



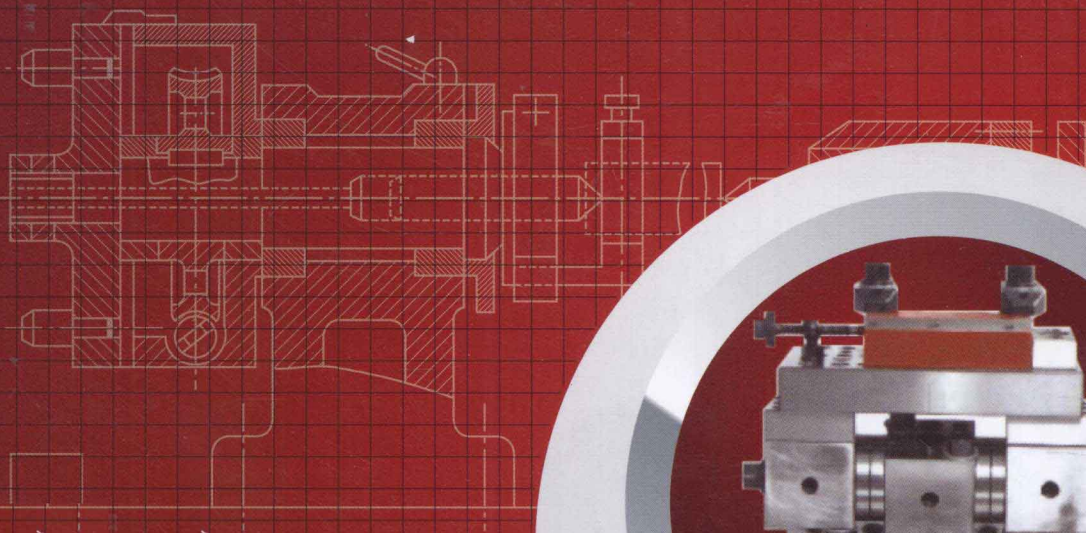
CHAOYING DAOJU YU SHUKONG
JIAGONG JISHU SHILI

超硬刀具与

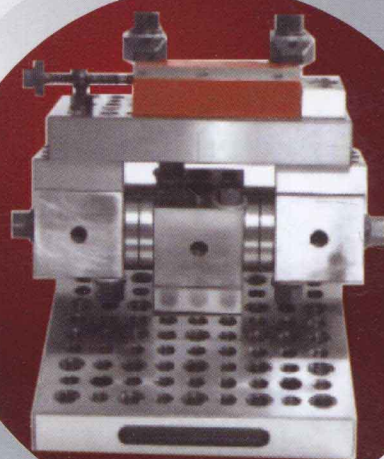
数控加工

技术实例

陈德道 主编



化学工业出版社



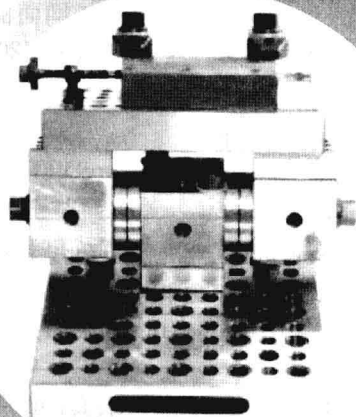
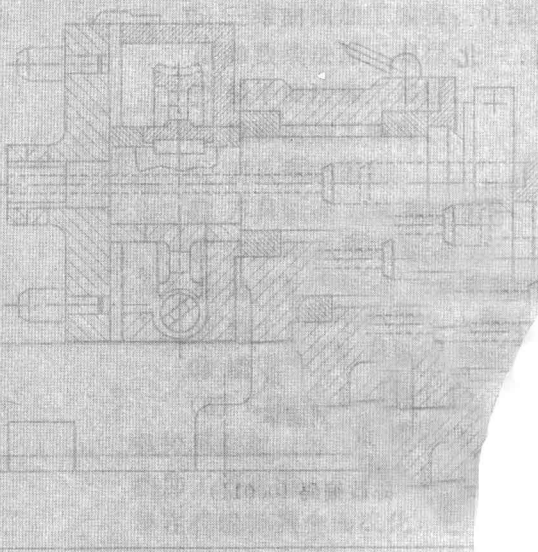
OYING DAOJU Y
ONG JISHU SHI

超硬刀具与 数控加工

技术实例



陈德道 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书介绍了数控技术基本原理及其应用,还介绍了超硬刀具及其在数控加工中的应用,本书共分12章:第1章介绍高速钢、硬质合金刀具、陶瓷刀具和可转位刀具等数控加工常用刀具的应用;第2章介绍金刚石刀具、立方氮化硼刀具和TiC(N)基硬质合金刀具等超硬刀具;第3章介绍数控机床组成、技术参数与机械结构;第4章介绍计算机数控系统基本原理、进给伺服系统、位置检测装置和可编程序控制器(PLC);第5章主要介绍数控铣削加工工艺分析和数控铣削工具系统;第6章介绍数控铣床编程与操作;第7章通过几个典型实例介绍数控铣削加工;第8章介绍数控车削加工工艺分析和数控车削工具系统;第9章介绍数控车床编程与操作;第10章通过几个典型实例介绍数控车削加工;第11章介绍超硬刀具在精密切削、难加工材料切削、硬切削、干切削和高速切削等数控加工中的应用;第12章简单介绍CAD/CAM技术。

本书可作为广大机械加工、超硬材料加工企业及相关专业技术人员的参考书,也可作为高等院校工科机械类专业数控技术课程的教材或参考用书,还可作为高职高专实际操作教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

