整体立铣刀的合理选用

第3讲 立铣刀刀齿数、螺旋角、分屑槽的选用

东华大学机械工程学院 （上海 200051） 章宗城

1. 铣刀的刃齿数

立铣刀刃齿一般有2齿、4齿、6齿；6齿用的较少，最近又增加有3齿的。一般刃齿数愈多，容屑槽减小，心部实体直径增大，刚性更高。但排屑性渐差，故一般刃齿数少用于粗加工、切槽。刃齿数多用于半精加工、精加工、切浅槽（图19）。最近各大刀具公司推出3齿立铣刀，互相展开竞争。

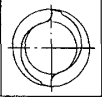
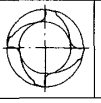
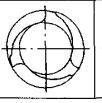
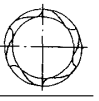
用途	通用	通用	难削材、软质材用	高硬度材用
刃齿数	2齿	4齿	3(4)齿	6齿
形状				

图19 不同刃齿数的立铣刀

3齿立铣刀的推出，这是因为 $f=f_z\times z\times n$。

如 $n=5000\text{r/min}$ $f_z=0.1\text{mm/z}$ 时，

2刃每分进给量 $f=0.1\times2\times5000=1000(\text{mm/min})$

3刃每分进给量 $f=0.1\times3\times5000=1500(\text{mm/min})$

生产效率提高50%

若切削长度一定（$L=1000\text{mm}$），同样的每齿进给量，3齿立铣刀的每齿切削次数减少了，即循环疲劳负荷减少了，寿命当然可高出许多。

2刃切削接触次数 $=1000\div2\div0.1=5000$（次/z）

3刃切削接触次数 $=1000\div3\div0.1=3333$（次/z）

在加工斜倾角较大的型面，若以 $n=5000\text{r/min}$，$f=1000\text{mm/min}$，切削条件加工：2刃时，$f_z=1000\div2\div5000=0.1$（mm/$z$）。刀刃发生缺损，故需降低每齿进给量。但若使用了3刃立铣刀，$f_z=1000\div3\div5000=0.067$（mm/$z$），保证了生产率，又可能不损伤刀刃完成加工。

另外从降低加工表面粗糙度值方面来看，3刃比2刃也要好，若每分钟进给量、转速一定。$f=f_z\times z\times n$

2刃时 $f=f_{z2}\times2\times n$ $f_{z2}=f/2n$

3刃时 $f=f_{z3}\times3\times n$ $f_{z3}=f/3n$ $f_{z3}<f_{z2}$

理论加工粗糙度高度计算式 $H_{max}\approx\frac{f_z^2}{8r}$（$r$ 为刀尖圆角半径）

f_z 代入 f_{z2}、f_{z3} 后可知 $H_{3max}<H_{2max}$

另外在低速加工时（即机床功能较差，刀具伸出长度较长时），此时，刀具转速若降低为3000r/min，$f_z=0.1\text{mm/z}$。

2刃时，$f=0.1\times2\times1000=200$（mm/min）

3刃时，$f=0.1\times3\times1000=300$（mm/min）

3刃生产效率提高1.5倍，保证要求的生产周期。

但3齿较2齿立铣刀在粗加工切槽时，由于同时接触刃齿数量多而较2齿切削阻力大，中心部切屑排出性能也比2齿差，球头立铣刀磨损时，3齿比2齿的中心刃重磨难。

以上3齿的优点与缺点在使用4齿立铣刀中当然更进一步表现出来，一定的每齿进给量4齿生产效率更高，一定的切削长度刀齿寿命更长，一定的每齿进给量表面粗糙度值更低等。

当然由于同时参与，齿数多切削阻力更大。球头立铣刀时，4刃立铣刀的中心刃处排屑更难，各大公司亦有4刃立铣刀中心刃设计制造为2刃，设计特殊形状的螺旋槽等来改进。

2. 立铣刀的螺旋角

立铣刀的螺旋角 $\theta=0°$ 时，为直刃立铣刀。$\theta\neq0°$ 时，为螺旋刃立铣刀。

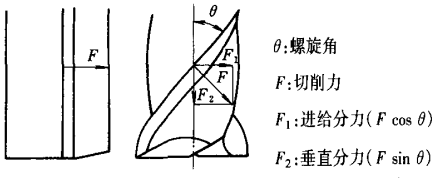


图20 直刃与螺旋刃立铣刀

直刃加工时，切削刃全部同时切入工件，同时离开工件，这样反复作用加工。易引起振动缺损，加工表面质量不佳。作用在刀刃上的切削力作用在同一方向上，使刀具弯曲，故壁面加工精度差。

