁屑形状多为

圆锥形(见图2),所以在对比3支枪钻产生的铁屑时,以圆锥底面圆的直径为参量进行测量比对。

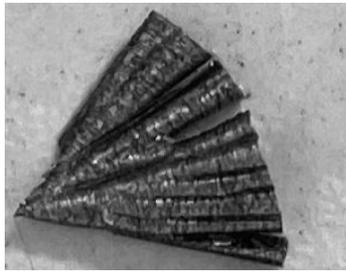


图2 双刃枪钻在切削加工时产生的铁屑

经测量可知,1号刀铁屑的底面圆直径平均值为6.78mm,2号刀和3号刀分别为3.04mm,4.22mm。2号刀和3号刀产生的铁屑比1号刀平均减小了55.1%和37.8%。在试验过程中,当切削速度小于70m/min时,3把刀在加工过程中会有不稳定的现象产生,主要体现在有间歇的异常声响,这种异常现象在用2号刀进行试验时最为明显。

由图3可知,当切削速度小于70m/min时,2号刀的铁屑大多为形状不规则的碎屑。当线速度大于70m/min时,铁屑形状稳定,切削加工过程未见异常声响。由此可得:D12.5×650的双刃枪钻加工蠕铁时切削速度为70~80m/min;改变进给量对切削过程的稳定性和铁屑底面圆直径无太大影响。



图3 2号刀切削加工时产生的铁屑(60m/min)

为了更清晰地对比铁屑大小,将测量结果绘制成如图4所示的雷达图。本文将2号刀具的碎屑底面圆直径平均值设为0.2mm。

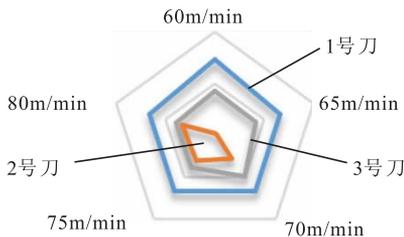


图4 铁屑底面圆直径雷达图

由图4可知,断屑槽的应用可明显减小铁屑,铁屑更好排出。此外,2号刀的断屑效果比3号刀要好,由

此可得:使用更小槽宽的断屑槽,其断屑效果更好。

(2) 刀具磨损

在3把刀具加工完75个深度为70mm的孔之后,使用刀具几何参数测量仪测量和观察刀具的磨损状况,3把刀的磨损状况分别见图5~图7。

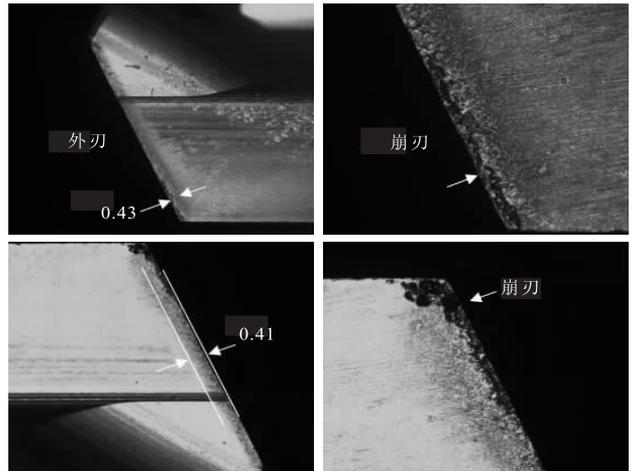


图5 1号刀两侧前刀面的磨损状况

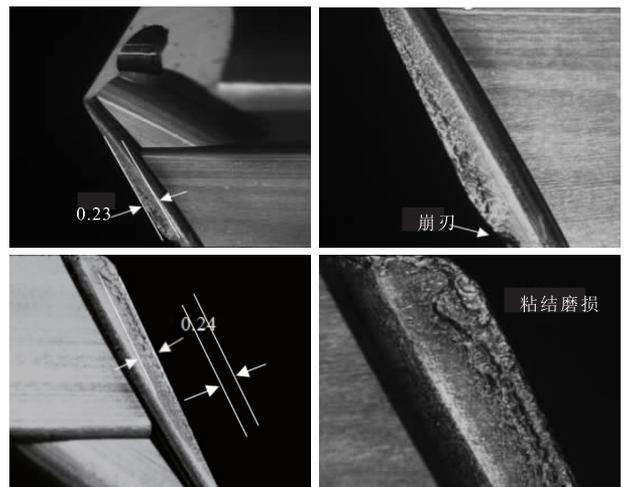


图6 2号刀两侧前刀面的磨损状况



图7 3号刀两侧前刀面的磨损状况

3把刀均有较为明显的粘结磨损,其中不带断屑槽的1号刀磨损最严重,两个前刀面的磨损量分别为0.43mm和0.41mm,断屑槽宽度为0.6mm的2号刀两个前刀面的磨损量分别为0.23mm和0.24mm,1号刀和2号刀的主切削刃外缘转点处有

