

浅析顺铣与逆铣

北方机器有限责任公司 (黑龙江齐齐哈尔 161000) 刘德胜 田玉奇

在现代加工技术中,常常可以看到顺铣与逆铣。由于各种图书的侧重点不同,所以关于顺铣与逆铣的定义也各不相同。同时各单位对于顺铣与逆铣的反应情况也不尽相同。下面介绍一下我对顺铣与逆铣的一些经验供大家参考。

1. 顺铣与逆铣的定义

在机械加工中,力的分析是必不可少的。在一些资料中也可查到一些机械加工术语的定义都离不开力。因此,我认为顺铣与逆铣的定义也应从力学方面定义。

(1) 顺铣 在工件的切削部位,刀具施加给工件的力 $F_{\text{合}}$ 在机床工作台运动方向上的分力 $F_{\text{工}}$ 与机床工作台施加给工件的力在机床工作台运动方向上的分力 $F_{\text{台工}}$ 方向相同,即为顺铣。其表现形式为(见图1):在已加工表面与过渡加工表面的相交处刀具的切削运动方向和工作台相对移动方向相同(工件与工作台之间无位移)。切屑由厚变薄(可形象理解为刨)。在机床主轴正转,切削工件外轮廓时,绕工件外轮廓顺时针走刀即为顺铣;切削工件内轮廓时,绕工件内轮廓逆时针走刀即为顺铣;在机床主轴反转,切削工件外轮廓时,绕工件外轮廓逆时针走刀即为顺铣;切削工件内轮廓时,绕工件内轮廓顺时针走刀即为顺铣。相对工件的运动方向,刀具的切入角不等于零,刀具的切出角等于零。

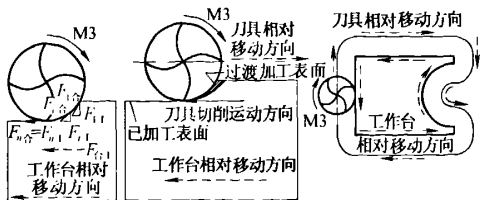


图1 顺铣

(2) 逆铣 在工件的切削部位,刀具施加给工件的力 $F_{\text{合}}$ 在机床工作台运动方向上的分力 $F_{\text{工}}$ 与机床工作台施加给工件的力在机床工作台运动方向上的分力 $F_{\text{台工}}$

方向相反,即为逆铣。其表现形式为(见图2):在已加工表面与过渡加工面的相交处刀具的切削运动方向和工作台的移动方向相反(工件与工作台之间无位移),切屑由薄变厚(可形象理解为挖)。在机床主轴正转,切削工件外轮廓时,绕工件外轮廓逆时针走刀即为逆铣;切削工件内轮廓时,绕工件内轮廓顺时针走刀即为逆铣;在机床主轴反转时,切削工件外轮廓时,绕工件外轮廓顺时针走刀即为逆铣;切削工件内轮廓时,绕工件内轮廓逆时针走刀即为逆顺铣。相对工件的运动方向,刀具的切入角等于零,刀具的切出角不等于零。

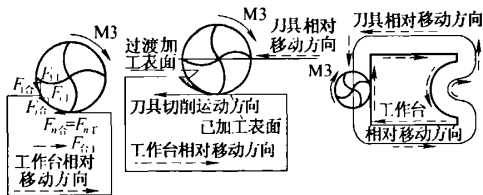


图2 逆铣

2. 顺铣与逆铣对切削的影响

在不考虑机床主轴刚性的情况下,机床间隙与切削加工时刀具所产生的弹性弯曲变形最终都会反应在工件上。所以必须清楚地了解顺铣与逆铣对切削的影响。

由于普通机床的各传动轴之间是采用丝杆螺母进行传动的,所以间隙较大,在机械加工中必须予以考虑;而数控机床的各传动轴之间是采用滚珠丝杠进行传动的,所以间隙较小,在机械加工中可忽略不计。下面主要从数控方面介绍一下顺铣与逆铣对切削的影响:由力的相互作用原理可知,工件施加给刀具的力 $F_{\text{工刀}}$ 与刀具施加给工件的力 $F_{\text{刀工}}$ ($F_{\text{刀工}} = \sum_n F_{\text{合}}$) 大小相等,方向相反。见图3。

