

# 大进给铣削

## High Feed Milling

美国 ATI Stellram

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司

美西航空中国有限公司

方向东 左旭辉

王子豪

薛建

随着航空业对难加工材料(例如:钛合金)需求的增加,刀具制造企业也在改进设计和制造工艺,力求改进的刀具可以节省切削时间和提高加工效率。

近几年在难加工材料的粗加工中,通过提高切削进给量,用底刃切削的大进给铣刀越来越受欢迎。大进给铣削的基本原理是通过改变刀具的主偏角而形成更薄的切屑,因此具有以下优点:  
(1)加大切削刃和零件的接触线长度,降低刃口的应力,因而提高刀片寿命。(2)减少径向切削力,减少振动和主轴偏移,保证刀片与零件的稳定接触。(3)提高进给速度,从而提高金属去除率。

### 大进给铣削的基本原理

图1显示的是大进给铣刀刀片与其他4种常见的铣削加工刀片的对比。例1~4是常见的4种平面加工刀片。例5

为一个具有大圆弧切削刃的大进给铣刀刀片。5种刀片具有同样的内切圆半径( $I_C = 9.525\text{mm}$ )。图1中A列为5种铣刀片的主偏角角度  $K_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ),对于平行四边形刀片  $K_1 = 90^\circ$ ,对于方形刀片  $K_2 = 45^\circ$ ,对于六边形刀片  $K_3 = 30^\circ$ ,对于圆形刀片  $K_4 = 23.4^\circ$ ,对于大进给刀片  $K_5 = 12^\circ$ 。像第4和第5例中的弧形切削刃的

主偏角可用下面的公式表示:

$$K = \frac{1}{2} \cos^{-1} \left( \frac{R - doc}{R} \right) \quad (1)$$

其中,  $doc$  是切削深度(图1中选用  $1.5\text{mm}$ ),  $R$  是切削刃的曲率半径(圆刀片为  $R = I_C/2$ ,大进给刀片为  $R=17.35\text{mm}$ )。图1中B列假设所有5种刀片采用同样的进给率( $F_z$ )和同样的切深。在此条件下所获得的平均切屑厚度  $T_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ),与每齿进给量  $F_z$  的关系,可用下面公式近似计算:

$$T_i = \sin(K_i) \cdot F_z \quad (2)$$

显然主偏角  $K_i$  越小,平均切屑厚度  $T_i$  越薄。图1中C列为使用大进给铣刀(例5)的等同进给量  $F_{z-HF}$ ,其计算是按照等同于其他铣刀(例1~4)所获得的平均切屑厚度,计算公式如下:

$$F_{z-HF} = \frac{T_i}{T_5} \cdot F_z = \frac{\sin(K_i)}{\sin(K_5)} \cdot F_z \quad (3)$$

如果我们将平行四边形(例1)刀片与大进给刀片作比较,大进给铣刀可将进给率提高到近5倍,而其平均切屑厚度和平行四边形刀片的一样。这样的话,即使在使用较小的切深时(如从  $1.5\text{mm}$  降到  $1\text{mm}$ )依然可以降低加工时间。最后,D列的  $L_e$  为刀片切削刃与工件的切削接触长度,公式(4)为直线切削刃,公式(5)为弧线切削刃。

$$L_e = \frac{doc}{\sin(K_i)} \quad (4)$$

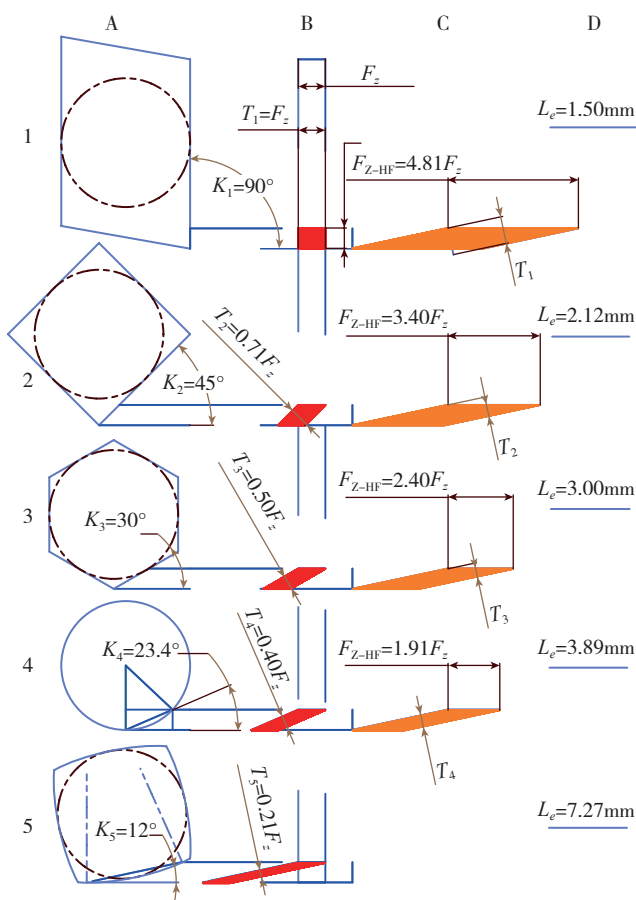


图1 大进给铣削的原理示意图

$$L_e = \frac{\pi \cdot R}{180} \cos^{-1} \left( \frac{R - doc}{R} \right) \quad (5)$$

