

## 第3章 孔加工和铣削加工

### 3.1 本章学习目标

通过本章的学习,读者应该能够:

- (1) 了解用于数控机床上的钻头类型及其应用。
- (2) 熟悉用于镗孔、铰孔、攻丝、扩孔和铰孔等孔加工的刀具。
- (3) 解释孔加工的切削速度和进给速度的含义。
- (4) 了解用于数控机床上的铣刀类型及其应用。
- (5) 熟悉如扁钻、硬质合金镶嵌式钻头和硬质合金镶嵌式铣刀等特殊刀具的优缺点。
- (6) 解释铣削加工的切削速度和进给速度的含义。
- (7) 了解顺铣和逆铣之间的区别。
- (8) 了解数控加工使用切削液的必要性。

### 3.2 引言

数控编程员必须对数控加工工艺、数控刀具等知识有全面深刻的了解。本章将介绍应用于数控加工的主要刀具及其特点,首先将讨论孔加工的内容,如钻孔、镗孔、铰孔、攻丝、扩孔和铰孔等孔加工操作,然后将介绍铣削加工刀具以及轮廓铣削、面铣削的相关知识。

硬质合金刀具在现代数控加工中应用非常广泛,因此本章还将对用于孔加工和铣削加工中的硬质合金镶嵌式刀具进行讨论,并将介绍刀具切削速度和进给速度这两个决定刀具性能的重要参数,本章最后还对加工切削液的使用进行了简要说明。

### 3.3 孔加工的刀具

多数情况下,加工孔的第一步是钻孔,而钻孔往往无法一次性得到高精度的孔。因此为满足孔加工所要求的尺寸、形状、位置、表面质量等精度要求以及其他技术要求,必须还要对孔进行其他加工操作,如镗孔、铰孔及攻丝等。

#### 1. 麻花钻

麻花钻是钻孔中最为常用的刀具,如图 3.1 所示,这种刀具一般有两个螺旋形的沟槽和一条横刃。沟槽一方面作为切削刃引导刀具向材料进给;另一方面也作为切削液及切屑排出的通道。而横刃则决定了钻头承受切削阻力的强度。

制造麻花钻的材料选择范围很广,可以从碳素工具钢到硬质合金钢。麻花钻的通用直径尺寸范围如下:



图 3.1 直柄麻花钻

(1) 在英制系统中:

以数字编号——从 1(0.228in.)~97(0.0059in.)。

以字母编号——从 A(0.234in.)~Z(0.413in.)。

以分数编号——从 1/64in. ~63/64in.。

(2) 在公制系统中:

直径范围为 0.2~50.5mm。

一般地,直径在 1/2in. 以下的钻头常用直柄结构,直径更大的钻头可以用直柄或锥柄结构,而锥柄的扁尾结构可以防止在钻较大孔时出现钻头滑动。

钻削加工的精度会随着钻头长度或钻孔尺寸的增加而减低。这是因为长钻头刚性较小,易扭转变形,因此一般建议选用尽量短的钻头。同时,还须对横刃和主切削刃进行刃磨,才能保证较好的孔加工精度。

## 2. 中心钻

由于刀槽长度、钻孔直径、钻孔的灵活性、切削刃的刃磨和材料硬度等多种因素的影响,麻花钻无法保证孔中心轴线的精确定位。因此,一般须先用短而粗的中心钻加工一个预制孔来引导麻花钻加工,这样就可以使得定位误差较小。如图 3.2 所示为一个普通型中心钻及一个定心钻。其中普通型中心钻是最为常用的,能用来加工一个先导孔和 60°的埋头孔。而多数定心钻的刀尖角为 90°或 120°,加工较长的孔时,可先用定心钻加工出先导孔然后再作进一步加工,这样做可以使定位更准确,孔的加工精度也更高。



图 3.2 中心钻类型

中心钻加工孔时,一般使沉头部分的直径比相应的麻花钻直径大 0.003in. ~0.006in.,如图 3.3 所示。

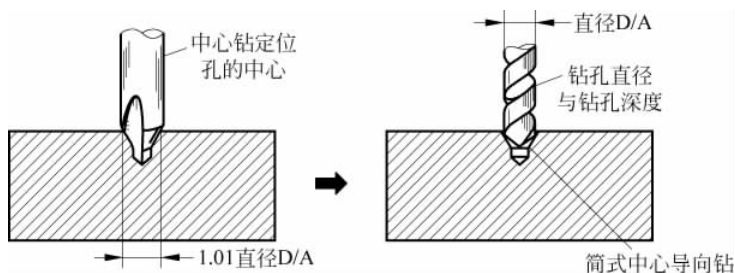


图 3.3 中心钻的钻孔深度

而当钻通孔时,钻头应超出材料的长度达到钻头直径的 1/3 再加上 0.1in. 为佳,如图 3.4 所示。

## 3. 内冷却钻头

内冷却钻头有一个或两个内通道从刀杆延伸到切割点。加工时,压缩空气、润滑油或切削液可通过上述通道穿过钻头。随着切削液流过钻头内通道,冲走切屑,使得切削点和工件都得以冷却。这种内冷却钻头尤其适用于钻深孔。如图 3.5 所示为一个内冷却钻头。

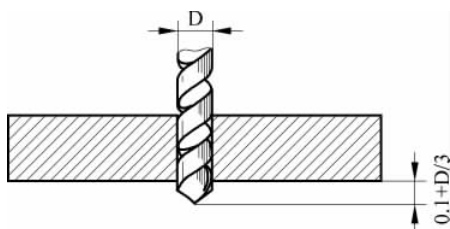


图 3.4 钻通孔时的钻头行程



图 3.5 内冷却钻头

#### 4. 扁钻

扁钻由刀片和刀片夹持部分组成,钻 1in. 以上的孔时,扁钻比麻花钻更有优势:

