

数控加工刀具 及其选用技术

苏宏志 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

数控加工刀具及其 选用技术

主编 苏宏志

参编 刘艳申 崔 静



机械工业出版社

本书从数控加工生产实际的角度出发,以切削过程的基本理论为基础,以掌握数控机床刀具合理使用技术、发挥数控机床效能为目标,阐述了数控加工的切削基础、刀具材料的种类及其选用原则,以及数控刀具的特点等基本知识,分析了数控车削刀具、数控铣削刀具和孔加工刀具的种类、特点及合理使用的技术。同时,结合国内外数控工具系统的最新发展成果,介绍了数控工具系统等方面的知识及相关标准。全书共7章,分别为绪论、数控刀具基础、数控刀具材料、数控车削刀具、数控铣削刀具、数控加工中孔加工刀具、数控工具系统。

本书适合高职、中职、技校的数控技术应用、模具、机电一体化专业学生使用和从事数控加工的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工刀具及其选用技术/苏宏志主编. —北京:机械工业出版社, 2014. 4

ISBN 978-7-111-46100-5

I. ①数… II. ①苏… III. ①数控刀具 IV. ①TG729

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第046184号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:周国萍 舒雯

版式设计:赵颖喆 责任校对:陈延翔

封面设计:陈沛 责任印制:李洋

高教社(天津)印务有限公司印刷

2014年6月第1版第1次印刷

169mm×239mm·13.25印张·252千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-46100-5

定价:35.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

策划编辑:(010)88379733

电话服务

网络服务

社服中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

数控刀具的发展水平，对数控技术的发展有着极大影响。现代多功能复合型刀具、新材料刀具及涂层刀具的大量使用，使数控技术朝着高速、高效、高精度、高可靠性及绿色制造方向发展。数控机床刀具的性能、质量和可靠性及刀具管理系统的水平，直接影响到我国制造业数百万台昂贵的数控机床生产效率的高低和加工质量的好坏，也直接影响整个机械制造工业的生产技术水平和经济效益。目前，我国先进数控刀具生产不足及管理系统水平的低下，成为制约我国制造业发挥数控机床加工效率的“瓶颈”。只有先进的数控机床，没有与之相配套的先进刀具、工具系统和刀具管理系统，或者没有掌握刀具的合理使用技术，数控机床的效能就得不到充分发挥。本书正是从数控加工生产实际的角度出发，以切削过程的基本理论为基础，以掌握数控机床刀具合理使用技术、发挥数控机床效能为目标，在介绍数控加工的切削基础、刀具材料的种类及其选用原则，以及数控刀具的特点等基本知识的基础上，分析了数控车削刀具、数控铣削刀具和孔加工刀具的种类、特点及合理使用的技术。同时，结合国内外数控工具系统的最新发展成果，介绍了数控工具系统等方面的知识及相关标准。全书系统性、综合性强，与生产实践联系紧密。

本书适合高职、中职、技校的数控技术应用、模具、机电一体化专业学生学习和从事数控加工的工程技术人员参考。

本书由陕西工业职业技术学院苏宏志担任主编，第1、2章由陕西工业职业技术学院刘艳申编写，第3、4章由陕西工业职业技术学院崔静编写，第5、6、7章由陕西工业职业技术学院苏宏志编写。全书由苏宏志负责统稿和定稿。

在本书的编写过程中，咸阳机床厂王彦宏总工程师为本书的编写提出了许多宝贵的意见，并提供了丰富的资料，在此表示感谢。由于编者水平有限，数控刀具和工具系统技术发展迅速，书中难免有不足之处，望读者和各位同仁提出宝贵意见。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 数控加工对刀具的要求	1
1.2 数控刀具国内外发展状况	4
1.2.1 数控刀具的种类	4
1.2.2 数控刀具技术的现状	7
1.2.3 我国数控刀具技术的发展现状	9
第2章 数控刀具基础	11
2.1 刀具的基本概念	11
2.2 刀具的结构	13
2.2.1 刀具切削部分的组成和角度	13
2.2.2 合理选择刀具切削刃部结构形式	16
2.2.3 刀具装夹部分的结构形式	26
2.3 数控可转位刀具	31
2.3.1 可转位刀具的基本概念	31
2.3.2 可转位刀片的型号及表示方法	32
2.3.3 可转位刀片的夹紧方式和典型结构	40
2.3.4 可转位刀片的选用	45
第3章 数控刀具材料	48
3.1 数控加工对刀具材料的要求	48
3.2 高速钢刀具材料的种类、性能和特点	50
3.2.1 普通高速钢	50
3.2.2 高性能高速钢	51
3.2.3 粉末冶金高速钢	52
3.2.4 涂层高速钢	52
3.2.5 高速钢刀具的选用	53
3.3 硬质合金刀具材料的种类、性能和特点	55
3.3.1 硬质合金的性能及牌号表示方法	55
3.3.2 普通硬质合金的种类、牌号及适用范围	55
3.3.3 超细晶粒硬质合金	58

