

SHUKONG JIAGONGZHONGXIN
JIAGONGGONGYI YU JIQIAO

数控加工中心 加工工艺与技巧

赵长明 主编



化学工业出版社

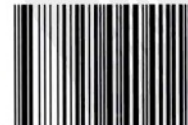
SHUKONG JIAGONGZHONGXIN
JIAGONGGONGYI YU JIQIAO

数控加工中心 加工工艺与技巧

本书作为数控加工工艺与技巧技术丛书之一，主要针对加工中心加工工艺及技巧进行编写，内容全面、系统，实用性强，实例丰富，接近生产实际。全书包括：加工中心刀具，加工中心工件装夹及对刀，加工中心加工工艺制订，典型结构加工中心加工工艺，加工中心加工综合实例工艺分析等内容。

本书可作为高职、高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院数控技术及应用、机电一体化等专业相关课程的参考用书，也可作为工厂中从事数控加工方面的技术人员和操作人员的培训教材，还可供其他有关技术人员参考。

ISBN 978-7-122-04041-1



9 787122 040411 >

定价：39.00元

销售分类建议：机械/数控



www.cip.com.cn
读科技图书 上化工社网

数控加工中心加工工艺与技巧

赵长明 主编



化学工业出版社

·北京·



图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工中心加工工艺与技巧/赵长明主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 1
ISBN 978-7-122-04041-1

I. 数… II. 赵… III. 数控机床加工中心-加工工艺 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 168740 号

责任编辑: 王 焯
责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 周 遥

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张 14 $\frac{3}{4}$ 字数 383 千字 2009 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书作为数控加工工艺与技巧系列图书之一，是结合编者在加工中心加工工艺的教学、培训及生产中的亲身工作经验编写的。

本书主要面向生产一线和加工中心技能鉴定、技能竞赛所涉及的加工中心加工工艺及技巧问题进行重点讲授。书中大量示例来源于生产一线，使内容与生产实际结合更加紧密。全书共分5章，内容包括：加工中心刀具，加工中心工件装夹及对刀，加工中心加工工艺制定，典型结构加工中心加工工艺，加工中心加工综合实例工艺分析。

本书结构严谨、特色鲜明、图文并茂、内容丰富、实用性强。理论问题论述条理清晰，详简得当，易于掌握；实例分析典型全面，完全接近生产和技能鉴定、技能竞赛实际，具有示范性。对生产中的模具零件，箱体类零件，技能鉴定典型零件，技能竞赛典型零件，二轴、三轴及五轴联动加工零件的工艺制定和自动编程中工艺处理都用大量实例进行了系统、全面介绍。本书可作为高职、高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院相关课程的参考用书，也可作为工厂中从事数控加工方面的技术人员和操作人员的培训教材，还可供其他有关技术人员参考。

本书第一章、第二章由魏加争编写，第三章由肖军民编写，第四章、第五章第一节由赵长明编写，第五章第二节由陈贤照编写，第五章第三节由朱家贤编写。全书由赵长明主编、肖军民副主编，赵长明统稿。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 加工中心刀具	1
第一节 加工中心刀具的类型和特点	1
一、加工中心用铣削刀具的类型.....	1
二、加工中心用孔加工刀具类型.....	2
三、加工中心刀具的特点.....	3
第二节 加工中心刀具材料及选用	4
一、刀具材料种类、性能和特点.....	4
二、刀具材料的选用.....	6
三、加工中心高速切削刀具材料.....	6
第三节 加工中心刀具的选用	8
一、选择刀具应考虑的因素.....	8
二、刀具种类与结构的选择.....	8
三、刀具尺寸的确定.....	10
第四节 加工中心工具系统	10
一、刀柄及选择.....	10
二、拉钉及选择.....	13
三、夹头的选择及安装.....	13
第二章 加工中心工件装夹及对刀	16
第一节 加工中心工件装夹	16
一、加工中心夹具类型与特点.....	16
二、工件的常见定位方式及定位元件.....	19
三、工件的夹紧.....	22
四、加工中心加工工件找正安装.....	29
第二节 加工中心对刀	30
一、加工中心对刀装置.....	30
二、加工中心对刀方法.....	32
第三章 加工中心加工工艺制定	35
第一节 加工中心加工工艺制定概述	35
一、加工中心加工工艺特点.....	35
二、加工中心加工工艺制定的基本步骤和方法.....	36
第二节 常用工程材料加工工艺特点	38
一、钢切削加工特性.....	38
二、铸铁切削加工特性.....	40
三、常用有色金属的切削加工特性.....	41
四、塑料切削加工的特性.....	42