螺旋刃加工切入工件时，刀刃上某点其受力位置随刀具回转而变化。结构上难以引起振动，作用在刀刃上的切削力垂直于螺旋角方向，并分解为垂直分力与进给分力，使刀具弯曲的进给分力减小了，故壁面加工精度好。

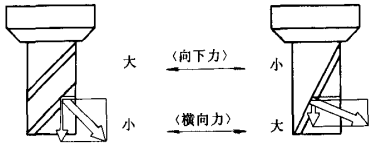


图 21　螺旋角大小与受力情况

螺旋角的选择，螺旋角与切削振动、磨损、加工精度有关，一般螺旋角大好。其理由是螺旋角越大参与切削长度越长、切削力在长切刃上被分散之故（图 21）。但是螺旋角也不是越大越好。螺旋角大垂直于刀具分力就大，就不适合加工刚性差的工件。还有切屑排出性也变差了。

碳素钢、合金钢、预硬钢、不锈钢、铸铁、铝合金、纯铜和塑料等加工第 1 推荐用 45°螺旋角，第 2 推荐 30°螺旋角。钛合金、镍合金、不锈钢等难切削材料和高硬度钢等加工推荐用 60°螺旋角。图 22 为螺旋角与立铣刀磨损影响关系及其试验条件。

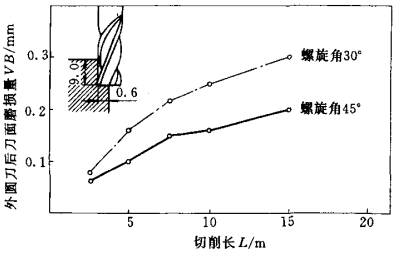


图 22　螺旋角与立铣刀磨损

被切削材料：S50C（248 HB）；使用工具：ϕ6mm、4 刃、硬质合金；切削条件：v = 30m/min、n = 1600r/min、f_z = 0.04mm/z、f = 25mm/min、轴向的背吃刀量 = 9.0mm、径向的侧吃刀量 = 0.6mm；顺铣切削油剂：化学溶剂 20 倍水溶液。

图 23 为螺旋角对切削振动影响关系及其试验条件。

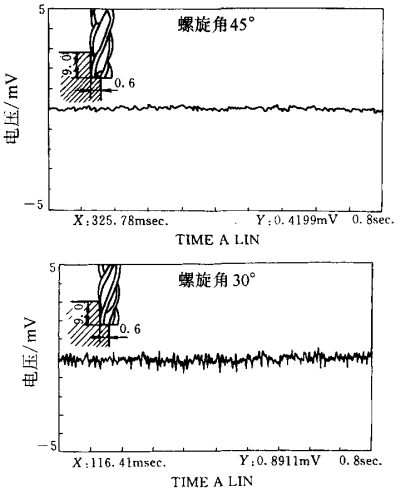


图 23　螺旋角与切削振动

被切削材料：S50C（HB248）；使用工具：ϕ6mm、4 刃、硬质合金；切削条件：v = 30m/min、n = 1，600r/min、f_z = 0.04mm/z、f = 25mm/min、轴向的背吃刀量 = 9.0mm、径向的侧吃刀量 = 0.6mm、顺铣。

图 24 为螺旋角大小对轴向、进给方向加工表面粗糙度、壁面斜倾度影响关系及试验条件。

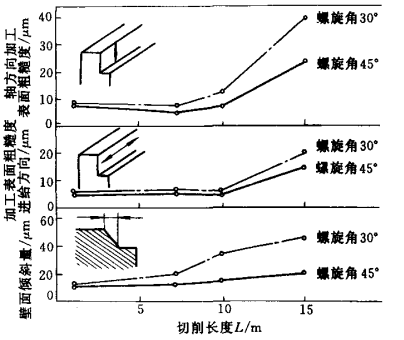


图 24　螺旋角大小对表面粗糙度壁面倾斜量影响

被切削材料：S50C（248 HB）；使用工具：ϕ6mm、4 刃、硬质合金；切削条件：v = 30m/min、n = 1600r/min、f_z = 0.04mm/z、f = 25mm/min、轴向的背吃刀量 = 9.0mm、径向的侧吃刀量 = 0.6mm、顺铣；切削油剂：化学溶剂 20 倍水溶液。

图 25 为螺旋角大小对加工精度影响关系及其试验条件。

由图 22、23、24、25 可知螺旋角大，加工表面粗糙度、壁面倾斜量、壁面垂直度、刀具磨损、切削振动均有改善。为进一步减振防振，尚可选用双螺旋角，即不等导程立铣刀（图 26）。