- (1) 扁钻的横刃较大,在进给时弯曲变形小,可以保证更高的加工精度;
- (2) 扁钻的成本更低,因为八个标准型刀夹即可适用于刀片宽度从 5/8in. ~6in. 的所有刀片,而且刀片磨损后可以重新刃磨或直接更换;
- (3) 扁钻不需要通过钻引导孔及多次钻孔来扩大孔径,而是由一个工步就能完成孔的加工,从而减少了孔加工的辅助时间。

使用扁钻时,机床将比用麻花钻时多承受 50% 以上的扭矩,这就要求机床及工件装夹具备更大的刚性。

扁钻加工时需要有切削液流经钻头,以便散热和冲走切屑。因此,机床需要配备有高压冷却系统。由于扁钻上没有有助于排屑的刀槽,因此扁钻不能用于加工较深的孔。但刀片的切削刃可以断屑,并有利于排屑。

#### 5. 可转位刀片钻

这类钻头在所有适用于加工直径 5/8~3in. 孔的钻头中是最为先进的,它囊括了扁钻所具备的所有优点,比如它也可以更换刀片。如图 3.6 所示为一个可转位刀片钻头。

可转位刀片钻的钻削速率约为麻花钻和扁钻的 5~10 倍。相对于麻花钻,可转位刀片钻所需要的进给力较小,但是其受到的切削力更大,因而需要更大的主轴功率,同时还需要配备高压冷却系统并保证足够大的机床刚度。

可转位刀片钻上的刀片可换成硬质合金刀片,这样则可加工硬度更高的材料。带硬质合金刀片的钻头如图 3.7 所示。硬质合金刀片的形式多种多样,如图 3.8 所示。但这种刀具的主要缺点在于其脆性大、抗震性差,如果使用不当,易崩刃。

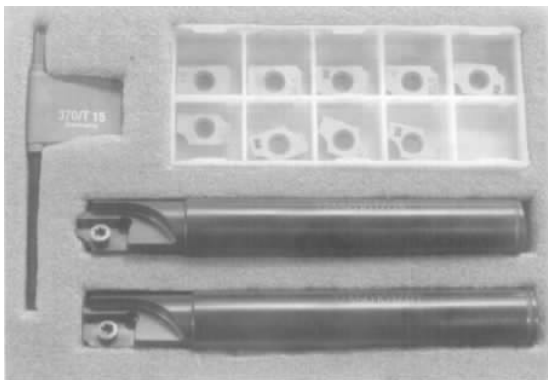


图 3.6 可转位刀片钻头



图 3.7 硬质合金刀片钻头



图 3.8 硬质合金刀片的几种类型

### 3.4 硬质合金片镶嵌技术

刀具制造商提供的手册中,通常可以查到硬质合金刀片的尺寸和形状,如图 3.9 所示。

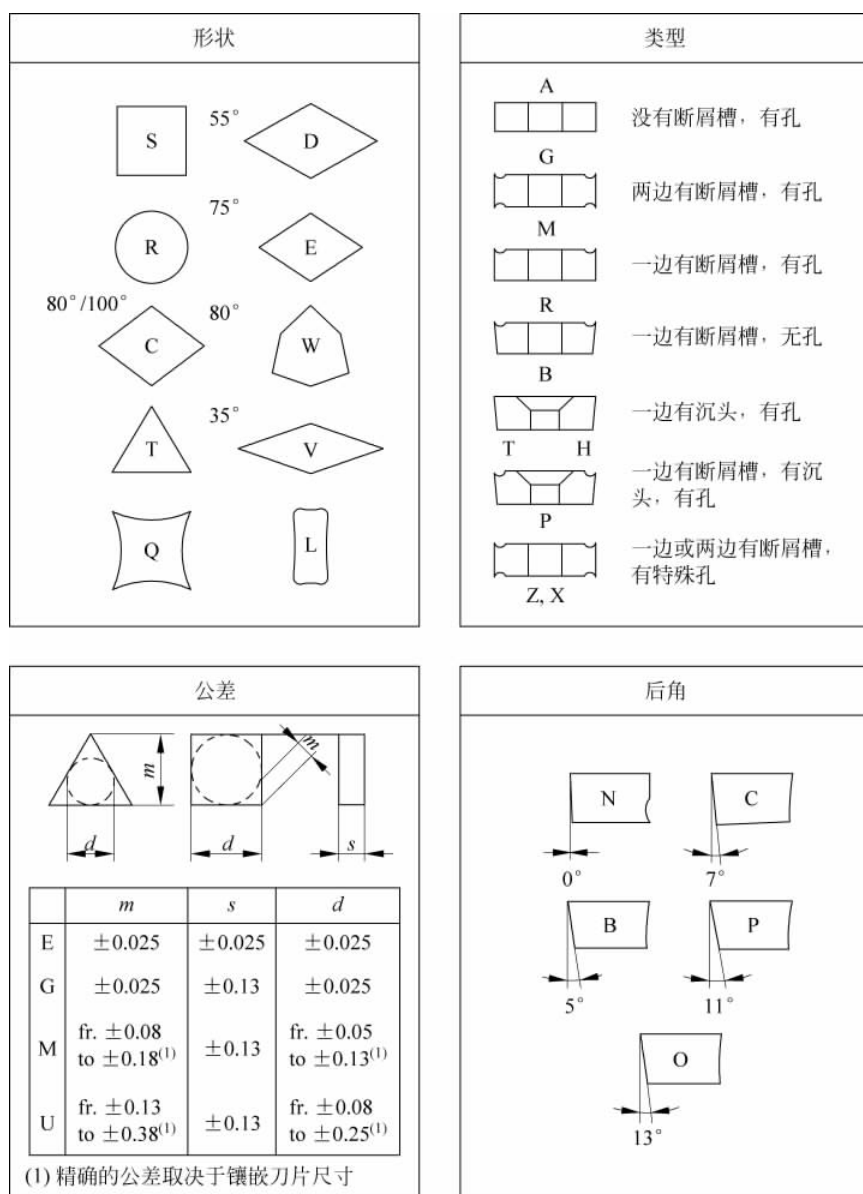


图 3.9 镶嵌刀片识别系统

美国国家标准学会(American National Standards Institute, ANSI)基于 C 系统对硬质合金刀片等级划分。C1~C4 为钨钴类硬质合金,主要用于切削铸铁、加工硬化的不锈钢、钛合金以及有色金属;C5~C8 为钨钴钛硬质合金,可用于切削钢铁材料。在欧洲和日本,则采用 ISO 标准,该标准将硬质合金刀片分为 P、M、K 三大类。P 类适用于加工长切屑的黑色金属,M 类适用于加工长切屑或短切屑的黑色金属及有色金属,K 类则适用于加工短切屑的黑色金属及有色金属。