第三节 制定加工中心加工工艺要解决的主要问题	42
一、加工中心加工内容的选择	42
二、加工中心加工零件工艺性分析	45
三、加工中心加工工艺方案设计	49
四、工件装夹方案的确定	51
五、工序设计	51
六、进给路线设计	52
七、加工中心的选择	57
八、刀具、夹具、量具的确定	63
九、零件图形数学处理及编程尺寸确定	70
十、加工余量的确定	73
十一、工序、工步尺寸及公差确定	74
十二、切削参数的确定	77
十三、切削液的选择	88
十四、加工程序的编写、校验与修正	89
十五、加工中心工艺文件的编写	90
第四节 复杂表面加工中心铣削刀具轨迹设计	93
一、二坐标铣削加工刀具轨迹生成	93
二、多坐标铣削加工刀具轨迹生成	96
三、三坐标球形刀多面体曲面加工刀具轨迹生成	100
四、曲面交线加工刀具轨迹生成	101
五、曲面间过渡区域加工刀具轨迹生成	101
六、铣削加工刀具轨迹编辑与修正	102
第五节 复杂表面自动编程工艺处理	102
一、自动编程中机床、刀具、毛坯和工件坐标系的设置	102
二、自动编程中工艺参数的设置	104
第四章 典型结构加工中心加工工艺	108
第一节 平面结构加工中心加工工艺	108
一、单一平面	108
二、平行面	110
三、垂直面	114
四、斜平面	118
第二节 槽类结构加工中心加工工艺	122
一、直角沟槽	122
二、V形槽	130
三、T形槽	133
四、燕尾槽和燕尾块	136
第三节 其他二维表面结构加工中心加工工艺	139
一、二维轮廓加工	139
二、二维型腔加工	142
三、孔加工	148
四、二维刻字加工	158

第四节 空间曲面加工工艺·····	160
一、回转类曲面加工·····	160
二、非回转类曲面加工·····	162
三、曲面型腔加工·····	165
四、空间曲面上刻字加工·····	167
第五章 加工中心加工综合实例工艺分析·····	170
第一节 典型零件加工中心加工工艺分析·····	170
一、泵盖零件加工中心加工工艺·····	170
二、变速器壳体加工中心加工工艺·····	172
三、异形支架零件加工中心加工工艺·····	179
四、平面槽形凸轮零件数控铣削加工工艺·····	183
五、汽车覆盖件模具凸模加工中心加工工艺介绍·····	185
六、叶轮加工中心加工工艺·····	189
第二节 加工中心技能鉴定实例工艺分析·····	196
一、中级工技能鉴定实例工艺分析·····	196
二、高级工技能鉴定实例工艺分析·····	206
第三节 加工中心技能竞赛试件的加工工艺·····	215
一、竞赛训练件一·····	215
二、竞赛训练件二·····	218
三、竞赛训练件三·····	221
四、参赛选手的临场策略·····	223
参考文献·····	227



第一章 加工中心刀具

第一节 加工中心刀具的类型和特点

加工中心所用刀具按其结构形式可分为整体式(图 1-1)和镶齿式(图 1-2)。整体式刀具的刀刃和刀体是一体的,刀具磨损后需要重新刃磨;而镶齿式刀具一般采用硬质合金刀片,通过一定的方式固定在刀体上,磨损后只需更换刀片即可,不仅节约刀具材料,而且能够避免繁琐的磨刀工作,提高了加工效率。加工中心用主要刀具的种类按工艺用途可分为铣削类、镗削类、钻削类等几大类。

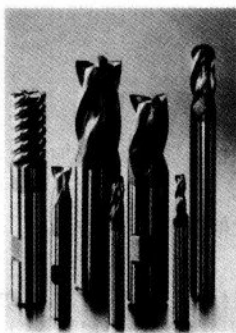


图 1-1 整体式铣刀

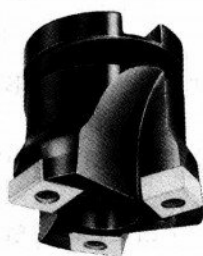


图 1-2 镶齿式铣刀

一、加工中心用铣削刀具的类型

加工中心可进行各种曲面的铣削,铣刀的种类繁多,功能也不尽相同。如面铣刀(盘铣刀)适合于铣削大面积的平面;圆柱铣刀、立铣刀既适合于平面加工,也可以加工轮廓面,即它除用其端刃铣削外,还可用其侧刃铣削;曲面加工用铣刀,如球刀,适用于加工空间曲面零件,有时也用于平面类零件中较大的转接凹圆弧的补加工。部分铣刀的形状及适用范围如图 1-3 所示。除面铣刀外,加工中心用铣刀一般包括如下几类。

