模具加工用数控铣刀

哈尔滨理工大学 （黑龙江 150080） 刘献礼 赵兴法

现代模具制造业的发展与高速数控加工密切相关，绝大部分模具是通过数控铣削加工来完成的。模具的粗加工，材料大多是22～38HRC钢材和铸铁，此阶段的加工要求金属去除率高，占机时间短；而半精加工和精加工主要针对模具钢、淬硬钢等硬度为50～60HRC的高硬度材料，这个阶段的加工要求获得较高的表面质量来减少后续的修磨时间。由于模具不同部位的型面特征及材料有较大的差别，所以使用的数控模具铣刀也不同。典型模具的加工中可能会采用多达十余种铣削刀具，如图1所示。

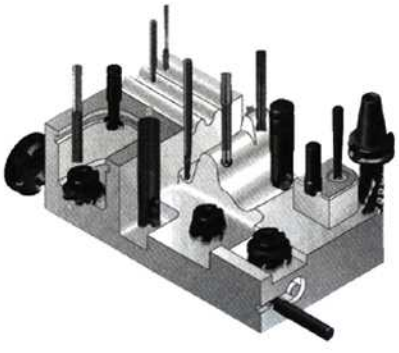


图1 不同类别数控模具铣刀

数控模具铣刀的发展既依赖刀具材料和涂层技术的进步，同时刀具的结构创新也是提高刀具切削性能的有效手段。下面分别从刀具材料、涂层性能以及刀具结构方面对模具铣刀进行介绍。

1.不同材料的数控模具铣刀特性

切削加工生产率和刀具寿命的高低、刀具消耗和加工成本的多少、加工精度和表面质量的优劣等，在很大程度上都取决于刀具材料的合理选择。正确选择刀具材料在模具加工中至关重要，常用的刀具材料如图2所示。现代模具铣刀主要采用粉末高速钢（HSS-PM）、高性能高速钢（HSS-E）、硬质合金、CBN、陶瓷和金刚石等刀具材料。



图2 刀具材料分类

高速钢在模具铣刀中应用虽然仍很广泛，但模具铣刀首选材料应是硬质合金。硬质合金主要由硬质碳化物组成，属脆性材料，硬度比高速钢高得多，一般为89～93HRA，具有良好的导热性。在模具铣削中，不同模具合金刀具材料的选择如表1所示。

当前切削刀具材料的发展，为加工的需要创造了比较好的条件，除了高速钢、硬质合金以外，陶瓷、金属陶瓷及超硬材料的发展起到了重要的作用，特别是陶瓷和超硬材料，对模具高效高速加工的发展提供了有力的支持。

金属陶瓷和陶瓷刀具具有硬度高、耐磨性好、耐热性和化学稳定性优良等优点，且不与切屑粘接，已成为高速切削和加工难加工材料的主要刀具之一。随着现代陶瓷刀具的抗弯强度、断裂韧度和抗冲击性能的大幅度提高，也出现了一系列新型陶瓷刀具材料，如纳米复合陶瓷刀具、晶须增韧陶瓷刀具、梯形功能陶瓷刀具、粉末涂层陶瓷刀具和自润滑陶瓷刀具等，对于灰铸铁、球墨铸铁、淬火钢和未淬硬的耐热合金等难加工材料特别适合。

表1 模具加工中合金刀具材料的选用

分类	制成品	适用材质				
		耐磨损用合金	耐冲击用合金	隔热用合金	超微粒子合金	非磁性用合金
		D1 D2 D3 G5 KG60	MH4 MH7 GD174 GD201 GD206	MH4 MH7 DHR	FB10 FB20	HX100
锻模	冷锻模/冲头		✓			
	热锻模		✓	✓		
成型模挤出加工模	成型模	✓				
	挤压模	✓				
	弯板模	✓				
	热挤模		✓	✓		
	芯棒	✓	✓			
	高速冲压模	✓	✓			
压型模	粉末成型模	✓			✓	✓
拉深模	圆形拉深模	✓				
	异形拉深模	✓	✓			
	拉管模	✓				
	塞柱	✓				

CBN是继人造金刚石之后出现的第二种无机超硬材料。CBN材料硬度高，但韧性差，需对刃口进行处理以防止崩刃。CBN的主要特点是高硬度和耐磨性，在切削耐磨材料时耐磨性为硬质合金的50倍，为陶瓷刀具的25倍。PCBN尤其适用于以前只能磨削的高硬度材料，实现“以车代磨”，并且CBN的化学稳定性和导热性都较好。