值得注意的是,ANSI 标准与 ISO 标准对硬质合金刀片的级别划分并不一致,两者对比如图 3.10 所示。

| ANSI 标准 | ISO 标准 | 适合加工的材料         | 加工操作 |
|---------|--------|-----------------|------|
| C1      | K30    | 铸铁、加工硬化不锈钢和有色金属 | 粗加工  |
|         | K20    |                 |      |
| C2      | K20    |                 | 一般加工 |
|         | K25    |                 |      |
| C3      | K10    |                 | 精加工  |
|         | K15    |                 |      |
| C4      | K01    |                 | 精细加工 |
|         | K05    |                 |      |
| C5      | K40    | 不锈钢、工具钢和一般合金钢   | 粗加工  |
|         | K50    |                 |      |
| C6      | K25    |                 | 一般加工 |
|         | K35    |                 |      |
| C7      | K10    |                 | 粗加工  |
|         | K25    |                 |      |
| C8      | K01    |                 | 精细加工 |
|         | K05    |                 |      |

图 3.10 硬质合金刀片的级别划分与适用加工范围

目前生产硬质合金刀片的厂商有很多,但他们的级别划分标准各不相同。一般来说,厂家所提供的刀具手册中会有一个完整的级别划分表,而且还都列出了对应于 ANSI 或 ISO 标准的级别,以便读者查阅。

### 3.5 用于钻孔后进一步加工孔的加工刀具

钻孔后的进一步加工包括镗孔、铰孔、攻丝、扩孔和铰孔(包括铰沉孔、铰锥孔和铰孔口端面)。

#### 1. 镗孔

镗孔一方面可扩大孔径,提高精度,减小表面粗糙度;另一方面还可以较好地纠正原来孔轴线的偏斜,提高孔的垂直度。如图 3.11 所示为一些常见的镗孔刀具。

与钻头一样,应选择尽量短的镗杆进行镗孔。长度直径比越大,刀杆越易弯曲。长刀杆易产生振动,镗孔时会影响孔的表面加工质量。

#### 2. 铰孔

麻花钻钻孔时无法一次性加工出满足尺寸精度和表面质量要求的孔,为此可以用铰孔进一步加工。

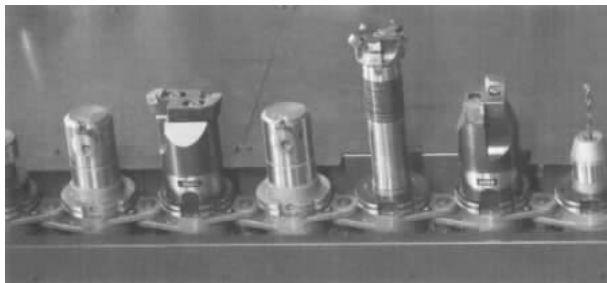


图 3.11 硬质合金铰刀

铰刀是带有直槽或螺旋槽切削刃的圆柱形刀具,其材质多数用高速钢,少数也可以用镶嵌硬质合金、整体硬质合金以及钴高速钢。铰刀类型的选择取决于孔的类型、尺寸和数量,根据经验,应首先选用直槽铰刀,铰盲孔时可选用右螺旋铰刀,以便于排屑。

铰直径大于  $3/4\text{in.}$  的孔时,套式铰刀是一个较为经济的选择,因为一个装配刀杆上可以装不同尺寸的硬质合金铰刀片。如图 3.12 所示为一些较为常见的铰刀。



图 3.12 常见的几种铰刀

需要注意的是,由于铰孔是由已有的孔引导加工的,因而铰孔操作无法纠正原来孔中心轴线的偏斜。如果孔中心轴线确实存在偏斜,则应先进行镗孔再铰孔。

### 3. 攻丝

用丝锥加工内螺纹的过程称为攻丝。攻丝是一个精细甚至有些烦琐的过程,这取决于材料类型和螺纹深度。攻丝的最大问题在于从孔里清除切屑。制造丝锥的材质有很多,如碳素工具钢、高速钢和硬质合金材料等。氮化钛(TiN)化合物则经常被用做丝锥的涂层材料,以形成坚硬、耐磨的外层。手用丝锥不能用于数控机床,除非再特别配备一个丝锥附属件。这个附属件带有一个离合器,当丝锥扭力过大或发生闷车现象时,可通过该离合器断开动力传递,以防丝锥被拧断。加工盲螺纹孔时,常用的方法一般是先使用螺旋槽丝锥,然后再用塞状二攻丝锥加工到指定深度,最后再用平底状三攻丝锥加工螺纹底部。

丝锥上设计有刀槽,主要是为了做切削液的通道和排屑之用。

螺尖丝锥或称枪式丝锥可用在数控机床上加工螺纹通孔。这种丝锥在工作时,它允许切削液和切屑从丝锥前部的孔排出。“枪”一词是源自其在攻丝时射出切屑的现象。

如图 3.13 所示为一些应用于数控机床上较为常见的丝锥。

丝锥大小的选择可参考机械手册上的相关标准化表格,合理选择才能确保丝锥在攻丝时正常工作。



图 3.13 丝锥

#### 4. 铤沉孔

常用于扩孔到一定深度,孔径略大于螺钉或销钉的头部,深度能使螺钉或销钉的头部沉到零件表面下即可。对于数控操作,通常用立铣刀或平底钻头来铤沉孔。

#### 5. 铤锥孔

铤锥孔是对孔的上端面进行扩孔并形成锥角凹面,这样可以使得一个扁平或椭圆形头的螺钉装配时齐平或略低于机器表面,锥角一般为  $82^\circ$  或  $90^\circ$ 。除非零件图纸明确要求不倒角,否则都应对螺纹孔进行铤加工,以便保护内螺纹的起始部分。典型的铤钻如图 3.14 所示。