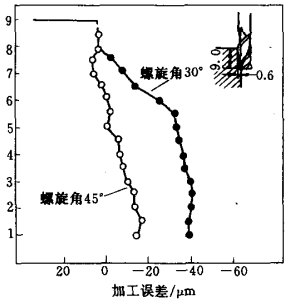


图 25 螺旋角与加工精度（壁面垂直度）

被切削材料：S50C（248 HB）；使用工具：一般用 2 刃立铣刀 ϕ6mm，SED2060S（螺旋角 30°），SEE2060S（螺旋角 45°）；切削条件：切削速度 v = 60m/min、转速 n = 3.183r/min、每刃进给量 f_z = 0.04mm/z、工作台进给量 = 255mm/min、轴向背吃刀量：9.0mm、侧吃刀量：0.6mm、顺铣、切削长度 = 0.2m；湿式切削（水溶性切削液）。

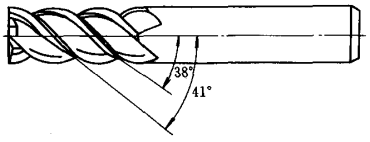


图 26 不等导程立铣刀

具有多个螺旋角的立铣刀因使产生振动的节拍改变故可防振。特别在铝合金切削时防振效果明显。

对螺旋角全面归纳，合理选用可参考表 4 螺旋角选用表。螺旋角对刀具寿命、加工精度等有较大影响。

3. 按粗、精加工对立铣刀分类

以上几种从不同刀具材料、不同的头形精度、不同的刀齿数、不同的螺旋角对立铣刀分类。都实际联系到了不同的选择可加工出不同的精度，反过来按精度要求可选择以上各参数。如选刚度高，耐磨性好，适宜高速加工的刀具材料，达到 ±0.01 ~ ±0.005mm 的 R 精度，直径精度高，形状精度高，刀齿数多，螺旋角大的立铣刀，适宜精加工、半精加工。反之，则用在粗加工。但这里特别介绍一种高效的粗加工立铣刀亦称苞米铣刀或分屑式立铣刀如图 27。

表 4

项目	螺旋角	标准螺旋角 30°	不等升角 38°，34°	强螺旋角 45°	超强螺旋角 60°
切削力	进给抗力 主切削力	○	◎	◎	◎
	背向力	○	◎	◎	

（续）

项目	螺旋角	标准螺旋角 30°	不等升角 38°，34°	强螺旋角 45°	超强螺旋角 60°
加工精度	表面粗糙度	○	◎	◎	◎
	波度	○	○	○	
	壁面垂直度	◎	◎	◎	○
寿命	后刀面磨损	○	○	◎	◎
	折损	◎	◎	◎	◎
加工形态	侧面加工	○	◎	◎	◎
	壁面精加工	◎	◎	◎	
	深槽	○	○	○	
	浅槽	○	◎	◎	
	孔、沉孔	◎	○		
被切削材料	碳素钢/合金钢 179 ~ 380HB	◎	◎	◎	○
	预硬钢 35 ~ 45HRC	○	◎	◎	○
	淬火钢 45 ~ 60HRC			○	◎
	不锈钢		◎	◎	
	铸铁	◎	◎	◎	
	铝合金		◎	◎	
	纯铜·钢合金		◎	◎	
	石墨	◎	◎		

注：◎非常好 ○良好

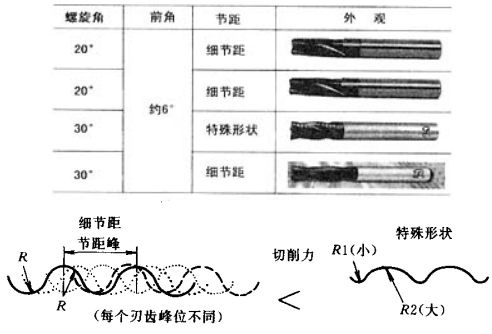


图 27 几种带分屑槽粗加工立铣刀

带有分屑槽的粗加工立铣刀，由于切屑被碎断，切削力很低，通常切削力比较如下：

可转位刀片立铣刀 > 通用整体立铣刀 > 大螺旋角立铣刀 > 分屑粗加工立铣刀。

这种刀具可以用高速钢、硬质合金等制造，可以加各种涂层。它通常是 4 ~ 6 槽，螺旋角一般 20° ~ 30°，分屑节距有粗有细，还有特殊形状的，前角一般为 6°，为提高粗加工切削效率可选用它。

这种刀具特别适用于工件刚性差（薄壁），不能承受大夹紧力工件的加工，适用于机床刚性差，转数不能高，但想加大背吃刀量提高效率时，也适用铝、铜等材料的高效粗加工。有 AlTiN 等涂层的尚可加工难加工材料与高硬度材料。（全文完）

（收稿日期：20041129）