3.3.4 涂层硬质合金	59
3.4 新型刀具材料的种类、性能和特点	60
3.4.1 陶瓷刀具材料	60
3.4.2 金刚石刀具材料	63
3.4.3 立方氮化硼刀具材料	66
3.5 数控刀具材料的选择	69
第 4 章 数控车削刀具	71
4.1 车刀的种类和用途	71
4.2 机夹可转位车刀代码	73
4.2.1 机夹可转位车刀刀片代码	73
4.2.2 机夹可转位外圆和内孔车刀代码	74
4.2.3 机夹可转位式螺纹车刀代码	89
4.2.4 其他机夹可转位式车刀代码	93
4.3 车削加工刀具的选择	94
4.3.1 刀片材质的选择	94
4.3.2 刀片形状的选择	100
4.3.3 主切削刃法后角的选择	101
4.3.4 精度选择	103
4.3.5 刀片夹固形式与有无断屑槽的选择	103
4.3.6 刀片尺寸大小与厚度的选择	103
4.3.7 断屑槽的选择	105
4.3.8 选择可靠的刀片夹紧结构	112
第 5 章 数控铣削刀具	113
5.1 概述	113
5.1.1 铣刀的种类和用途	113
5.1.2 铣刀的几何参数	114
5.2 数控加工中常用铣刀及代码	119
5.2.1 数控可转位铣刀刀片及铣刀代码	119
5.2.2 面铣刀	122
5.2.3 立铣刀	128
5.2.4 其他铣刀	135
5.3 可转位铣刀的合理选用	141
5.3.1 可转位铣刀的结构	141
5.3.2 可转位铣刀的角度选择	142
5.3.3 可转位铣刀的齿数(齿距)	144
5.3.4 可转位铣刀的直径	144

5.3.5 刀片牌号的选择	145
第6章 数控加工中孔加工刀具	147
6.1 孔加工刀具的种类及孔加工的方法及特点	147
6.1.1 孔加工刀具的种类	147
6.1.2 孔加工的方法及特点	150
6.2 麻花钻	150
6.2.1 高速钢麻花钻	150
6.2.2 硬质合金麻花钻	157
6.3 深孔钻	160
6.3.1 单刃外排屑深孔钻	161
6.3.2 内排屑深孔钻	162
6.3.3 喷吸钻	163
6.4 镗刀	164
6.4.1 粗镗刀	164
6.4.2 精镗刀	165
6.5 铰刀	167
6.5.1 高速钢铰刀	167
6.5.2 硬质合金铰刀	169
6.5.3 铰刀的选择	170
第7章 数控工具系统	173
7.1 概述	173
7.1.1 数控加工中的刀具快换	173
7.1.2 数控工具系统概念	174
7.1.3 机床与工具系统的接口	175
7.2 镗铣类数控机床工具系统的接口及其标准	176
7.2.1 锥度为7:24的通用刀柄	176
7.2.2 锥度为1:10的HSK刀柄	184
7.3 镗铣类数控机床工具系统	187
7.3.1 整体式工具系统	187
7.3.2 模块式工具系统	195
7.4 数控车削工具系统	201
7.4.1 数控车削整体式工具系统的特点	201
7.4.2 数控车削模块式工具系统的特点	202
参考文献	205

第 1 章 绪 论

1.1 数控加工对刀具的要求

1. 概述

现代数字化制造技术的蓬勃发展,以“高精度、高效率、高可靠性和专用化”为特点的数控机床和加工中心等高效设备应用日渐普及,在航空航天、汽车、高速列车、风电、电子、能源、模具等装备制造业的空前发展推动下,切削加工已迈入了以高速、高效和环保为标志的高速加工发展的新时期。高速切削、干切削和硬切削作为当前切削技术的重要发展方向,其重要地位和角色日益凸显。这些先进切削技术的应用,不仅使加工效率成倍提高,也推动了刀具技术的发展。随着各种新型材料刀具的出现,如聚晶金刚石刀具(PCD)、聚晶立方氮化硼刀具(PCBN)、CVD 金刚石刀具、纳米复合刀具、纳米涂层刀具、晶须增韧陶瓷刀具、超细晶粒硬质合金刀具、TiC(N)基硬质合金刀具、粉末冶金高速钢刀具等,使先进的数控机床加工设备在与高性能的数控刀具相配合中,才发挥了巨大的效能,取得了良好的经济效益。

数控刀具是指与数控机床(如加工中心、数控车床、数控镗铣床、数控钻床、自动线及柔性制造系统等)相配套使用的各种刀具的总称,是数控机床不可缺少的关键配套产品,数控刀具以其高效、精密、高速、耐磨、寿命长和良好的综合切削性能取代了传统刀具。表 1-1 为传统刀具与现代数控刀具的比较。