1. 立铣刀

它主要用于加工平面凹槽、台阶表面。国家标准规定,直径 $d = \phi 2 \sim 71\text{mm}$ 的立铣刀做成直柄或削平型直柄;直径 $d = \phi 6 \sim 63\text{mm}$ 做成莫氏锥柄;直径 $d = \phi 25 \sim 80\text{mm}$ 做成 $7:24$ 锥柄;直径 $d = \phi 40 \sim 160\text{mm}$ 做成套式立铣刀。立铣刀圆柱面上的切削刃是主切削刃,端面上的切削刃没有通过中心,是副切削刃,工作时不宜作轴向进给运动。

2. 圆柱形铣刀

它用于加工平面和轮廓面,分为粗齿和细齿两种。其直径 $d = \phi 50\text{mm}$ 、 $\phi 63\text{mm}$ 、 $\phi 80\text{mm}$ 、 $\phi 100\text{mm}$ 。粗齿圆柱形铣刀具有齿数少、刀齿强度高、容屑空间大、重磨次数多等



图 1-3 加工中心用部分铣刀的形状及适用范围

特点，适用于粗加工，细齿圆柱形铣刀齿数多，工作平稳，适用于精加工。

3. 鼓形铣刀

鼓形铣刀主要用于对变斜角类零件中变斜角面的近似加工。

4. 键槽铣刀

它主要用于加工圆头封闭键槽。它有两个刀齿，圆柱面和端面上都有切削刃，端面切削刃延至中心，工作时既能沿轴线作进给运动，又能垂直于轴线作进给运动。按国家标准规定，直柄键槽铣刀直径 $d = \phi 2 \sim 22\text{mm}$ ，锥柄键槽铣刀直径 $d = \phi 14 \sim 50\text{mm}$ ，键槽铣刀直径的精度等级有 e8 和 d8 两种，通常分别加工 H9 和 N9 键槽。键槽铣刀的圆周切削刃仅在靠近端面的一小段长度内发生磨损。重磨时只需刃磨端面切削刃，铣刀直径不变。

5. 模具铣刀

用于加工模具型腔或凸模成形表面，在模具制造中广泛应用。它是由立铣刀演变而成，主要分为圆锥形立铣刀（直径 $d = \phi 6 \sim 20\text{mm}$ ，半锥角 $\alpha/2 = 3^\circ, 5^\circ, 7^\circ$ 或 10° ）、圆柱形球头立铣刀（直径 $d = \phi 4 \sim 63\text{mm}$ ）和圆锥形球头立铣刀（直径 $d = \phi 6 \sim 20\text{mm}$ ，半锥角 $\alpha/2 = 3^\circ, 5^\circ, 7^\circ$ 或 10° ）。硬质合金模具铣刀可取代金刚石锉刀和磨头来加工淬火后硬度小于 65HRC 的各种模具，它的切削效率可提高几十倍。

6. 专用成型铣刀

专用成型铣刀一般都是为特定的工件或加工内容专门设计制造的，适用于加工平面类零件的特定形状（如角度面、凹槽面等），适用于特定形状孔、槽或台的加工。

二、加工中心用孔加工刀具类型

在加工中心上可进行钻孔、扩孔、镗孔和攻丝等孔加工，其加工工具有中心钻、麻花钻（直柄、锥柄）、浅孔钻、扩孔钻、铤孔钻、铰刀、镗刀、丝锥等。

1. 中心钻

用于钻引正孔，防止钻孔时钻偏孔和钻头折断。

2. 浅孔钻

浅孔钻用于在实体工件上打孔，一般加工的长径比在 3:1 以内。这种钻头的刚性很好，可保证钻孔的精度，有易于排屑的容屑槽，其加工效率很高。

3. 麻花钻

在加工中心上钻孔，普通麻花钻应用最广泛，尤其是加工 $\phi 30\text{mm}$ 以下的孔时，以麻花钻为主。

4. 扩孔钻

扩孔钻用于对铸造孔和预加工孔的加工，由于刀体上的容屑空间可通畅地排屑，因此可以扩盲孔，有些扩孔刀的直径还可进行调整，可满足一定范围内不同孔径的要求。高档的扩孔刀还带有内冷功能，可使冷却液直接到达刀刃上，这样不仅可以有效防止刀具的升温，而且还可帮助排屑。

5. 镗刀

有单刃镗刀、双刃镗刀、多刃组合镗刀等，用于孔的镗削加工。加工中心用的镗刀通常采用模块式结构，通过高精度的调整装置调节镗刀的径向尺寸，可加工出高精度的孔。另外，镗刀还采用平衡块调整其动平衡，以减少振动，从而保证孔的表面粗糙度和尺寸精度。

6. 丝锥

用于螺纹孔的攻丝加工。

三、加工中心刀具的特点

1. 刀具具有很高的切削效率

由于所使用的机床设备价格昂贵，希望提高加工效率。机床向高速、高刚度和大功率发展，所以现代刀具必须具有能够承受高速切削和强力切削的性能。在数控加工中应尽量使用优质高效刀具。