图 3.14 三角锥底铤钻

铤钻的理论顶点和实际顶点之间存在差异,这就会使加工出现一些问题。可使用光学仪器来确定刀具的实际顶点,避免铤孔过深。

### 3.6 孔加工的切削速度和进给速度

用某种规格的刀具来切削某种材料时,必须要指定的两个主要参数是刀具的切削速度和进给速度,这两个参数决定了刀具的寿命和切削性能。

#### 1. 刀具的切削速度

如图 3.15 所示,刀具的切削速度被定义为刀具切削刃表面圆周上任意一点的线速度。在英制中常表示为英尺每分钟(ft/min)。根据选定的切削速度和刀具直径,可以确定主轴转速。

$$\frac{\pi \times \text{刀具直径}}{12} = \text{刀具切削圆周周长(ft)}$$

$$\frac{\pi \times \text{刀具直径} \times \text{转速}}{12} = \text{刀具切削速度(ft/min)}$$

(1) 在英制单位中:

$$\text{主轴转速(r/min)} = \frac{12 \times \text{切削速度(ft/min)}}{\pi \times \text{刀具直径(in.)}}$$

多数情况下,主轴转速可按下列方法近似取值:  $\frac{\pi}{12} =$

$$\frac{3.141\,593}{12} \approx \frac{3}{12} \text{ 或 } \frac{1}{4}。$$

$$\text{主轴转速(r/min)} = \frac{4 \times \text{切削速度(ft/min)}}{\text{刀具直径(in.)}}$$

(2) 在公制单位中:

$$\text{主轴转速(r/min)} = \frac{1000 \times \text{切削速度(mm/min)}}{\pi \times \text{刀具直径(mm)}}$$

对于孔加工刀具切削速度的选择,应考虑以下几个因素:

- (1) 孔加工的类型、材料的硬度以及孔的深度。
- (2) 刀具的类型以及润滑剂或冷却液的类型。
- (3) 工件夹具的类型以及所使用的数控机床类型。

选择切削速度过快时,会导致刀具过度钝化甚至烧伤切削刃。当切削速度选取过慢时,则可能会导致刀具过度磨损或加工时崩刃。

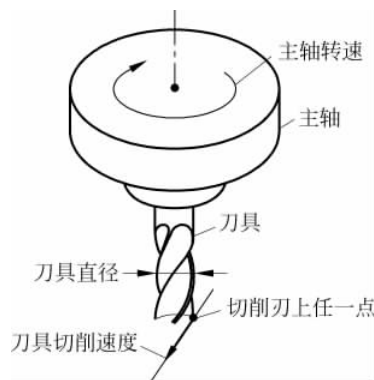


图 3.15 刀具的切削速度

关于孔加工刀具切削速度的选择可参见附录 C。一般地, 铰孔加工时, 切削速度应选取为钻削相同材料时的  $1/2 \sim 2/3$ 。用丝锥攻丝时主轴转速取决于多个参数, 通常选取  $50 \sim 300 \text{ r/min}$ 。带有刚性丝锥的新机床可以用高转速攻丝, 如加工铝材时, 用上述机床攻丝时, 转速可以调高到  $3000 \text{ r/min}$ 。铰孔的速度选取为钻削同样材料时的  $1/4$  左右。

## 2. 刀具进给速度(孔加工)

孔加工刀具每转进给量是指刀具转动一周, 刀具在工件中前进的距离, 在英制单位中表示为英寸每转(in./r)。

而在数控程序中则要用到刀具进给速度(in./min), 它是由刀具每转进给量(in./r)乘以主轴转速(r/min)而得到的。

(1) 在英制单位中:

$$\text{刀具进给速度(in./min)} = \text{刀具每转进给量(in./r)} \times \text{主轴转速(r/min)}$$

(2) 在米制单位中:

$$\text{刀具进给速度(mm/min)} = \text{刀具每转进给量(mm/r)} \times \text{主轴转速(r/min)}$$

关于孔加工刀具进给速度的选择可参见附录 C。一般地, 铰孔加工的进给速度应选取为钻削同样材料的  $2 \sim 3$  倍, 攻丝的进给速度则取决于螺距和主轴转速。

**例 3.1** 加工螺距为每英寸 18 齿的螺纹孔, 主轴转速为  $300 \text{ rpm}$ , 试计算刀具进给速度。

$$\text{解: 实际进给速度} = \frac{1 \text{ in.}}{18 \text{ r}} \times 300 \frac{\text{r}}{\text{min}} = 16.7 \text{ in./min}$$

上述计算表达式中 in. 表示英寸; r 表示转, in./min 表示英寸每分钟。

用数控机床攻丝时, 丝锥上一般带有一个浮动的离合器夹头。为使夹头工作正常, 编程时进给速度应比上述计算值稍小点, 因此编程时进给速度可调整为  $16 \text{ in./min}$ 。

## 3.7 用于轮廓铣削和面铣削的刀具

轮廓铣削是使用立铣刀去除多余材料从而形成零件轮廓的加工过程, 如图 3.16 所示。面铣削则是使用端面铣刀或立铣刀的底切削刃连续切削从而形成平面的加工过程, 如图 3.17 所示。轮廓铣削时, 刀具的旋转轴平行于加工表面, 而在面铣削时, 刀具的旋转轴垂直于加工表面。上述两种加工都属于连续路径加工, 即刀具与零件始终保持接触。