从 D 列中很明显可看出,大进给刀片具有最长的切削刃接触长度从而减小切削应力并提高刀片寿命。

## 大进给铣刀在铣削加工中的应用

现在市场上有各种不同形式的大进给铣刀设计,但都采用上述的基本原理以减小平均切屑厚度来提高切削进给量。ATI Stellram 拥有多项大进给铣刀专利技术(美国 US7,220,083; US7,600,952; US7,806,634; 世界 WO05039811; 欧洲 EP01689548; EP01897643; 中国 CN ZL200480035676.9.),其大进给铣刀刀片具有独特的切削刃设计:其一,凸型刃口大圆弧(类似图 1 中的例 5),其二,垂直于刀具主轴线的修光刃。这种专利设计的切削刃使加工过程平稳流畅并可以提高被加工工件表面质量。

更进一步,ATI Stellram 的另一项专利技术(美国 US7,244,519; 欧洲 EP01786954.)是由独特的钨/钼合金基体材质配制的 X- 材质,可以大大提高刀片的抗热裂性和抗裂纹扩展性。ATI Stellram 的大进给铣刀片配以 X- 材质在加工难加工材料方面能够提高金属去除率,提高刀具寿命和改善加工表面质量。这已得到实际的证明。此外,ATI Stellram 的大进给铣刀由于其独特的切削刃设计除了可以进行一般的面铣加工外,还可以进行坡铣、插铣、挖型腔和孔加工(基于圆弧插补方法)。

表 1~3 列出了 ATI Stellram 大进给铣刀在加工航空工业材料与其他刀具对比数据。表 1 是 ATI Stellram 大进给铣刀用 XELT160512ER-D41 SP6519 刀片与其他刀具在加工飞机起落架时的对比数据,被加工材料为 Ti1023,硬度 HRC35。表 2 为 ATI Stellram 大进给铣刀用 XDLT120512ER-D41 X500

表 1 大进给铣刀案例 1

	竞争对手 1	ATI Stellram®
铣刀直径/mm	85	80
齿数	5	6
刀片切削刃数	3	4
切削线速度/(m·min <sup>-1</sup> ), 主轴转速/(r·min <sup>-1</sup> )	43, 160	40, 160
每齿进给量(F <sub>z</sub> )/mm	0.43	0.45
每分钟进给量(F <sub>m</sub> )/(mm·min <sup>-1</sup> )	350	430
切深/切宽/mm	1.5/70	2.5/70
刀具寿命(有内冷)	一次装夹可加工零件的一半(15min时崩刃)	一次装夹可加工整个零件(30min)
金属去除率/(cm <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	36.75	75.25

表 2 大进给铣刀案例 2

	竞争对手 2	ATI Stellram®
铣刀直径/mm	52	52
齿数	3	5
刀片切削刃数	4	4
切削线速度/(m·min <sup>-1</sup> ), 主轴转速/(r·min <sup>-1</sup> )	30, 185	35, 215
每齿进给量(F <sub>z</sub> )/mm	0.3	0.35
每分钟进给量(F <sub>m</sub> )/(mm·min <sup>-1</sup> )	170	375
切深/切宽/mm	1.5/52	1.5/52
刀具寿命(有外冷)	一次装夹可加工 1 个零件	一次装夹可加工 2 个零件
金属去除率/(cm <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	13.26	29.25

表 3 大进给铣刀案例 3

	竞争对手 3	ATI Stellram®
铣刀直径/mm	25	63
齿数	2	5
刀片切削刃数	2	4
切削线速度/(m·min <sup>-1</sup> ), 主轴转速/(r·min <sup>-1</sup> )	251, 3200	791, 4000
每齿进给量(F <sub>z</sub> )/min	0.2	1.4
每分钟进给量(F <sub>m</sub> )/(mm·min <sup>-1</sup> )	1280	28000
切深/切宽/mm	9/25	2.4/63
金属去除率/(cm <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	288	4234

刀片与其他刀具在加工飞机起落架时的对比数据,被加工材料为 Ti5553,硬度 HRC40。

另外,在航空铝合金的加工中,由于一些机床的主轴转速限制,无法继续提高金属去除率时,大进给铣刀也是一个不错的选择。表 3 是 ATI Stellram 大进给铣刀在加工铝合金 T7050 时的参数。案例中使

用了大前角设计的铝合金专用刀片 XDLT120508ER-D721 GH2。

总之,大进给铣刀通过改变主偏角使切屑变薄来提高切削进给量,从而提高金属去除率,降低径向抗力,降低主轴振动。在难加工材料的粗加工中,选择大进给铣刀可提高质量和加工效率。

(责编 小城)