2. 数控刀具具有高的精度和重复定位精度

现在高精密加工中心，加工精度可以达到 $3\sim 5\mu\text{m}$ ，因此刀具的精度、刚度和重复定位精度必须和这样高的加工精度相适应。另外，刀具的刀柄与快换夹头间或与机床锥孔间的连接部分有高的制造、定位精度。所加工的零件日益复杂和精密，这就要求刀具必须具备较高的形状精度。

3. 要求刀具具有很高的可靠性和耐用度

在数控机床上为了保证产品质量，对刀具实行强迫换刀制或由数控系统对刀具寿命进行管理，所以，刀具工作的可靠性已上升为选择刀具的关键指标。同一批刀具在切削性能和刀具寿命方面不得有较大差异，以免在无人看管的情况下，因刀具先期磨损和破损造成加工工件的大量报废甚至损坏机床。

4. 实现刀具尺寸的预调和快速换刀

刀具结构应能预调尺寸，以能达到很高的重复定位精度。加工中心则要求能实现自动换刀。

5. 具有一个比较完善的工具系统及刀具管理系统

配备完善的、先进的工具系统是用好加工中心的重要一环。在加工中心和柔性制造系统出现后，刀具管理相当复杂。刀具数量大，要对全部刀具进行自动识别，记忆其规格尺寸、存放位置、已切削时间和剩余切削时间等。还需要管理刀具的更换、运送，刀具的刃磨和尺寸预调等。

6. 应有刀具在线监控及尺寸补偿系统

以解决刀具损坏时能及时判断、识别并补偿，防止工件出现废品和意外事故。

第二节 加工中心刀具材料及选用

一、刀具材料种类、性能和特点

1. 高速钢

高速钢大体上可分为 W 系和 Mo 系两大类。其主要特征有：合金元素含量多且结晶颗粒比其他工具钢细，淬火温度极高（1200℃）而淬透性极好，可使刀具整体的硬度一致。回火时有明显的二次硬化现象，甚至比淬火硬度更高且耐回火软化性较高，在 600℃ 仍能保持较高的硬度，较之其他工具钢耐磨性好，且比硬质合金韧性高，但压延性较差，热加工困难，耐热冲击较弱。因此高速钢刀具仍是加工中心用刀具的选择对象之一。目前国内外应用比较普遍的高速钢刀具材料以 WMo、WMoAl、WMoCo 为主，其中 WMoAl 是我国所特有的品种。

2. 硬质合金

硬质合金是将钨钴类（WC），钨钛钴类（WC-TiC），钨钛钽（铌）钴类（WC-TiC-TaC）等硬质碳化物以 Co 为结合剂烧结而成的物质，在铁系金属、非铁金属和非金属的切削中大显身手。按 ISO 标准，主要以硬质合金的硬度、抗弯强度等指标为依据，将硬质合金刀具材料分为 P、M、K 三大类，大致如下：

- (1) WC+Co：K 类（国标 YG 类）；
- (2) WC+TiC+Co：P 类（国标 YT 类）；
- (3) WC+TiC+TaC+Co：M 类（国标 YW 类）。

K 类：适于加工短切屑的黑色金属、有色金属及非金属材料。主要成分为碳化钨和 3%~10% 的钴，有时还含有少量的碳化钽等添加剂。

P 类：适于加工长切屑的黑色金属。主要成分为碳化钛、碳化钨和钴（或镍），有时还加入碳化钽等添加剂。

M 类：适于加工长切屑或短切屑的黑色金属和有色金属。成分和性能介于 K 类和 P 类之间，可用来加工钢和铸铁。以上为一般切削工具所用硬质合金的大致分类。除此之外，还有超微粒子硬质合金，一般地可以认为其从属于 K 类，但因其烧结性能上要求结合剂 Co 的含量较高，故高温性能较差，大多只适用于钻、铰等低速切削工具。

在国际标准（ISO）中通常又分别在 K、P、M 三种代号之后附加 01、05、10、20、30、40、50 等数字进行更进一步的细分。一般来讲，数字越小者，硬度越高，但韧性越低；而数字越大则韧性越高，但硬度越低。表 1-1 中列出了部分高速钢、硬质合金刀具材料的应用范围。

表 1-1 部分高速钢、硬质合金刀具材料的应用范围

类别	牌 号	应 用 范 围
普通高速钢	W18Cr4V	用于制造麻花钻、铰刀、丝锥、铣刀、齿轮刀具、拉刀等
	W6Mo5Cr4V2	用于制造要求塑性好的刀具（如轧制麻花钻）及承受较大冲击载荷的刀具