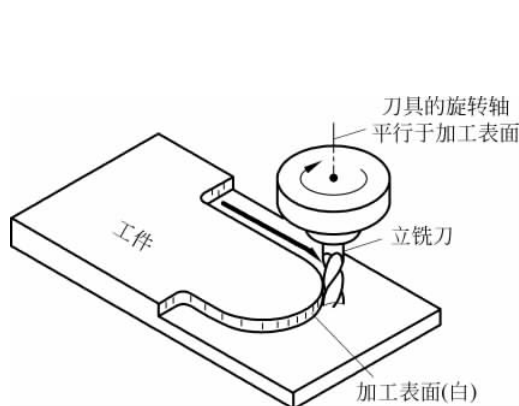


图 3.16 轮廓铣削加工

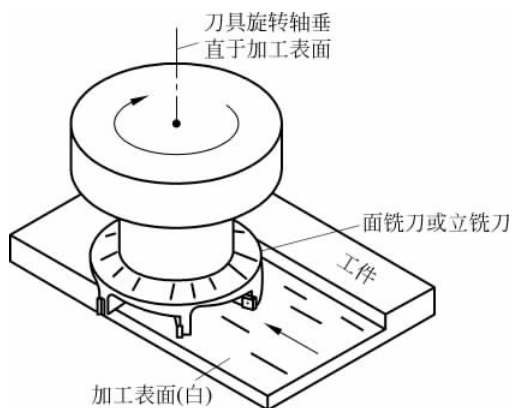


图 3.17 面铣削

### 1. 立铣刀

轮廓铣削加工中最常用的刀具是立铣刀,它可用于面铣削、开槽、钻铣削以及型腔加工。立铣刀的直径范围为  $0.32 \sim 2\text{in.}$ ,其中可以有 2、3、4 个或更多的刀槽,这些刀槽用于排屑并作为润滑剂或冷却剂的通道。如图 3.18 所示为一个四刃立铣刀,它没有端刀刃,因此不能用于钻削。而如图 3.19 所示的三刃立铣刀则有三条刀槽穿过刀具中心,这种刀具也称为中心立铣刀,可用于钻削,还可用于孔的粗加工、镗沉孔、镗孔、槽加工和型腔加工等。

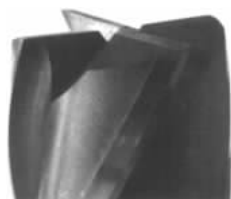


图 3.18 四刃立铣刀



图 3.19 单头三刃立铣刀

选择立铣刀用于加工时,刀槽的数量是一个重要的参考因素,刀槽数量越多,则刀槽也就越浅小,而刀具的实体部分则越大。因此,一个立铣刀上刀槽越多意味着其刚性越强。因此,加工铝、铜等材质较软的材料时建议选用两个刀槽的双刃立铣刀,若加工钢铁之类的坚硬材料时,则不妨选用带四个刀槽的四刃立铣刀。立铣刀还可用于对钻出的孔进行精加工,中心立铣刀也可制造成带三个或三个以上的刀槽。



图 3.20 不同槽形的铣刀

粗加工立铣刀也称为波纹立铣刀,其圆周切削刃为波形,并开有环形分屑槽。加工时,这类刀具比带光滑螺旋刀齿铣刀的磨损和切削阻力更小。因此,粗加工立铣刀的切削效率可以达到普通立铣刀的三倍之多。

立铣刀用途的多样性使得其为数控车间节省了刀具成本和刀具备用量,并缩短了加工装夹准备时间。如图 3.19~图 3.21 所示为各种不同类型的铣削刀具。



图 3.21 粗加工立铣刀

### 2. 套式立铣刀

套式立铣刀的直径范围为  $11/4\text{in.} \sim 6\text{in.}$ 。由于不同尺寸的刀具可以连接到同一个刀柄上,因此节省了成本。螺旋刀槽套式立铣刀和刀柄如图 3.22 所示。

### 3. 硬质合金可转位镶嵌刀片立铣刀

现代刀具加工工艺技术已能生产出可更换或可转位的硬质合金镶嵌刀片。这类刀具的初始投资成本较高,但从长远来看,成本依然可以大大节省,因为可以大大减少加工装夹准备时间以及刀具刃磨时间。刀片磨损后,可方便地进行更换。同一把刀具可以通过更换不同类型

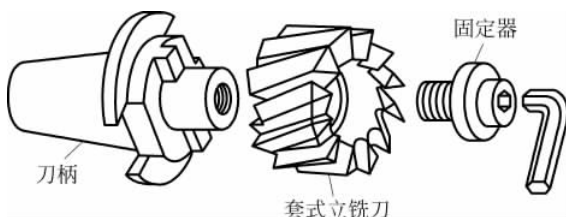


图 3.22 套式立铣刀和刀柄

的刀片来加工不同的材料,因此备用的刀具数量也可相应减少。铣刀镶嵌刀片可以制成各种不同的形状和尺寸。镶嵌刀片的强度和切削刃的数目都取决于刀片的形状,比如圆形镶嵌刀片的强度最高,其次依次为正六边形、正方形、平行四边形、菱形和三角形的刀片,如图 3.23 所示。

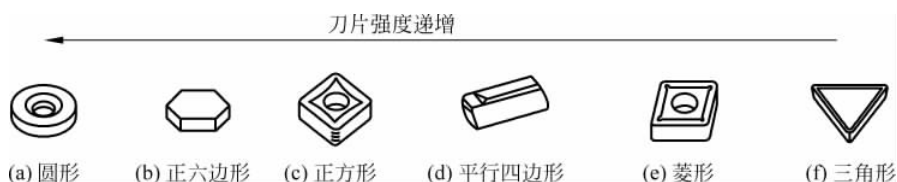


图 3.23 用于铣削的不同类型的硬质合金镶嵌刀片

对于给定尺寸大小的刀片,形状夹角越大,则硬质合金用量越小。加工时应该选择强度尽可能高的刀片,以保证轮廓铣削加工时的连贯性。

硬质合金可转位立铣刀的刚性很好,因此可用于高精度加工,如在镗孔操作时用到这类刀具,则可大大提高孔的加工精度。硬质合金刀具还可以缩短加工时间,根据加工材料的不同,刀具切削速度可以比普通刀具提高 2~3 倍,而进给速度则可提高 25% 以上。