当采用顺铣时

$$\vec{F}_{\text{工刀}} = \vec{F}_{\text{工}} - \vec{F}_{\text{推}}$$

当采用逆铣时

$$\vec{F}_{\text{工刀}} = \vec{F}_{\text{压}} + \vec{F}_{\text{弹}}$$

式中 $F_{\text{工刀}}$ ——刀具所受的力

$F_{\text{弹}}$ ——刀具的弹性变形力

$F_{\text{压}}$ ——施加给刀具的压力

在切削时会产生让刀现象，即切削时出现“欠切”；而用立铣刀逆铣时，刀具在切削时会产生啃刀现象，即切削时出现“过切”。而“欠切量”或“过切量” f 的大小是由刀具材料、刀具直径、刀杆伸出长度及所受压力共同决定的（见图4）。

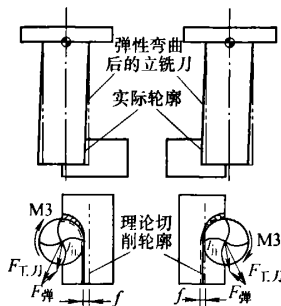


图3 顺铣、逆铣对切削的影响



图4 刀具弹性变形的力学模型

$$f = \frac{Fa^2}{6EI}(3L - a)$$

式中 f ——过切量或欠切量

F ——刀具的弹性变形力的反作用力

a ——力到刀具装夹点的距离

L ——刀长

E ——刀具材料的弹性模量

I ——刀具的惯性矩

由上式可知，为了避免过切或欠切，在选择刀具时，从提高生产率、减小刀具弹性弯曲变形的影响这些方面考虑，应选大的直径，但需满足 $R_{jj} < R_{\text{轮廓min}}$ ；在装刀时刀杆尽量伸出短些。

但是，从编程方面考虑，为了编程及设置参数的方便，粗加工应采用顺铣；而半精加工或精加工，由于切削余量较小，切削力使刀具产生的弹性弯曲变形很小，所以既可以采用顺铣，也可以采用逆铣。

从表面质量和使用效果方面考虑，在挤压和摩擦的作用下，使已加工表面层内的金属晶粒产生扭曲、挤紧和破碎，经过严重塑性变形而使表面层硬度增高。金属材料经硬化后提高了屈服强度，但降低了材料的冲击切

度和疲劳强度，增加了材料的切削难度。在刀具状态良好的同样加工条件下，顺铣比逆铣产生的热量要大得多，且刀具与工件之间的力也大得多。因此，顺铣的加工硬化程度较高。

3. 铣削方式与刀具之间的关系

(1) 刀具材料对顺铣与逆铣的影响 当前使用的刀具材料分为四大类：工具钢（包括碳素工具钢、合金工具钢、高速钢）、硬质合金、陶瓷和超硬刀具材料。一般情况下，在刀具材料有足够的强度与韧性的条件下，尽可能有高的硬度与耐磨性。高耐热性是指在高温下仍能维持刀具切削性的一种特性。耐热性越好的材料允许的切削速度就越高。

工具钢属于低速加工范围内所使用的切削刀具，而硬质合金属于高速加工范围内所使用的加工刀具。

(2) 顺铣与逆铣对刀具的影响 在切削过程中产生的一个重要物理现象是切削热与切削温度。由于切削热引起切削温度升高，使工件和机床产生热变形，降低了零件的加工精度和表面质量。切削温度又是影响刀具寿命的主要因素。

在切削加工中，由于切削变形和摩擦而产生热量，其切削热 Q 值可从下式求得：

$$Q = F_c v_c$$

切削热 Q 向切屑、刀具、工件和周围介质中传播，它最终由切削温度来体现，因此，通过测量切削温度来度量切削热。

根据实验测得：刀-屑接触面间摩擦大，热量不易传送，故温度最高；切削区域的最高温度点在前面上近切削刃处，最高温度约为 900°C 。

在热量传散不理想的情况下，刀具在高温条件下切削时易发生相变磨损、粘结磨损、扩散磨损和氧化磨损。因为顺铣比逆铣所受的摩擦力要大得多，所以，顺铣所产生的切削热 Q 要比逆铣的多。

在切削条件相同的情况下，若冷却效果不理想，则顺铣时刀具易磨损；逆铣时刀具则相对不易磨损。若冷却效果较理想，则顺铣、逆铣时刀具磨损的程度相差不大，可忽略不计。

热量散热的比例与切削速度有关，切削速度增加时，摩擦生热增多，切屑带走的热也增多，在刀具中热量减少，留在工件中热量更少。工件材料的不同对于切