类别	牌 号	应 用 范 围
高性能高速钢	W2M09Cr4VC08 W12M03Cr4V3C05Si	用于制造加工难加工材料的各种刀具,不宜用于冲击载荷及工艺系统刚性不足的条件
	W6M05Cr4V2Al	用于制造麻花钻、丝锥、铰刀、铣刀、车刀和刨刀等,其用于加工铁基高温合金的麻花钻时,效果显著,用于制造形状复杂的刀具
硬质合金	YG3X	铸铁、有色金属及其合金的精加工、半精加工,不能承受冲击载荷
	YG3	铸铁、有色金属及其合金的精加工、半精加工,不能承受冲击载荷
	YG6X	普通铸铁、冷硬铸铁、高温合金的精加工、半精加工
	YG6	铸铁、有色金属及其合金的半精加工和粗加工
	YG8	铸铁、有色金属及其合金、非金属材料的粗加工,也可用于断续切削
	YG6A	冷硬铸铁、有色金属及其合金的半精加工,亦可用于高锰钢、淬硬钢的半精加工和精加工
	YT30	碳素钢,合金钢的精加工
	YT15	碳素钢、合金钢在连续切削时的粗加工、半精加工,亦可用于断续切削时的精加工
	YT14	同 YT15
	YT5	碳素钢、合金钢的粗加工,可用于断续切削
	YW1	高温合金、高锰钢、不锈钢等难加工材料及普通钢料、铸铁、有色金属及其合金的半精加工和精加工
YW2	高温合金、不锈钢、高锰钢等难加工材料及普通钢料、铸铁、有色金属及其合金的粗加工和半精加工	

3. 陶瓷

从 20 世纪 30 年代人们就开始研究以陶瓷作为切削工具的材料了。陶瓷刀具基本上由两大类组成:一类为氧化铝类(白色陶瓷);另一类为 TiC 添加类(黑色陶瓷)。另外还有在 Al_2O_3 中添加 SiC(晶须), ZrO_2 (青色陶瓷)来增加韧性的,以及以 Si_3N_4 为主体的陶瓷刀具。

陶瓷材料具有高硬度、高温强度高(约 $2000^{\circ}C$ 下亦不会熔融)的特性,化学稳定性亦很好,但韧性很低。最近热等静压技术的普及对改善陶瓷结晶的均匀细密性、提高陶瓷的各向性能均衡乃至提高韧性都起到了很大的作用,作为切削工具用的陶瓷抗弯强度已经提高到 $900MPa$ 以上。一般来说,陶瓷刀具相对于硬质合金和高速钢来说仍是极脆的材料,因此,多用于高速连续切削中,例如铸铁的高速加工。另外,陶瓷的热导率相对于硬质合金来说非常低,是现有工具材料中最低的一种,故在切削加工中容易积蓄加工热,且对于热冲击的变化较难承受。所以,加工中陶瓷刀具很容易因热裂纹产生崩刃等损伤,且切削温度较高。陶瓷刀具因其材质的化学稳定性好、硬度高,在耐热合金等难加工材料的加工中有广泛的应用。

4. 立方氮化硼(CBN)

立方氮化硼是靠超高压、高温技术人工合成的新型刀具材料,其结构与金刚石相似,此种工具材料由美国 GE 公司研制开发。它的硬度略低于金刚石,但热稳定性远高于金刚石,并且与铁族元素亲和力小,不易产生“积屑瘤”。CBN 粒子硬度高达 $4500HV$,热导率高,在大气中加热至 $1300^{\circ}C$ 仍保持性能稳定,且与铁的反应性很低,是迄今为止能够加工铁族金属最

硬的刀具材料。它的出现使无法进行正常切削加工的淬火钢、耐热钢的高速切削变为可能。

5. 聚晶金刚石 (PCD)

1975 年美国 GE 公司开发了用人造金刚石颗粒通过添加 Co、硬质合金、NiCr、Si-SiC 以及陶瓷结合剂在高温 (1200℃ 以上)、高压下烧结成形的 PCD 刀具, 并得到了广泛的应用。金刚石刀具与铁系金属有极强的亲和力, 切削过程中刀具中的碳元素极易发生扩散而导致磨损; 但与其他材料的亲和力很低, 切削中不易产生粘刀现象, 切削刃口可以磨得非常锋利。所以它只适用于高效地加工有色金属和非金属材料, 能得到高精度、高光亮的加工面, 特别是 PCD 刀具消除了金刚石的性能异向性, 使其在高精加工领域中的应用得到了普及。金刚石在大气中温度超过 600℃ 时将被碳化而失去其本来面目, 故金刚石刀具不宜用于可能会产生高温的切削中。