表 1-1 传统刀具与现代数控刀具的比较

项 目	传统切削刀具	数控刀具
刀具材料	普通工具钢、高速钢、焊接硬质合金等	PCD、PCBN、陶瓷、涂层刀具、超细晶粒硬质合金、TiCN 基硬质合金、粉末冶金高速钢等
刀具硬度	低	高
被加工工件硬度	低	高,可对高硬材料实现“以车代磨”
切削速度	低	可转位涂层刀片加工钢、铸铁,切削速度可达 380m/min; PCBN 刀片加工铸铁,切削速度可达 1000~2000m/min; PCD 刀具加工铝合金,切削速度可达 5000m/min 或更高

(续)

项 目	传统切削刀具	数控刀具
刀具消耗费用和金属切除比较	传统高速钢刀具约占全部刀具费用的 65%，切除的切屑仅占总切屑的 28%	可转位刀具、硬质合金刀具及超硬刀具占全部刀具费用的 34%，切除的切屑占总切屑的 68%
刀具使用机床	一般金属切削机床	数控车床、数控铣床、加工中心、流水线专机、柔性生产线等
资金投入和企业规模	以通用机床和专机为主，追求低成本，劳动密集	以数控机床为主，追求差异化，多品种、小批量，属于知识、人才和资金密集型

2. 数控加工对刀具的要求

数控加工具有高速、高效和自动化程度高等特点，数控刀具是实现数控加工的关键技术之一。为了适应数控加工技术的需要，保证优质、高效地完成数控加工任务，对数控加工刀具提出了比传统加工用刀具更高的要求，它不仅要求刀具耐磨损、寿命长、可靠性好、精度高、刚性好，而且要求刀具尺寸稳定、安装调整方便等。数控加工对刀具提出的具体要求如下：

(1) 刀具材料应具有高的可靠性 数控加工在数控机床或加工中心上进行，切削速度和自动化程度高，要求刀具应具有很高的可靠性，并且要求刀具的寿命长、切削性能稳定、质量一致性好、重复精度高。

解决刀具的可靠性问题，成为数控加工成功应用的关键技术之一。在选择数控加工刀具时，除需要考虑刀具材料本身的可靠性外，还应考虑刀具的结构和夹固的可靠性。

(2) 刀具材料应具有高的耐热性、抗热冲击性和高温力学性能 为了提高生产效率，现在的数控机床向着高速度、高刚性和大功率发展，切削速度的增大，往往会导致切削温度的急剧升高。因此，要求刀具材料的熔点高、氧化温度高、耐热性好、抗热冲击性能强，同时还要求刀具材料具有很高的高温力学性能，如高温强度、高温硬度、高温韧性等。

(3) 数控刀具应具有高的精度 在数控加工生产中，被加工零件要求在一次装夹后完成其加工精度。因此，要求刀具借助专用对刀装置或对刀仪，调整到所要求的尺寸精度后，再安装到机床上应用。这样就要求刀具的制造精度要高。尤其在使用可转位结构的刀具时，刀片的尺寸公差、刀片转位后刀尖空间位置尺寸的重复精度，都有严格的精度要求。

(4) 数控刀具应能实现快速更换 数控刀具应能与数控机床快速、准确地接合和脱开，并能适应机械手和机器人的操作，并且要求刀具互换性好、更换迅速、尺寸调整方便、安装可靠，以减少因更换刀具而造成的停顿时间。刀具的尺

寸应能借助于对刀仪在机外进行预调,以减少换刀调整的停机时间。现在的数控加工中心多采用自动换刀装置。

(5) 数控刀具应系列化、标准化和通用化 尽量减少刀具规格,以利于数控编程和便于刀具管理,降低加工成本,提高生产效率,建立刀具准备单元,进行集中管理,负责刀具的保管、维护、预调、配置等工作。

(6) 数控刀具大量采用机夹可转位刀具 由于机夹可转位刀具能满足耐用、稳定、易调和可换等要求,目前,在数控机床及加工中心等设备上,广泛采用机夹可转位刀具结构。机夹可转位刀具在数量上已达到整个数控刀具的30%~40%。图1-1所示为可转位车刀的刀头。

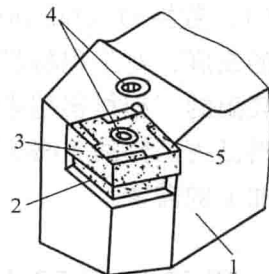


图 1-1 可转位车刀的刀头

1—刀杆 2—刀垫 3—刀片

4—夹固元件 5—断屑槽

(7) 数控刀具大量采用多功能复合刀具及专用刀具 为了充分发挥数控机床的技术优势,提高加工效率,对复杂零件加工要求在一次装夹中进行多工序的集中加工,并淡化传统的车、铣、镗、螺纹加工等不同切削工艺的界限,是提高数控机床效率、加快产品开发的有效途径。为此,对数控刀具提出了多功能(复合刀具)的新要求,要求一种刀具能完成零件不同工序的加工,减少换刀次数,节省换刀时间,减少刀具的数量和库存量,便于刀具管理。如镗铣刀、钻铣刀等,使原来需要多道工序、几种刀具才能完成的工序,在一道工序中由一把刀完成,不仅提高了生产效率,保证了加工精度,而且明显减少了刀具数量。图1-2所示为半精镗、精镗机油泵孔及孔口倒角用的可转位复合镗刀。