明显的崩刃;而断屑槽宽度为 1.2mm 的 3 号刀在外缘转点处未见崩刃,仅有磨损量为 0.17mm 和 0.2mm 的粘结磨损。

(3) 孔加工质量

通过被加工孔的表面粗糙度和圆度这两个指标进行评价,测量结果如表 3 和表 4 所示,并绘制图 8 和图 9 所示结果曲线。

表 3 表面粗糙度测量结果

枪钻	表面粗糙度				
	切削速度				
	60m/min	65m/min	70m/min	75m/min	80m/min
1 号刀	0.6648	0.7549	0.7323	0.6955	0.7342
	0.6897	0.7032	0.6923	0.6535	0.7159
	0.6573	0.6325	0.6584	0.6703	0.5894
2 号刀	0.5982	0.4963	0.4938	0.5234	0.6468
	0.5323	0.4693	0.4781	0.5592	0.6795
	0.5568	0.5203	0.5085	0.5927	0.7032
3 号刀	0.7451	0.6729	0.7032	0.6743	0.6583
	0.6933	0.6384	0.6878	0.5936	0.6049
	0.7139	0.6574	0.7403	0.5794	0.7402

表 4 圆度测量结果

枪钻	圆度				
	切削速度				
	60m/min	65m/min	70m/min	75m/min	80m/min
1 号刀	4.9	4.6	5	4.6	5.1
	6.4	5.8	6.1	5.1	5.9
	4.5	5.2	5.5	5.3	5
2 号刀	5.3	4.8	5.1	5.8	4.5
	4.8	5.5	4.8	5.2	4.8
	5.1	4.1	4.8	5.7	5.2
3 号刀	4.7	5.1	4.8	5.2	4.9

由图 8 可知,1 号刀和 3 号刀所加工孔的表面粗糙度平均值差别不大,通过表 3 数据计算得出,平均值分别为 0.68 $\mu\text{m}$  和 0.67 $\mu\text{m}$ ;而 2 号刀所加工孔的表面粗糙度平均值为 0.55 $\mu\text{m}$ ,相比于 1 号刀降低了 19%。

由图 9 可知,三者的圆度误差无明显差别。由表 4 计算出的 1 号刀、2 号刀、3 号刀所加工孔的圆度误差平均值分别为 5.26 $\mu\text{m}$ 、5.03 $\mu\text{m}$ 、4.86 $\mu\text{m}$ 。

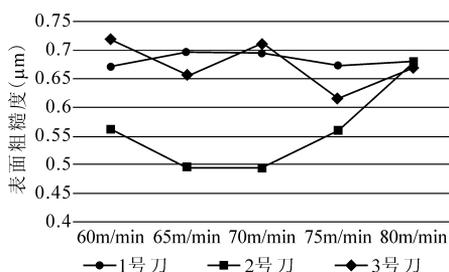


图 8 表面粗糙度测量值

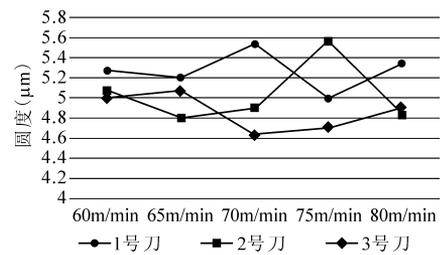


图 9 圆度测量值

5 结语

(1) 增加断屑槽后,双刃枪钻仅出现粘结磨损,未见崩刃,说明带断屑槽的枪钻在钻削蠕铁时所受的切削力较小

(2) 从断屑效果可知,带断屑槽的双刃枪钻得到的铁屑要明显小于普通双刃枪钻,其中断屑槽槽宽为 0.6mm 的双刃枪钻所得到的铁屑要小于断屑槽槽宽为 1.2mm 的双刃枪钻。

(3) 普通双刃枪钻和槽宽为 1.2mm 的双刃枪钻所加工孔的表面粗糙度平均值差别不大,平均值分别为 0.68 $\mu\text{m}$  和 0.67 $\mu\text{m}$ ;而槽宽为 0.6mm 的双刃枪钻所加工孔的表面粗糙度平均值为 0.55 $\mu\text{m}$ ,相比于普通双刃枪钻降低了 19%。