如图 3.24~图 3.26 所示为各种不同类型的硬质合金铣刀。如图 3.27 所示则为两种典型的普通铣刀。

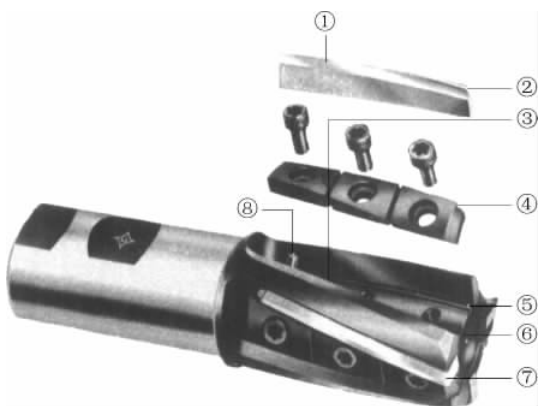


图 3.24 硬质合金刀片式立铣刀



图 3.25 硬质合金镶嵌式立铣刀

硬质合金可转位刀片立铣刀的使用,要求数控铣床必须有足够的功率和刚性。同时还应使进给速度未定而可控,以便使加工时的振动最小。

#### 4. 其他铣削刀具

其他类型的铣削刀具有半圆铣刀、侧铣刀、金属切割锯和平面立铣刀等,如图 3.27 所示。

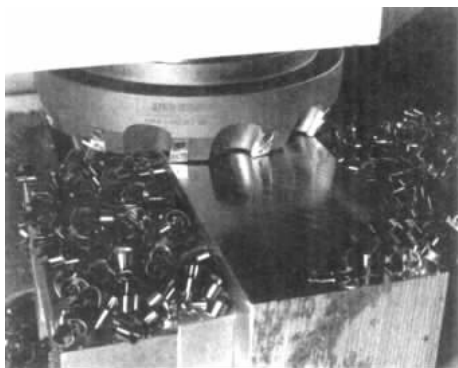


图 3.26 硬质合金镶嵌式面铣刀



图 3.27 两种典型的普通铣刀

### 3.8 涂层刀具

很多数控刀具上都带有涂层,涂层刀具是指在强度和韧性较好的高速钢刀具或硬质合金刀片上,利用气相沉积方法涂覆薄薄一层耐磨性好的难熔金属或非金属化合物而获得的。目前最为常见的一种涂层材料为氮化钛(TiN)。高速钢涂层刀具的切削速度可以与硬质合金刀具相媲美,而且还可以减少硬质合金刀具常遇到的易震动、易脆、崩刃等问题。TiN 涂层可以减少切削刃的摩擦和磨损。涂层刀具的寿命可达到非涂层刀具寿命的 20 倍之多。因此对于那些不能用硬质合金制造的复杂形状刀具,可以先用高速钢制成,然后采用涂层的方法来提高其切削性能。

### 3.9 刀具铣削速度和进给速度

切削速度和进给速度是加工过程中最重要的两个参数,对于铣削而言更是如此。铣削的精度、表面粗糙度、刀具磨损都取决于切削速度和进给速度的合理选择。

#### 1. 切削速度

铣削刀具的切削速度定义与钻削相同,也是由切削刃圆周上任一点的线速度表示。不同材料的建议切削速度详见附录 C。

#### 2. 进给速度

铣削加工的进给速度定义为刀具切入工件的速度。英制单位中表示为英寸每分钟(in./min),如图 3.28 所示。

轮廓铣削加工的进给速度取决于每齿进给量、齿数和主轴转速,可用以下公式计算:

(1) 在英制单位中:

进给速度(in./min) = 每齿进给量(in./t) × 刀具齿数 × 主轴转速(r/min)

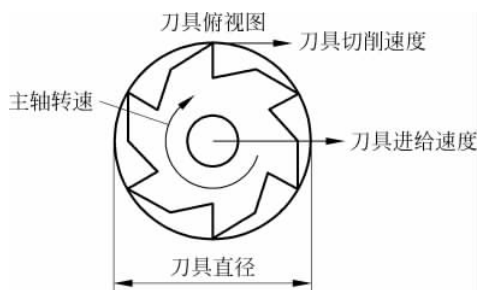


图 3.28 刀具进给速度

(2) 在公制单位中:

进给速度(mm/min)=每次进给量(mm/t)×刀具齿数×主轴转速(r/min)

对于不同的材料,每齿进给量的建议值可以参考刀具生产厂家手册。

铣削进给速度还依赖于切削厚度,这里的切削厚度不是指每齿进给量,而是指在给定进给速度下产生切屑的实际厚度,它取决于刀具形状、切入角、刀具在工件中的位置等因素。对于常见的铣削加工,切削厚度一般在 0.004in. ~0.008in. 之间。如果切削厚度超出该范围,将会导致硬质合金刀片刀具的过早磨损。

计算平均切削厚度参考值的公式为

$$\text{公制: 平均切削厚度(mm)} = \text{每齿进给量(mm)} \times \sqrt{\frac{\text{切削宽度(mm)}}{\text{刀具直径(mm)}}}$$

$$\text{英制: 平均切削厚度(in)} = \text{每齿进给量(in./t)} \times \sqrt{\frac{\text{切削宽度(in.)}}{\text{刀具直径(in.)}}}$$

**例 3.2** 如图 3.29 所示,用一把直径为 3in. 的五齿立铣刀沿着进给方向切削到台肩位置,切削宽度为 1.125in.。每齿进给量为 0.006in./t,主轴转速为 400r/min。试确定合适的进给速度,使得切削厚度达到 0.008in.。