金刚石是目前已知矿物材料中硬度最高、热传导性最好的物质，与各种金属、非金属材料配对摩擦的磨损量仅为硬质合金的1/50～1/800，是制作切削刀具最理想的材料。金刚石刀具的切削刃非常锋利，刃部表面粗糙度值很小，摩擦系数又低，切削时不易产生积屑瘤，加工表面质量高，加工有色金属时，表面粗糙度值R_a=0.012μm，加工精度可达到IT5级以上。然而，天然单晶金刚石仅用于制作首饰及某些有色金属的超精密加工。数控模具铣刀用人造大颗粒单晶金刚石尽管目前均已工业化生产，但还没有进入大量应用阶段。由于金刚石是碳的同素异性体且不耐高温，因此，金刚石刀具只能用来加工有色金属模具，不能加工钢制和铸铁模具。

2.不同涂层的模具铣刀特性

就表面技术在切削工具上的应用，PVD（物理气相沉积）、CVD（化学气相沉积）不断推陈出新，由单层发展成多层、千层和复合涂层，现在又发展成纳米涂层。涂层的材料，从TiN发展为Al_2O_3、TiC、ZrO_2等，根据加工的要求，为提高耐高温的性能，又发展了TiCN、TiAlN、TiSiN和CrSiN等；为了减少摩擦力，采用软涂层（如沉积MoS_2），当然这要根据被加工件的特点，分别应用在所需加工上。现在涂层技术又发展到了超硬涂层（类金刚石、金刚石、立方氮化硼），更使切削加工的范围拓宽，图3所示为涂覆不同涂层的刀具。



图3 涂覆不同涂层的刀具

随着薄膜涂层发展成为厚膜，从而具有异于金刚石的各向同性，现在已经在国内外得到应用，部分取代了天然金刚石，并且大颗粒单晶金刚石的合成技术也已解决，这些变化对我国的影响非常深远。我国已经是世界合成金刚石产量最多的国家，这有利于我国发展高效加工技术。

涂层刀具已成为现代切削刀具的标志，在刀具中的使用比例达到60%。涂层硬质合金刀具的产品现已呈现品牌化、多样化和通用化的趋向。例如，德国施耐尔（Schnell）公司用纳米技术推出的一种超长寿命LL涂层立铣刀，用其加工零件硬度超过70HRC淬硬模具钢材时，刀具寿命可延长2～3倍。瑞典Sandvik公司新推出的3种涂层刀片（GC4225、GC4240、GC1030）具有较广的通用性，GC4225作为GC4025（P25）牌号的升级产品，用其加工汽车曲轴钢锻件时寿命提高3倍。山高（Seco）Jabro全新推出的整体硬质合金通用加工铣刀Solid2系列刀具不仅采用了新材质，更导入新的涂层，可适用的加工温度由普通刀具的800℃提高到了现有的1 100℃，显著提高了加工效率和刀具寿命。美国Kennametal公司推出的H7刀片系TiAlN涂层，专为高速铣削合金钢、高合金钢和不锈钢而设计。而德国Guhring公司推出的商品名为“Fire”的孔加工刀具涂层，则是一种通用性的复合涂层——融汇有TiN、TiCN和TiAlN三种涂层，

兼具这三种涂层材料的优点，既适用于干切削和硬切削，也适合普通切削。

随着涂层技术的发展，刀具性能得到了显著改善，从而使得模具加工刀具的选择更加多样化，模具高效加工前景也更加广阔。

3.不同结构的模具铣刀特性

注重刀具的结构创新，往往是提高切削效率的更有效和更可行的手段。通过刀具结构创新实现高效切削是切削理念的又一次进步。不同的加工阶段采用不同的刀具结构，模具粗加工和精加工所采用的机夹式刀具如图4所示。



(a) 模具粗加工用刀具　　(b) 模具精加工用刀具

图4　适用于不同加工阶段的刀具结构

表2所示为适用于不同加工方式的铣刀结构选用优劣度，模具铣刀的发展必须注重刀具结构的创新。

表2 不同加工方式的数控模具铣刀选用

项目 \ 分类	可转位柳叶式球头铣刀	可转位圆刀片铣刀	大进给高效刀具	整体式（焊接）铣刀
刀片形貌				
三维加工	5	4	4	5
(1) 平面铣削	2	4	4	3
(2) 轮廓加工	4	5	5	4
(3) 仿形加工	5	2	2	5
(4) 倾斜加工	5	3	3	5
(5) 插入加工	4	2	2	4
(6) 深腔加工	3	4	5	3
刀杆、盘直径/mm	20～50	10～160	20～100	1～40
安装刃数/个	2	2～8	2～6	4～12
最大切深	最大刃长	刀片半径	1.2～2	5
编程难易度	5	4	3	5
刀片使用数量	2刃	圆刀片	3刃	2 (4) 刃
适用范围	全能的模具加工用刀，适应大切深，使用简便，最适合于冲压模加工	最适合于轮廓、型腔、等高线加工，最擅长于塑料模具、压铸模、锻造模和冲压模	擅长深腔铣削	种类齐全，可以重磨使用，根据不同的加工型面有不同的刀具材料和结构类型