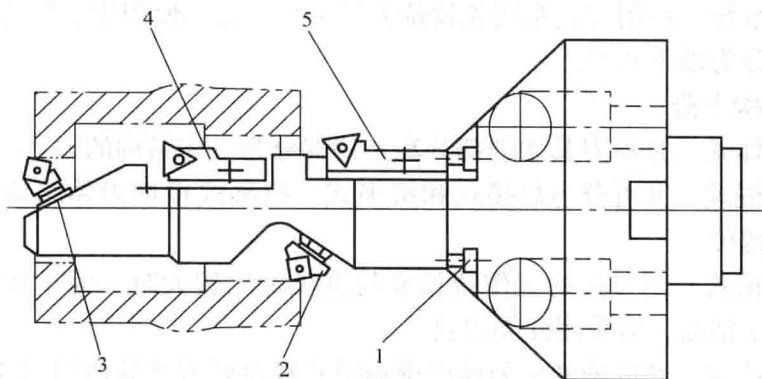


图 1-2 半精镗、精镗机油泵孔及孔口倒角用的可转位复合镗刀

1—刀体 2、3—微调镗刀头 4、5—小刀夹

(8) 数控刀具应能可靠断屑或卷屑 为了保证自动生产的稳定进行,数控

加工对切屑处理有更高的要求。切削塑性材料时，切屑的折断与卷曲，常常是决定数控加工能否正常进行的重要因素。因此，数控刀具必须具有很好的断屑、卷屑和排屑性能。要求切屑不能缠绕在刀具或工件上、切屑不影响工件的已加工表面、不妨碍后续工序进行。数控刀具一般都采取了一定的断屑措施（如可靠的断屑槽型、断屑台和断屑器等），以便可靠断屑或卷屑。

(9) 数控刀具材料应能适应难加工材料和新型材料加工的需要 随着科学技术的发展，对工程材料提出了越来越高的要求，各种高强度、高硬度、耐腐蚀和耐高温的工程材料越来越多地被采用。它们中多数属于难加工材料，目前难加工材料已占工件的40%以上。因此，数控加工刀具应能适应难加工材料和新型材料加工的需要。

1.2 数控刀具国内外发展状况

1.2.1 数控刀具的种类

近年来，快速发展的数控加工工艺技术促进了数控刀具结构基础科研和新产品的研发。世界各大厂商生产的数控机床用刀具种类、规格繁多，数量庞大，往往令人眼花缭乱，不得要领。一般情况下，数控加工刀具可分为常规刀具和模块化刀具两大类。模块化刀具是发展方向，其主要优点：其一提高刀具的标准化，加快换刀及安装时间，减少停机时间，提高生产加工时间；其二扩大刀具的利用率，充分发挥刀具的性能，提高刀具的管理及柔性加工水平，有效地消除刀具测量工作的加工中断现象。随着模块化刀具的发展，数控刀具已形成了三大系统，即车削刀具系统、钻削刀具系统和镗铣刀具系统。具体使用中，数控刀具根据不同原则可以分为以下几类：

1. 从结构上分

(1) 整体式 是指刀具切削部分和夹持部分为一体结构的刀具。

(2) 镶嵌式 又可分为焊接式和机夹式。机夹式根据刀体结构不同，分为可转位和不转位。

(3) 减振式 当刀具的工作臂长度与直径之比较大时，为了减少刀具的振动，提高加工精度，多采用此类刀具。

(4) 内冷式 切削液通过刀体内部由喷孔喷射到刀具的切削刃部。

(5) 特殊形式 如复合刀具、可逆攻螺纹刀具等。

2. 从切削工艺上分

(1) 车削刀具 常规车削刀具分外圆、内孔、外螺纹、内螺纹、切槽、切端面、切端面环槽、切断等刀具。数控车床一般使用标准的机夹可转位刀具，机

夹可转位刀具的刀片和刀体都有标准，刀片材料采用硬质合金、涂层硬质合金及高速钢。从切削方式上分为三类：圆表面切削刀具、端面切削刀具和中心孔类刀具。

(2) 铣削刀具 铣削刀具是用于铣削加工的、具有一个或多个刀齿的旋转刀具。工作时各刀齿依次间歇地切去工件的余量。铣刀主要用于在铣床上加工平面、台阶、沟槽、成形表面和切断工件等。常用的有面铣刀、立铣刀、三面刃铣刀等刀具。