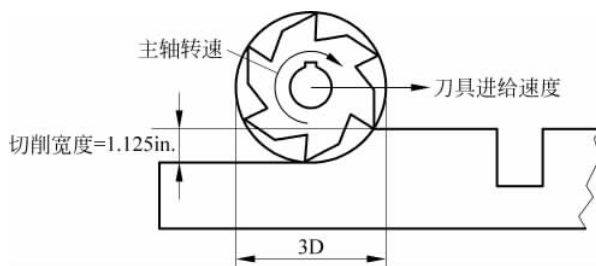


图 3.29 刀具进给速度、切削宽度和切削厚度

**解:** 进给速度=0.006×5×400=12in./min

$$\text{平均切削厚度} = \sqrt{\frac{1.125}{3}} \times 0.006 = 0.0037\text{in.}$$

但这已超出了切削厚度的规定范围,若使用 0.008in. 作为期望的切削厚度,则

$$\text{给定的每齿进给量} = \sqrt{\frac{\text{刀具直径(in.)}}{\text{切削宽度(in.)}}} \times \text{平均切削厚度} = \sqrt{\frac{3}{1.125}} \times 0.008 = 0.013\text{in./min}$$

于是进给速度相应调整为刀具进给速度=0.013×5×400=26in./min。

因此,为达到 0.008in. 的切削厚度,以 400r/min 的主轴转速,切削 1.125in. 宽的槽时,进给速度须调整到 26in./min。需要注意的是,以上计算所得的切削厚度值和进给速度值仅仅是理论值,不能直接用于实际加工中。实际加工时还必须根据工件的稳定性、装夹情况、要求的表面粗糙度及机床的可用功率进行调整。

### 3.10 铣削加工的进给方向

铣刀切入工件的方向一般有两种,一种是铣刀的旋转方向与工件进给方向相同,即顺铣;另一种是铣刀的旋转方向与工件进给方向相反,即逆铣。

### 1. 顺铣

如图 3.30 所示,顺铣时,刀齿从未加工表面切入,切屑由厚变薄。顺铣时的工件被下压并推向刀具,因此需要的夹紧力和切削功率较小。但施加在工作台上的压力,使得铣床必须有丝杠间隙消除装置,以消除丝杠和工作台螺母之间的间隙,大多数数控机床都配备有这种装置。采用这种铣削方式进行粗加工可以获得很小的加工痕迹和表面刀痕,同时切屑被向后抛出,不会由于积留在切削刃上而磨钝刀具。在加工薄壁件和难以压紧的工件时,建议采用顺铣。使用硬质合金刀片刀具时,尤其在切削加工硬化材料时应使用顺铣。

### 2. 逆铣

如图 3.31 所示,逆铣时,在切入处的切屑不厚,而在加工表面切出处达到最大厚度。逆铣需要更大的夹紧力,逆铣适用于加工如锻件、铸件、热轧钢等外部硬度较大的工件,以及数控加工中心的精加工。以上情况如果使用顺铣,则会在切削时先切入工件坚硬的外层表面,从而导致过高的冲击负载和刀具的过度磨损。使用顺铣时,如果由于刀具过长可能会产生较大的震颤时,应改为逆铣。工程中,可以用加工样件的方法来确定选择顺铣还是逆铣。

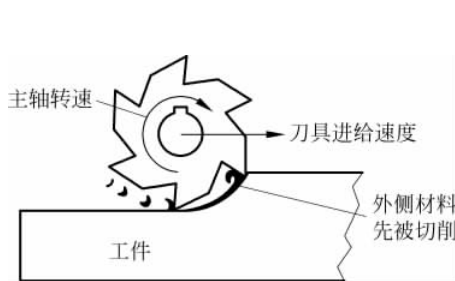


图 3.30 顺铣

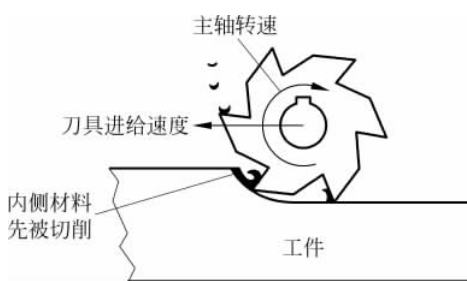


图 3.31 逆铣

## 3.11 数控操作的切削液

### 1. 切削液的功能

用数控机床切削金属时,多数情况下都需要使用切削液。在切削过程中,切屑是通过刀具的剪切运动来去除的。在这个剪切过程中,由于金属的塑性变形及刀具的滑动摩擦,将会产生大量的热量。在这种高温条件下,金属切屑又将被焊在刀具切削刃上,这种现象被称为积屑瘤 (Built-up Edge, BUE),从而导致切屑刃钝化,如图 3.32 所示。

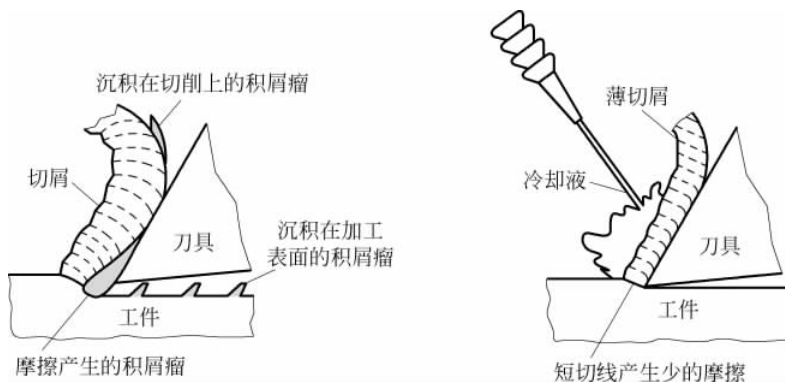


图 3.32 切屑的形成

积屑瘤除了使刀具性能大幅下降外,还会使刀具过快磨损、降低表面精度,甚至在刀具表面形成凹坑。如果使用切削液,则可避免这些问题。切削液的主要功能如下:

- (1) 冷却、润滑刀具和工件。
- (2) 预防积屑瘤的产生,以免造成刀具磨损。
- (3) 切屑更薄,所需机床功率更小。
- (4) 可以提高刀具的切削速度和深度。
- (5) 冲走切屑。
- (6) 防止机床表面腐蚀或氧化。
- (7) 确保良好的表面加工质量。