上述五类刀具材料, 从总体上分析, 材料的硬度、耐磨性以金刚石为最高, 依次降低到高速钢。而材料的韧性则是高速钢最高, 金刚石最低。

二、刀具材料的选用

在加工中心用刀具中, 采用最广泛的刀具材料是硬质合金类。因为这类材料从经济性、适应性、多样性工艺等各方面考虑, 目前综合效果都优于高速钢、陶瓷、立方氮化硼和聚晶金刚石。整体尺寸大、形状复杂的刀具 (如滚刀、插齿刀等) 常选用高速钢, 特殊场合可考虑采用陶瓷、立方氮化硼和聚晶金刚石。加工中心必须有与其相适应的切削刀具配合, 才能充分发挥作用。由于加工中心具有多把刀具连续生产的特点, 如果刀具设计、选择或使用不合理, 就会造成断屑、排屑困难或刀刃过早磨损而影响加工精度, 甚至发生刀刃破损而无法进行正常切削, 产生大量废品或被迫停机。

三、加工中心高速切削刀具材料

实现高速切削的技术关键是刀具。高速切削与常规切削相比, 切削变形小, 切削力有较大幅度下降, 切削表面损伤减轻, 但切削力有高频周期性波动。另一方面前刀面上的摩擦热能大大增加, 切削温度远高于普通切削, 且最高温度距刃口很近, 这使热磨损占主导地位, 易于形成与刃口紧相毗邻的月牙洼磨损, 而作用切削刃边界处很高的应力和温度梯度使边界磨损更加突出, 尤其高速铣削或其他断续切削时, 刀尖及刀刃因受冲击载荷的作用, 易于发生脆性破损。因此, 对高速切削刀具要有如下几点基本要求:

- (1) 对于刀具材料既要求硬度高、耐磨性好、耐热性好, 又要求韧性好、耐冲击;
- (2) 与工件材料有较小的化学亲和力;
- (3) 具有优良的力学性能和热稳定性, 具有良好的抗冲击和热疲劳性能;
- (4) 合理正确的刀具切削角度, 刀尖、刃形结构应使其具有足够的抗磨损能力;
- (5) 刀具系统与机床有牢靠的连接;
- (6) 刀具系统有可靠的预警功能。

在具体的工艺设计时, 应根据高速切削的这些特点正确地选择刀具材料和设计刀具几何结构。要实现高速切削, 刀具的材料是关键。目前常用的刀具材料主要有: TiC (N) 硬质合金 (也称金属陶瓷)、硬质合金涂层刀具、陶瓷刀具、聚晶金刚石 (PCD) 和立方氮化硼 (CBN) 等。它们各有优点, 适应不同的工件材料和不同的速度范围。

1. TiC (TiN) 硬质合金 (金属陶瓷)

金属陶瓷是为了解决陶瓷刀具的脆性大而出現的，其成分以 TiC 或 TiN（陶瓷）为基体，Ni、Mo（金属）为结合剂，故取名为金属陶瓷。其性能介于硬质合金和陶瓷之间。由于 TiC（N）硬质合金有接近于陶瓷的硬度和耐热性，加工时与钢的摩擦因数小，耐磨性好，且抗弯强度和断裂韧性比陶瓷高，因此，TiC（N）硬质合金可作为高速切削加工的刀具材料，切削速度可比普通硬质合金提高 20%~50%。金属陶瓷刀具的最大优点是与被加工材料的亲和性极低，故不易产生粘刀和积屑瘤现象，使加工表面非常光洁平整，是良好的精加工刀具材料。

TiC（N）硬质合金按其成分和性能不同可分为：

- (1) 成分为 TiC—Ni—Mo 的 Ti 基合金；
- (2) 添加其他碳化物（如 WC、TaC）和金属（如 Co）的强韧 TiC 合金；
- (3) 添加 TiN 的 TiCN 基合金；
- (4) 以 TiN 为主要成分的 TiN 基合金等。

2. 涂层硬质合金刀具

对刀具进行涂层处理是提高刀具性能的重要途径之一。涂层刀具是在韧性较好的刀体上，涂覆一层或多层耐磨性好的难熔化合物，使刀具具有较高的韧性，又具有很高的硬度和耐磨性，涂层刀具的寿命比未涂层刀具要高 2~5 倍。涂层刀具可分为两大类：一类是“硬”涂层刀具，如 TiC、TiN、Al₂O₃ 涂层刀具等，其主要优点是硬度高、耐磨性能好；另一类是“软”涂层刀具，如 MoS₂、WS₂ 等，这种涂层刀具也称为自润滑刀具，可以减小摩擦，降低切削力和切削温度。常见的单涂层及多涂层组合有：TiC、TiN、TiCN、TiAlN、TiC+TiN、TiC+TiCN+TiN、TiC+Al₂O₃+TiN 等。多涂层及其相关技术的出现，使涂层既可提高与基体的结合强度又能具有多种材料的综合性能。目前应用较多的有：单涂层、多涂层、金刚石薄膜涂层、纳米涂层等。