面铣刀（也叫端铣刀）是圆周表面和端面上都有切削刃，端部切削刃为副切削刃，结构形式有套式镶齿结构和刀片机夹可转位结构，刀齿材料为高速钢或硬质合金，刀体多为 40Cr。立铣刀是数控机床上用得最多的一种铣刀，它的圆柱表面和端面上都有切削刃，可同时进行切削，也可单独进行切削，结构有整体式和机夹式等。三面刃铣刀通常在卧式铣床上使用，其外圆和两个端面靠近外圆的部位都有切削刃（像宽锯齿状），所以称为三面刃铣刀。铣削时主要利用刀具周边的切削刃进行切削，常用于铣槽和切断。铣削刀具除上面提到的三种外，还有模具铣刀、键槽铣刀、鼓形铣刀、成形铣刀等其他种类。

(3) 孔加工刀具 孔加工刀具分为孔粗加工、孔精加工、螺纹加工等刀具，可在数控车床、车削中心、数控镗铣床和加工中心上使用。它的结构和联接形式有直柄、锥柄、螺纹联接、模块式联接（圆锥或圆柱联接）等多种。

3. 从制造所采用的材料分

(1) 高速钢刀具 高速钢通常是型坯材料，韧性较硬质合金好，硬度、耐磨性和热硬性较硬质合金差，不适于切削硬度较高的材料，也不适于进行高速切削。高速钢刀具使用前需生产者自行刃磨，且刃磨方便，适于各种特殊的非标准刀具。

(2) 硬质合金刀具 硬质合金刀片切削性能优异，在数控车削中广泛使用。硬质合金刀片有标准规格系列产品，具体技术参数和切削性能由刀具生产厂家提供。

硬质合金刀片按国际标准分为三大类：P类，M类，K类。

1) P类——适于加工钢、长屑可锻铸铁，相当于我国的YT类。

2) M类——适于加工奥氏体不锈钢、铸铁、高锰钢、合金铸铁等，相当于我国的YW类。

3) K类——适于加工铸铁、冷硬铸铁、短屑可锻铸铁、非钛合金，相当于我国的YG类。

(3) 陶瓷刀具 陶瓷刀具是利用属于非金属材料的特种陶瓷原料加工而成，由于控制了原料纯度和颗粒尺寸细化，并添加了各种碳化物、氮化物、硼化物和氧化物等改善其性能，同时通过颗粒、晶须、相变、微裂纹和几种增韧机理的协

同作用,提高其断裂韧度,不仅使抗弯强度提高到 $0.9 \sim 1.0\text{GPa}$ (高的可达 $1.3 \sim 1.5\text{GPa}$),而且断裂韧度和抗冲击性能都有很大提高,应用范围日益扩大。除可用于一般的精加工和半精加工外,也可用于冲击负荷下的粗加工,在国际上是公认的提高生产效率最有潜质的刀具。

(4) 立方氮化硼刀具 立方氮化硼刀具是指用立方氮化硼 (Cubic Boron Nitride, CBN) 做成切削部分的刀具。立方氮化硼是氮化硼 BN 的同素异构体之一,结构与金刚石相似,是用超高温超高压技术人工合成的超硬材料。其硬度仅次于金刚石 (显微硬度可达 $8000 \sim 9000\text{HV}$),且热稳定性高 (达 $1250 \sim 1350^\circ\text{C}$),对铁族元素化学惰性大,抗黏结能力强,用金刚石砂轮即可磨削开刃,故适于加工 35HRC 以上的硬质材料,如各种淬硬钢 (碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、轴承钢、模具钢等)、冷硬铸铁、钴基和镍基高温合金、硬质合金、表面喷涂 (焊) 材料等高硬及耐磨材料,也可用于钛合金、纯镍、纯钨及其他材料的加工。用立方氮化硼刀具加工淬硬钢的表面粗糙度值可达 $Ra0.4 \sim 1.6\mu\text{m}$,精度可达 IT6 ~ IT7。

(5) 金刚石刀具 可以制成切削刀具的金刚石材料有天然单晶金刚石和人造聚晶金刚石两类。天然单晶金刚石硬度达 $9000 \sim 10000\text{HV}$,是自然界中最硬的物质。这种材料耐磨性极好,制成刀具在切削中可长时间保持尺寸的稳定,故而有很长的刀具寿命。天然金刚石刀具刃口可以加工到极其锋利,可用于高速超精加工有色金属及其合金,如铝、黄金、巴氏合金、铍铜、紫铜等。天然金刚石材料韧性很差,抗弯强度很低,仅为 $0.2 \sim 0.5\text{GPa}$ 。热稳定性差,温度达到 $700 \sim 800^\circ\text{C}$ 时就会失去硬度,温度再高就会碳化。另外,它与铁的亲合力很强,一般不适于加工钢铁。