由此可见,在双刃枪钻前刀面增加断屑槽后,其前角变为正前角,切削力下降,切削效果更好,刀具寿命得到提高。

参考文献

- [1] 王骏. 现代深孔加工技术[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2005:1-7.
- [2] 刘海宇. 枪钻断屑槽的设计及其在 42CrMo 和 RuT450 深孔钻削的应用[D]. 大连:大连工业大学,2019.
- [3] 李梦龙,张伟,贺凤宝,等. 锯齿 BTA 中间齿断屑槽的实验研究[J]. 机床与液压,2014,42(13):77-79.
- [4] 潘宇豪,张伟,胡建忠,等. 常用钻型枪钻加工不锈钢的切削性能试验[J]. 工具技术,2015,49(5):48-50.
- [5] 何耿煌. 硬质合金刀片断屑槽槽型对其切削性能的影响[J]. 机械设计与制造,2015(10):142-145.
- [6] Jeff A Degenhardt, Richard E DeVor, Shiv G Kapoor. Generalized groove-type chip breaker effects on drilling for different drill diameters and flute shapes[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2005, 45(14): 1588-1597.
- [7] 陆剑中,孙家宁. 金属切削原理与刀具[M]. 北京:机械工业出版社,2011.9-12.
- [8] 李铸宇. 基于数控磨削运动的麻花钻解析建模及其应用研究[D]. 大连:大连交通大学,2014.

# 大推力氢氧发动机铜合金内壁数控加工技术

侯亚娟, 毕凯, 董礼, 吴雪松, 史泰虎

首都航天机械有限公司

**摘要:** 新一代大推力氢氧发动机是重型运载火箭的基础,随着推力量级和结构参数的大幅提高,设计要求严,生产跨度大,需要开展系列技术攻关工作。本文梳理了国内外氢氧发动机的技术发展趋势以及推力室内壁材料的研究进展,基于大推力氢氧发动机内壁的结构特点与加工难点,提出了工艺及工装设计方案,通过切削试验研究,优化了加工参数,使产品满足了设计使用要求。该数控加工方案解决了大推力燃烧室内壁的制造瓶颈,为新一代运载火箭与氢氧发动机的研制提供了参考经验。

**关键词:** 大推力;氢氧发动机;铜合金;薄壁壳体;车削加工

**中图分类号:** TG166.2;TH161

**文献标志码:** A

**DOI:**10.3969/j.issn.1000-7008.2021.03.014

## NC Machining Technology of Liner Wall of Copper Alloy for Large Thrust Rocket Engine

Hou Yajuan, Bi Kai, Dong Li, Wu Xuesong, Shi Taihu

**Abstract:** The large thrust LOX/LH2 rocket engine is the basis of heavy-lift launch vehicle, and the thrust level and structure parameters have been enhanced substantially. With high requirement and large production span, manufacture requires a series of hard work on key technology research. This paper reviews the development trend of LOX/LH2 rocket engines and the research progress of copper alloys used in the liner wall of the main combustion chamber at home and abroad. Based on the structural characteristics and machining difficulties of liner wall for large thrust LOX/LH2 rocket engine, the design schemes of process and equipment are put forward. Research by cutting test, processing parameters are optimized and the products meet the design requirements. The NC machining program solves the manufacturing bottleneck of liner wall of the large thrust combustion chamber, which supplies the foundation for development of new generation launch vehicle and LOX/LH2 engine.

**Keywords:** large thrust; hydrogen oxygen engine; copper alloys; liner wall; NC machining technology

## 1 引言

为实现我国未来航天发展规划,必须加快发展重型运载火箭的发展步伐。重型运载火箭对深空探测任务适应能力较强,能够为载人登月和太空探索提供更加广阔的发展空间<sup>[1]</sup>。为了满足未来航天活动对运载火箭的任务需求,我国新一代运载火箭的研制正在快速向前发展,并提出了大推力氢氧发动机的技术方案。与现役氢氧发动机相比,它的推力量级和结构参数均有大幅度提高,可以大幅度提

高火箭的运载能力,有效扩大航天活动范围与规模,但因其设计要求高、生产跨度大以及新材料和工艺均给制造技术带来了极大挑战。因此,需要开展一系列的技术攻关工作,解决工程技术瓶颈<sup>[1,2]</sup>。

本文介绍了国内外氢氧发动机的发展趋势和推力室内壁材料的研究进展,根据大推力氢氧发动机内壁的结构特点与加工难点,制定了推力室内壁数控加工方案。通过切削试验与实际产品加工相结合,解决了大推力铜合金内壁车削难题,为新一代火箭与氢氧发动机的研制提供参考经验。

收稿日期: 2020年10月

[9] Dirk Biermann, Marko Kirschner. Experimental investigations on single-lip deep hole drilling of superalloy Inconel 718 with small diameters [J]. *Journal of Manufacturing Processes*, 2015, 20: 332-339.

第一作者:王威舒,硕士研究生,大连工业大学机械工程与自动化学院,116034 辽宁省大连市

First Author: Wang Weishu, Postgraduate, School of Mechan-

ical Engineering and Automation, Dalian Polytechnic University, Dalian, Liaoning 116034, China

通信作者:张伟,教授,大连工业大学机械工程与自动化学院,116034 辽宁省大连市

Corresponding Author: Zhang Wei, Professor, School of Mechanical Engineering and Automation, Dalian Polytechnic University, Dalian, Liaoning 116034, China