## 2. 切削液的类别

水基切削液和油基切削液是最为常见的两种切削液,它们又可细分为以下四种类型:

(1) 未经稀释的纯油:由100%的矿物油组成,一般含有如脂肪或植物油的极低润滑剂,以及如氯、硫、磷等极压添加剂。这种切削液的润滑性能较好,但冷却性能很差。

(2) 可溶性油:用水稀释后形成的乳化液,浓度一般为3%~10%,应用最为广泛,价格也很低,有较好的润滑性能和冷却性能。

(3) 半合成水基切削液:由全合成切削液和可溶性油混合而成,且兼有上述两种切削液的特点,其润滑性能与冷却性能也介于两者之间。

(4) 全合成切削液:由碱性无机物、有机化合物以及防腐蚀添加物混合而成,通常需要加水稀释,浓度一般为3%~10%,润滑性能与冷却性能在所有切削液中是最好的。

## 3. 切削液的施加方法

数控加工时切削液的施加方法有很多,其中应用最为广泛的一种方法是浇注法,即向刀具和工件浇注切削液,如图3.33所示。切削液是由泵来输送的,使用过后的切削液经滤掉切屑后再送回到泵站中以便重复利用。泵的出口需配备两个或两个以上的喷嘴,其中一个将切削液引向切削处,另一个作为辅助冷却并冲刷切屑。

此外,切削液的施加方法还可以采用喷雾冷却法,即用一个小喷嘴将可溶性油基切削液或混相合成切屑液以雾化小液滴的形式喷到切削区域,在高温下迅速汽化,吸收大量热量,从而获得良好的冷却效果。相对于油基切削液,喷雾冷却法更倾向于使用合成水基切削液,因为油雾对健康的影响较大,且易堵塞。喷雾冷却法尤其适用于切屑速度较高、切削区域较小的立铣削加工。



图 3.33 铣削加工时切削液的施加

## 4. 切削液的维护保养和排污处理

切削液的维护保养需要做好以下几点:

- (1) 用PH试纸或光学折射计检测可溶性乳化油液的浓度是否合适。
- (2) 检查数控机床泄漏到切削液中的油污量,检查从切削液中取出的工件的表面情况。
- (3) 加溶质或水来维持合适的切削液浓度。
- (4) 除去切削液表层漂浮的油污,添加抗菌素以防切削液中滋生细菌。
- (5) 用离心机去除微小的金属杂质。

最后,废弃切削液必须经过净化处理后方能排放,具体净化处理方案可参见切削液生产厂家所提供的化学品安全技术说明书(Material Safety Data Sheet,MSDS)。

### 3.12 本章小结

本章所讨论的主要内容归纳如下:

- (1) 孔加工的主要方法有钻孔、镗孔、铰孔、攻丝、扩孔和铰孔等。
- (2) 由于麻花钻在切削阻力的影响下会变形,所以应使用尽量短的钻头。
- (3) 中心钻用于孔加工的预制精确定位,引导麻花钻进行孔加工,减小误差。
- (4) 扁钻和硬质合金镶嵌刀片式钻头钻孔时的进给速度通常高于麻花钻。
- (5) 使用扁钻、硬质合金镶嵌刀片式钻头,数控机床必须有足够的刚性、主轴功率和高压冷却系统。
- (6) 立铣刀可用于轮廓铣削、粗钻、镗孔和铰孔。
- (7) 刀具的切削速度是该旋转刀具切削刃上任一点的线速度。
- (8) 刀具的进给速度是指刀具切入材料的速度,单位为英寸每分钟(in./min)。
- (9) 进给速度和切削速度是决定刀具寿命和切削性能的两个主要因素。
- (10) 顺铣时的进给方向与刀具旋转方向相同,一般用于数控机床上的粗加工和难夹紧工件的加工。
- (11) 逆铣时的进给方向与刀具旋转方向相反,一般建议用于精加工和有硬化外层材料的加工。
- (12) 切削液广泛应用于数控金属切削加工,以减少刀具磨损、提高刀具的切削性能。
- (13) 切削液的正确使用和合理处理方法需参见切削液生产厂家所提供的材料化学品安全技术说明书(MSDS)。

### 习题 3

3.1 请说明麻花钻下列各部分的功能:

- a. 刀槽
- b. 横刃
- c. 刀刃

3.2 a. 中心钻的主要用途是什么?

b. 为什么需要使用中心钻?

3.3 a. 在数控机床使用丝锥时建议配备的丝锥附属件是什么?

b. 数控机床加工盲螺纹孔一般用什么类型的丝锥?

c. 数控机床加工通螺纹孔一般用什么类型的丝锥?

3.4 请说明使用扁钻的优缺点。

3.5 为什么说钻头的长度和直径之比会影响孔加工精度?

3.6 对于一种特定材料的加工,影响刀具寿命和切削效率的两个主要参数是什么?

3.7 请阐述下列类型的铣削加工:

- a. 轮廓铣削

## b. 面铣削

3.8 a. 中心立铣刀端刃的特征是什么？

b. 请列出三种不能使用普通立铣刀,而只能使用中心立铣刀才能完成的加工类型。

3.9 试说出使用硬质合金刀片铣刀的优缺点。

3.10 使用氮化钛涂层刀具的优点是什么？

3.11 a. 什么是顺铣？

b. 请列举出适用于顺铣的两种情况。

3.12 a. 什么是逆铣？

b. 请列举出适用于逆铣的两种情况。

3.13 什么是积屑瘤？

3.14 请说出使用数控加工切削液的七个理由。

3.15 对于四种类型的切削液,完成以下表格。

| 类 型 | 组 成 | 润 滑 | 冷 却 |
|-----|-----|-----|-----|
|     |     |     |     |
|     |     |     |     |
|     |     |     |     |

3.16 切削液的维护保养应做好哪五件事？

3.17 化学品安全技术说明书(MSDS)的意义是什么？