人造聚晶金刚石 (Poly Crystalline Diamond, PCD) 是在高温高压下将金刚石微粉加溶剂聚合而成的多晶体材料。PCD 的硬度比天然金刚石低 (6000HV 左右),但抗弯强度比天然金刚石高很多。另外,通过调整金刚石微粉的粒度和浓度,使 PCD 制品的力学性能物理性能发生改变,以适应不同材质、不同加工环境的需要。PCD 刀具比天然金刚石的抗冲击和抗振性能高出很多。与硬质合金相比,人造聚晶金刚石硬度高出 $3 \sim 4$ 倍,耐磨性和寿命高 $50 \sim 100$ 倍,切削速度可提高 $5 \sim 20$ 倍,表面粗糙度值可达到 $Ra0.05\mu\text{m}$,切削效率高,加工精度稳定。PCD 同天然金刚石一样,不适合加工钢和铸铁。这种刀具主要用于加工有色金属及非金属材料,如铝、铜、锌、金、银、铂及其合金,还有陶瓷、碳纤维、橡胶、塑料等。

近年来,数控刀具材料新产品的研发在超硬材料 (金刚石、TiC 基类金属陶瓷、立方氮化硼、 Al_2O_3 、 Si_3N_4 基类陶瓷),W、Co 类涂层,细颗粒 (超细颗粒) 硬质合金基体及含 Co 类粉末冶金高速钢等领域进展速度较快,超硬材料刀