3. 陶瓷刀具

陶瓷刀具具有很高的硬度、耐磨性能及良好的高温性能，与金属的亲合力小，并且化学稳定性好。因此，陶瓷刀具可以加工传统刀具难以加工的高硬材料，陶瓷刀具的最佳切削速度可比硬质合金刀具高 3~10 倍，而且寿命长，可大大提高切削效率。陶瓷刀具材料使用的主要原料氧化铝、氧化硅等是地壳中最丰富的元素，对节省贵重金属具有十分重要的意义。

4. 金刚石刀具

金刚石是碳的同素异构体，它是自然界已经发现最硬的材料，其显微硬度达到 10000HV。金刚石刀具有两种：天然金刚石刀具和人造聚晶金刚石（PCD）刀具。天然金刚石的性质较脆，容易沿晶体的解理面破裂，导致大块崩刃，并且天然金刚石价格昂贵，因此很多场合下已经被人造聚晶金刚石所代替。人造聚晶金刚石刀片可分为整体人造聚晶金刚石刀片和聚晶金刚石复合刀片。目前，大多数使用的 PCD 都是与硬质合金基体烧结而成的复合刀片，便于焊接。人造聚晶金刚石刀片目前是高速切削有色金属和非金属材料的最有效刀具材料。

5. 立方氮化硼刀具

立方氮化硼是 BN（氮化硼）的同素异构体之一，其结构与金刚石相似，不仅晶格常数相近，而且晶体中的结合键也基本相同。由于立方氮化硼与金刚石在晶体结构与结合上的相似和差异，便决定了立方氮化硼与金刚石有相近的硬度，又具有高于金刚石的热稳定性和对铁族元素的高化学稳定性。CBN 具有很高的热稳定性，并且在高温下（1200~1300℃）不与铁族金属发生化学反应。硬度 60~70HRC 的淬硬钢等高硬度材料均可采用 CBN 刀具来进行切削。目前，很多场合都用 CBN 刀具进行切削，取代了以前只能用磨削才能进行的加

工,使加工效率得到了极大的提高。切削加工普通灰铸铁时,一般线速度 300m/min 以下采用涂层硬质合金,300~500m/min 以内采用陶瓷,500m/min 以上用 CBN 刀具材料。

第三节 加工中心刀具的选用

一、选择刀具应考虑的因素

数控加工中刀具的选择是非常重要的内容,刀具选择合理与否不仅影响到机床的加工效率,还影响到工件的加工质量。选择刀具时通常要考虑机床的加工能力、工序内容、工件材料等因素,主要因素有以下几点。

- (1) 被加工工件材料的类别,常用材料有:有色金属、黑色金属和非金属等不同材料。
- (2) 被加工工件材料的性能,包括硬度、韧性、组织状态等。
- (3) 切削工艺的类别,有车、钻、铣、镗,粗加工、半精加工、精加工、超精加工等。
- (4) 被加工工件的几何形状(影响到连续切削或断续切削、刀具的切入和退出角度)、零件精度(尺寸公差、形位公差、表面粗糙度)和加工余量等因素。
- (5) 要求刀具能够承受的切削用量(背吃刀量、进给量、切削速度)。
- (6) 被加工工件的生产批量,它直接影响到刀具的寿命。

二、刀具种类与结构的选择

1. 铣削刀具的选择

铣刀类型应与被加工工件的尺寸与表面形状相适合。加工较大的平面应该选择面铣刀;加工凸台、凹槽及平面轮廓应选择立铣刀;加工毛坯表面或粗加工孔可选择镶硬质合金的玉米铣刀;加工曲面常采用球头铣刀;加工曲面较平坦的部位常采用环形铣刀;加工空间曲面、模具型腔或凸模成形表面多选用模具铣刀;加工封闭的键槽选择键槽铣刀。

在进行自由曲面加工时,由于球头刀具的端部切削速度为零,因此,为保证加工精度,切削行距一般取得很密,故球头刀常用于曲面的精加工。而平头刀具在表面加工质量和切削效率方面都优于球头刀,因此,只要在保证不过切的前提下,无论是曲面的粗加工还是精加工,都应优先选择平头刀。另外,刀具的耐用度和精度与刀具价格关系极大,在大多数情况下,选择好的刀具虽然增加了刀具成本,但由此带来的加工质量和加工效率的提高,则可以使整个加工成本大大降低。

刀具的选择应根据机床的加工能力、工件材料的性能、加工工序、切削用量以及其他相关因素正确选用。

2. 孔加工刀具的选择

(1) 钻孔刀具的选择 钻孔刀具较多,有普通麻花钻、可转位浅孔钻及扁钻等。应根据工件材料、加工尺寸及加工质量要求等合理选用。

1) 麻花钻 麻花钻有高速钢和硬质合金两种,主要由工作部分和柄部组成,工作部分包括切削部分和导向部分。

麻花钻导向部分起导向、修光、排屑和输送切削液作用,也是切削部分的后备。

麻花钻有标准型和加长型,为了提高钻头刚性,应尽量选用较短的钻头,但麻花钻的工

作部分应大于孔深，以便排屑和输送切削液。

在加工中心上钻孔，因无夹具钻模导向，受两切削刃上切削力不对称的影响，容易引起钻孔偏斜，故要求钻头的两切削刃必须有较高的刃磨精度（两刃长度一致，顶角 2ϕ 对称于钻头中心线）。