注：5→1表示优→劣。

模具铣削加工所采用的立铣刀主要有以下三种类型：

(1) 整体式立铣刀　该种铣刀是指切削刃部分与刀柄由相同的材料制成，制造材料通常采用硬质合金或高速钢。因此有高速钢立铣刀和硬质合金立铣刀。高速钢立铣刀由于其加工效率低于硬质合金立铣刀，不适用于加工高硬度的工件，因此近年来使用率有所降低。而整体式立铣刀使用更加广泛且在使用磨损后，可以对外周刃和底刃进行重磨。

(2) 焊接式立铣刀　即在刀体上焊接了硬质合金刀片或CBN、PCD等的立铣刀。之所以使用焊接式立铣刀，是由于在直径较大情况下，如果切削刃与刀柄部分全部采用硬质合金或PCD来制造，其成本将大幅提高。

(3) 可转位刀片式立铣刀　该种铣刀通过夹紧螺钉或者压板来固定刀片，当刀片磨损或破损时，只需更换刀片即可再次使用，具有较高的经济性。

表3总结了适用于不同模具型面的不同结构的数控模具铣刀。

表3 适用于不同加工型面的数控模具铣刀

加工方式	刀具类别	刀具形貌	加工型面示例
粗加工系列	可转位柳叶球头铣刀		
	高速、大进给铣刀		
	可转位圆铣刀		
多功能系列	可转位钻铣刀		
	可转位端铣刀		
	八角刀		
辅助配置系列	玉米铣刀		
	刃背空档铣刀		
	倒角铣刀		
	T形槽铣刀		
精加工系列	可转位圆角端铣刀		
	可转位球头铣刀		

根据不同的模具型面特点，合理选用模具铣刀是模具加工的关键。正确合理的选择可大大提高模具铣削加工效率并减少刀具的浪费，降低生产成本。

3.模具铣刀实际应用问题及对策

数控模具制造中所使用的刀具刀片主要的故障情况是热断裂，然后是裂缝周围的腐蚀、轧件材料的堆积，最后是边碎裂。模具铣削加工过程中，由于刀具选择不当或者参数设定不合适，会出现各种各样的加工问题。为了便于指导实际加工，把模具加工中刀具出现问题分析归纳如表4所示。

模具加工过程中可能会出现以上各种问题，其中包括数控模具铣刀问题以及其他别的原因，而针对问题特点，及时准确判定问题的原因，做出合理规范的修正，从而达到避免生产事故，降低生产成本，提高生产效率的目的。

表4 模具加工中刀具问题及对策

问题点及现象	原因	对策
折断	进给速度过快	降低进给速度
	切入量过多	减少切入量
	悬伸量过长	减小悬伸量
	刃部磨损严重	及时实施再研磨
	刀刃长度过长	最大限度的降低刃长
发生磨损及热损	切削速度过快	降低切削速度供给切削油
	侧刃倾斜角过小	适当修改侧刃倾角
	被切削物硬度过高	干式—水溶性—非水溶性顺序供给切削油进行表面处理
切削中振动	不符合切削条件	调整切削参数
	加工件固定不合格	重新紧固加工件
	悬伸量过长	最大限度缩短刃长及悬伸
	侧刃一次间隙过大	缩小侧刃一次间隙角
切屑排出不良	切削油喷射压力低少	提升切削油量及压力
	切屑排出口过小	使用刃数少的铣刀
	刃部磨损严重	及时进行研磨
	切入量过大	减小切入量
表面有毛刺	进给速度过快	降低进给速度
	刃部磨损严重	及时进行刃修磨
	切入量过大	缩小切入量
加工尺寸不良	刃数少	使用刃数多的铣刀
	刃长度过长	适当修改刃长

4.结语

随着经济的快速发展，模具使用的材料和种类越来越多，模具的形状也越来越复杂，对模具加工用铣刀的性能要求也越来越高，所以数控模具铣刀必须不断地开发新的刀具材料，提高刀具涂层的性能，采用先进的刀具结构，以满足模具业发展的需要。数控模具铣刀的合理选用除了考虑模具型腔特点、数控设备性能、切削参数及加工条件之外，还必须考虑走刀路径与刀具的匹配，充分考虑上述因素后，才能科学合理地选用数控模具铣刀。**MW**

（收稿日期：20110323）

本期互动题

模具铣削加工采用的三种立铣刀类型是什么？

每期抽选20名参与互动答题者赠送奖品，答题请登陆：中国金属加工在线 http://www.mw1950.com/z/2001SKDJ。