具已和机夹可转位刀具、整体刀具并列为第三大类广泛使用的刀具。图 1-3 所示为机夹可转位刀具、整体刀具及超硬材料刀具分类图。

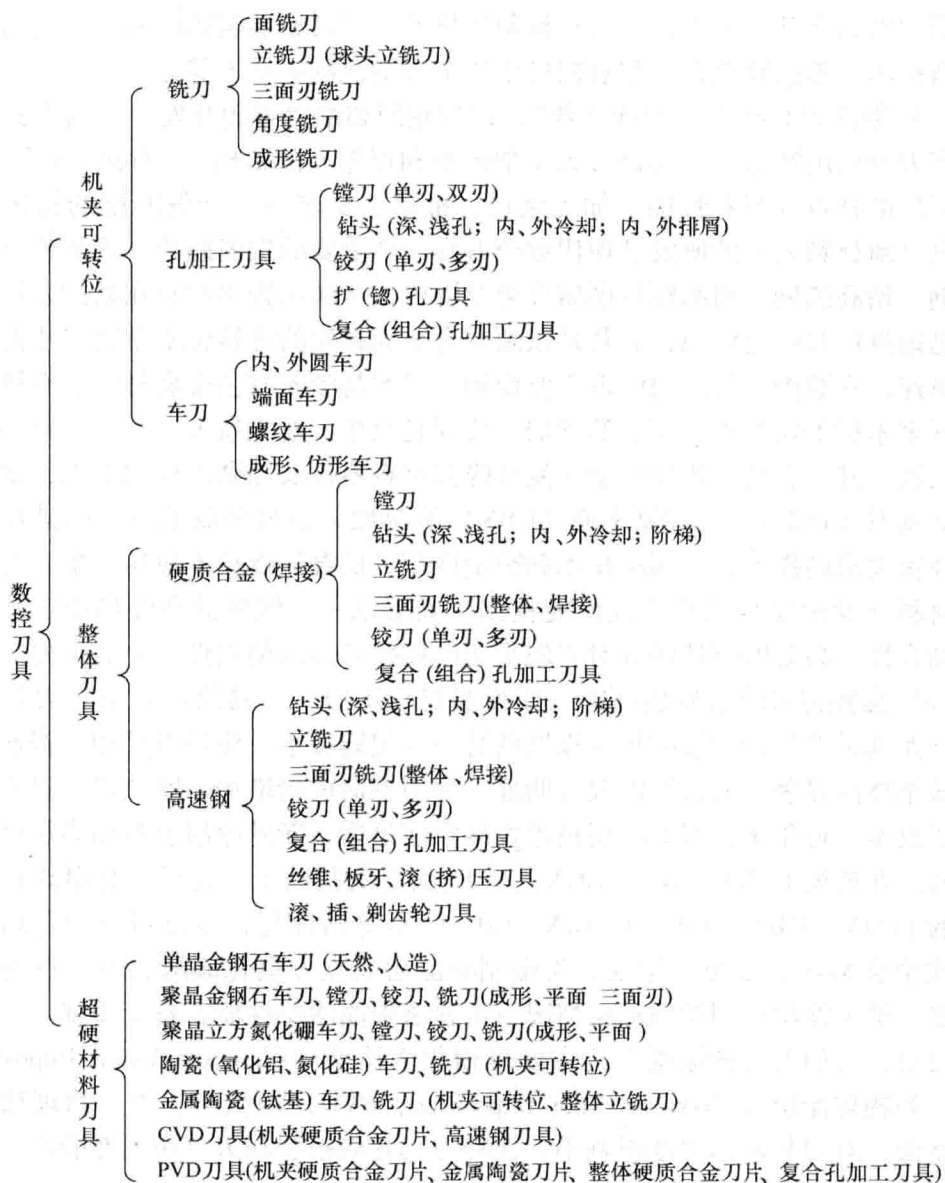


图 1-3 机夹可转位刀具、整体刀具及超硬材料刀具分类图

1.2.2 数控刀具技术的现状

近年来，数控刀具技术发展主要体现在研发一刀多切削功能、提高其切削刃切削性能方面，适应高速（超高速）、硬质（含耐热、难加工）、干式、精细

(超精)切削及高效率数控机床加工切削技术要求,高速、高效、复合、高精度、高可靠性是先进切削技术对数控刀具提出的要求。数控刀具制造技术的发展主要集中在如下几个方面:刀具材料制造技术、刀具涂层制造技术、刀具结构设计制造技术、连接数控刀具和数控机床的工具系统制造技术等方面。

(1) 数控刀具材料“对症下药”,重视超硬超细材料的开发 切削刀具材料是决定刀具切削性能,尤其是刀具切削效率和可靠性的基础。“对症下药”是指针对工件的特点(材料性能、加工余量、批量、要求等)开发匹配的特定材质的刀具,新材料刀具的研发是现代数控刀具一个重要的发展趋势。例如粉末冶金高速钢、钴高速钢、超细颗粒硬质合金及陶瓷、金属陶瓷等材料在数控刀具上得到了迅速推广和广泛应用,尤其是以硬质合金为材质的可转位不重磨刀片近年来发展迅速,在数控刀具应用中占主要份额。其次是随着有色金属材料、有机复合材料甚至木材等切削加工需求的增加,特别是汽车、航空航天、军工、家具制造业的发展,硅铝合金、铝镁合金、复合蜂窝材料零件及淬硬工件的加工,推动了聚晶金刚石(PCD)、立方氮化硼(CBN)等超硬刀具材料制造技术的进步。第三是环保要求的提倡,干切削技术和微量冷却、低温气冷技术应运而生,对切削刀具材料(及涂层)的抗高温性能提出了新要求——优良的高温热稳定性、高温抗黏合性、高温摩擦性能等对实施干切削数控刀具的使用性能至关重要。

(2) 数控刀具涂层发展迅速,新涂层层出不穷 刀具涂层是决定刀具切削性能,尤其是刀具切削效率和可靠性的另一项关键技术。涂层刀具相对普通刀具切削效率提高显著,刀具性能改善明显,使用寿命成倍增加,既节省了资源,又降低了成本。近年来,刀具涂层技术发展空前迅猛,新的涂层装备和涂层材料层出不穷。在传统的TiN、TiC、TiCN、Al₂O₃涂层的基础上,发展了高温热稳定性更好的TiAlN、TiBN、TiAlBN、CrN、CrC、SN₂等新涂层,以及可改善自润滑性能的软涂层MoS₂。金刚石涂层、类金刚石涂层及立方氮化硼涂层等也得到了快速发展。纳米涂层在同样的涂层情况下可显著提高涂层性能,备受重视。

目前,切削刀具的涂层工艺主要采用化学涂层(Chemical Vapor Deposition, CVD)和物理涂层(Physical Vapor Deposition, PVD)两大类。由于物理涂层工作温度低,对刀具基体强度影响小,保持刀具几何精度和刃口切削性能好,因此使用较多。

(3) 数控刀具和工具系统向高速、复合切削方向发展 数控刀具和可转位数控刀片结构及几何参数的创新优化设计,如新型精密成型的断屑槽型的开发,有效地改善了刀具的切削性能。近年来,数控组合刀具和复合刀具的开发步伐加快,如波状切削刃粗切滚刀和精切滚刀组合、齿轮滚刀和去毛刺刀具组合均使滚削加工效率得到了提高。为了适应复合车铣加工中心的要求,即在工件一次安装中完成平面、圆柱面、孔及螺纹切削加工的要求,开发了满足车铣自动换刀的新

型数控刀具和刀柄。

工具系统是连接数控刀具与数控机床主轴，传递切削运动和动力的接口部件。随着高速高效加工技术发展，传统的采用单面（锥面）约束夹紧、带 7:24 锥度的工具系统已经不能满足要求，而 HSK 工具系统（带有 1:10 锥面）得到了推广应用。它采用双面（锥面和端平面）约束夹紧原理，接触刚度和传递扭矩大大提高，具有定位（回转）精度好、允许转速高（ $\leq 150000\text{r}/\text{min}$ ）等特点，使其在高速数控加工设备得到了广泛的应用。