2) 浅孔钻 钻削加工直径 $d=\phi 20\sim 60\text{mm}$ 、 $l/d\leq 3$ 的中等浅孔时，可选用浅孔钻，其结构是在带排屑槽及内冷却通道钻体的头部装有两个刀片（多为凸多边形、菱形和四边形），交错排列，切屑排除流畅，钻头定心稳定。另外多采用深孔刀片，通过该中心压紧刀片。靠近钻心的刀用韧性较好的材料，靠近钻头外径刀片选用较为耐磨的材料，这种钻具有刀片可集中刃磨，刀杆刚度高，允许切削速度高，切削效率高及加工精度高等特点，最适合于箱体零件的钻孔加工。为提高刀具的使用寿命，可以在刀片上涂镀TiC涂层。使用这种钻头钻箱体孔，比普通麻花钻提高效率4~6倍。

3) 深孔钻 对深径比大于5而小于100的深孔，由于加工中散热差，排屑困难，钻杆刚性差，易使刀具损坏和引起孔的轴线偏斜，影响加工精度和生产率，故应选用深孔加工刀具。

钻削大直径孔时，可采用刚性较好的硬质合金扁钻。扁钻切削部分磨成一个扁平体，主切削刃磨出顶角、后角，并形成横刃；副切削刃磨出后角、副偏角，并且控制钻孔的直径。扁钻前角小，没有螺旋槽，制造简单、成本低。

钻削小直径深孔时，可采用加长型麻花钻。

(2) 扩孔刀具的选择 扩孔钻是用来扩大孔径、提高孔加工精度的刀具。它可用于孔的半精加工或最终加工。用扩孔钻加工可达到公差等级IT10~IT11，表面粗糙度为 $R_a 6.3\sim 3.2\mu\text{m}$ 。扩孔钻与麻花钻相似，但齿数较多，一般为3~4个齿，因而工作时导向性好。扩孔余量小，切削刃无需延伸到中心，所以扩孔钻无横刃，切削过程平稳，可选择较大的切削用量。总之扩孔钻的加工质量和效率均比麻花钻高。

扩孔直径较小或中等时，选用高速钢整体式扩孔钻，扩孔直径较大，选用套式扩孔钻。扩孔直径在20~60mm之间时，且机床刚性好，功率大，可选用硬质合金可转位式扩孔钻。

(3) 镗孔刀具的选择 镗刀多用于加工箱体孔。当孔径大于30mm时，一般用镗刀加工。精度可达IT7~IT6，表面粗糙度为 $R_a 6.3\sim 0.8\mu\text{m}$ ，精镗可达 $R_a 0.4\mu\text{m}$ 。镗刀种类很多，按切削刃数量可分为单刃镗刀和双刃镗刀。单刃镗刀可镗削通孔、阶梯孔和盲孔，单刃镗刀刚性差，切削时易引起振动，所以镗刀的主偏角选得较大，以减小径向力。

镗铸铁孔或精镗时，一般取主偏角 $K_r=90^\circ$ ；粗镗钢件孔时，取主偏角 $K_r=60^\circ\sim 75^\circ$ ，以提高刀具的耐用度。单刃镗刀一般均有调整装置，效率低，只能用于单件小批量生产。但结构简单，适应性较广，粗、精加工都适用。

在精镗孔中，目前较多地选用精镗微调镗刀。这种镗刀的径向尺寸可以在一定范围内进行微调，调节方便，且精度高。

为了消除镗孔时径向力对镗杆的影响，可采用双刃镗刀。工件孔径尺寸与精度由镗刀径向尺寸保证，且调整方便。它的两端有一对对称的切削刃同时参加切削，与单刃镗刀相比，每转进给量可提高一倍左右，生产效率高。

镗孔刀具的选择，主要的问题是刀杆的刚性，要尽可能地防止或消除振动，其考虑要点如下。

1) 尽可能选择大的刀杆直径，接近镗孔直径。

2) 尽可能选择短的刀杆臂（工作长度）。当工作长度小于4倍刀杆直径时可用钢制刀杆，加工要求高的孔时最好采用硬质合金刀杆。当工作长度为4~7倍的刀杆直径时，小孔用硬质合金刀杆，大孔用减振刀杆。当工作长度为7~10倍的刀杆直径时，要采用减振刀杆。