（4）刀具结构设计制造技术发展 近年来，高速切削技术应用和发展给数控刀具结构及其制造技术带来了重大的影响，三维参数化设计技术、基于单元刀具的设计方法、有限元分析方法等新技术在数控刀具设计与分析中得到了广泛应用，推进了可转位刀具设计技术的发展，极大地加快了刀片三维断屑槽形开发，使可转位刀具在车削、铣削、钻削等加工方面得到迅速的发展，同时也使刀杆结构设计得到极大优化、切削负荷分布更加合理。

CIRP（国际生产工程研究学会）曾公布一项研究报告指出“由于刀具材料的改进，刀具的切削速度每隔十年提高一倍；而由于刀具结构和几何参数的改进，刀具的使用寿命每隔十年几乎提高两倍”。采用新型刀具材料可以提高刀具的切削性能，而优化刀具切削部分的几何形状则能充分发挥新型材料的威力。

对于数控切削加工系统而言，必须重视数控刀具制造技术的发展，重视切削机理、数控刀具的设计、材料、制造工艺、刃口强化技术、表面强化技术、数控刀具检测技术以及数控刀具切削数据库等数控刀具制造全过程的技术发展和质量管理。采用先进信息技术，将数控刀具制造闭环系统中各个环节（包括应用）的信息进行集成、分析、诊断、反馈，以提高制造质量和水平，这对于数控刀具制造技术的发展至关重要，对数控切削加工技术的发展也至关重要。

1.2.3 我国数控刀具技术的发展现状

我国数控刀具的研制从 20 世纪 80 年代初开始，主要有成都成量工具集团、哈尔滨工量数控有限公司、上海工具有限公司、株洲硬质合金厂、自贡硬质合金厂、成都英格数控刀具、成都工具研究所等数控刀具、工具系统、可转位硬质合金刀片的主要生产厂。但由于技术、设备投入不够，对先进切削工具认识不足，多年来我国的数控刀具技术发展缓慢。

由于我国机床工具行业对现代金属切削刀具与传统刀具的差别缺乏足够的认识，长期以来重主机、轻工具，在发展战略上数控刀具与数控机床的发展严重脱节，使我国数控刀具制造与国外先进水平存在很大差距，国产数控刀具与国外进口刀具相比，质量、精度、寿命相对较低，品种少。国内有些工厂企业仍然习惯地按普通机床模式来选择数控刀具，造成切削加工生产率低下、切削加工成本增

加,致使对数控机床大量投资并未达到预期效果。如国内超细晶粒硬质合金刀具和高性能高速钢刀具牌号很少,专用牌号几乎没有,可转位刀片的槽型与模具的开发能力低,涂层技术也远远落后于国外工具厂,目前尚无 TiC (N) 商业牌号,更谈不上 TiAlN、MoS₂ 等新型涂层和纳米级涂层,使涂层这个至今覆盖面最广、可最有效提高刀具性能的技术得不到充分利用,国内应用最多的还是普通高速钢刀具和通用硬质合金刀具。

近年来,随着我国工具工业开发能力的提高、产品结构的调整和加大技术改造,在新技术和新产品方面也取得了一些可喜的成果。如上海工具有限公司开发的新产品除小尺寸整体硬质合金刀具以外,还有全部采用进口设备和原材料生产的 PCB 钻头和 PCB 铣刀,并形成了批量生产的能力,产品全部出口。成都成量集团公司数控刀具厂还推出了高速铝合金面铣刀、模块式曲轴可转位面铣刀、可转位复合镗刀等汽车行业专用刀具,以及可转位双刃可调镗刀、工具系统等产品。哈尔滨工量数控刀具有限责任公司为沈阳第一机床厂开发了配套的模块式可转位曲轴铣刀。国产陶瓷刀具近几年发展也很快,国产 Al₂O₃ 基和 Si₃N₄ 基陶瓷刀片的性能已接近国外同类产品的水平,可满足国内的需要,有的还出口国外。

在国内众多的数控刀具专业生产厂的共同努力下,一般精度 (10μm 级) 和转速在 8000r/min 以下的加工中心用工具系统和可转位刀具已经可以部分替代进口刀具,满足大多数数控加工用户的需要,其差距主要在工具寿命、外观和包装上。株洲硬质合金厂的可转位刀片在产品开发、切削性能、市场占有率上与进口刀片差距也在逐步减小。成都英格以高起点的软、硬件投入,崭新的经营理念和快速发展使其“EG-NC”牌数控刀具在国内独树一帜。但是,这些专业和非专业的刀具制造厂与世界上任何一家现代工具企业相比,其技术实力、生产能力和资产规模、全员生产率和市场份额都较小,且硬质合金材料生产、涂层技术研究和加工、刀片制造与刀具、工具系统制造各自为营,没有形成切削刀具产业链的紧密联合,孤军奋战,甚至互相进行低价、低水平、低档次竞争。这些都影响了我国数控刀具进一步发展。