超硬刀具与数控加工技术实例/陈德道主编. —北京:化学工业出版社, 2012.1
ISBN 978-7-122-13069-3

I. 超… II. 陈… III. 超硬刀具-数控机床-加工 IV. ①TG71②TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第265338号

责任编辑:朱彤

文字编辑:王琪

责任校对:周梦华

装帧设计:刘丽华

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:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张21¼ 字数595千字 2012年6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:65.00元

版权所有 违者必究

数控技术集机械制造技术、计算机技术、自动控制技术、测量技术、液压与气动技术等于一体，是制造业自动化、柔性化、集成化生产的基础，它的广泛应用使全球制造业发生根本性的变化，已引起世界各国科技界和工业界的很大重视，可以说数控技术的应用与创新是 21 世纪机械制造业进行技术更新与改造、向机电一体化方向发展的主要途径和主要手段。数控技术的水平及应用状况已成为衡量一个国家工业现代化水平的主要标志之一。

超硬刀具是随着现代工程材料的加工在硬度方面提出更高的要求应运而生，在 20 世纪的后 40 年中有了较大的发展。立方氮化硼具有高硬度、高热稳定性，对铁族元素呈惰性，故最适合制作切削各种淬硬钢，包括碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、轴承钢、模具钢，各种铁基、镍基、钴基和其他热喷涂（焊）零件等材料的刀具。金刚石刀具具有更高的硬度及其他优异性能，用它所制作的刀具，应用范围更为广泛，可以加工各种难加工材料，对有色金属，主要对铜、铝及其合金，进行超精密切削加工，切削纯钨、纯钼，工程陶瓷、硬质合金、工业玻璃，石墨、各种塑料，各种金属基与非金属基的、纤维加强和颗粒加强的复合材料。超硬刀具的产生，更大地促进数控技术的应用与发展。

随着数控技术在我国普及与发展，迫切需要培养大量素质高、能力强、掌握超硬刀具应用的数控技术应用人才。为适应数控技术和国民经济发展的需要，我们编写了《超硬刀具与数控加工技术实例》一书。在编写中，本书力求反映数控技术基本知识、核心技术与最新技术成就，注重超硬刀具的发展与应用，重视理论与实际相结合，取材和叙述上层次分明和内容合理。本书数控加工实例中的数控加工程序全部由编者经机床加工验证。本书可作为相关专业人员的参考书，也可作为高等院校工科机械类专业数控技术课程的教材或参考用书，还可作为高职高专实际操作教学用书。

本书共分 12 章：第 1 章介绍高速钢、硬质合金刀具、陶瓷刀具和可转位刀具等数控加工常用刀具的应用；第 2 章介绍金刚石刀具、立方氮化硼刀具和 TiC (N) 基硬质合金刀具等超硬刀具；第 3 章介绍数控机床组成、技术参数与机械结构；第 4 章介绍计算机数控系统基本原理、进给伺服系统、位置检测装置和可编程序控制器 (PLC)；第 5 章主要介绍数控铣削加工工艺分析和数控铣削工具系统；第 6 章介绍数控铣床编程与操作；第 7 章通过几个典型实例介绍数控铣削加工；第 8 章介绍数控车削加工工艺分析和数控车削工具系统；第 9 章介绍数控车床编程与操作；第 10 章通过几个典型实例介绍数控车削加工；第 11 章介绍超硬刀具在精密切削、难加工材料切削、硬切削、干切削和高速切削等数控加工中的应用；第 12 章简单介绍 CAD/CAM 技术。

本书由陈德道担任主编，参加编写的还有张志梅、孙永吉、穆玺红。其中第1章、第2章、第3章、第11章由张志梅编写，第4章、第12章由陈德道编写，第5章、第6章、第7章由孙永吉编写，第8章、第9章、第10章由穆玺红编写。本书由安虎平教授担任主审，安教授对本书进行了细致的审阅，还提出了许多宝贵的意见，在此表示感谢。

由于编者时间有限，书中难免有疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者
2012年2月

第1章 数控加工常用刀具	1
1.1 刀具材料类型与性能	1
1.1.1 刀具材料类型	1
1.1.2 刀具材料应具备的基本性能	2
1.2 高速钢	3
1.2.1 通用型高速钢	4
1.2.2 高生产率高速钢	5
1.2.3 粉末冶金高速钢	5
1.2.4 涂层高速钢	6
1.3 硬质合金	6
1.3.1 硬质合金组成与性能	6
1.3.2 硬质合金分类与牌号	7
1.3.3 细晶粒及超细晶粒硬质合金	9
1.3.4 涂层硬质合金	9
1.4 陶瓷刀具	10
1.4.1 陶瓷刀具的特点	10
1.4.2 陶瓷刀具的类型和应用	10
1.5 可转位刀具	11
1.5.1 可转位刀具的概念	11
1.5.2 可转位刀具的种类和用途	11
1.5.3 可转位刀具的夹紧方式与典型结构	13
第2章 超硬刀具	15
2.1 金刚石刀具	15
2.1.1 金刚石刀具的种类	15
2.1.2 金刚石刀具的性能特点	16
2.1.3 单晶金刚石刀具	16
2.1.4 聚晶金刚石刀具	16
2.1.5 CVD 金刚石刀具	16
2.1.6 金刚石刀具的制备	17
2.1.7 金刚石刀具材料的选用	17
2.2 立方氮化硼刀具	17
2.2.1 立方氮化硼刀具的性能特点	18
2.2.2 聚晶立方氮化硼刀具	18
2.2.3 立方氮化硼刀具的制备	18
2.2.4 立方氮化硼涂层刀具	19

2.2.5 立方氮化硼刀具材料的选用	19
2.3 陶瓷刀具	19
2.3.1 陶瓷刀具材料的组成、种类和性能	19
2.3.2 陶瓷刀具材料的增韧补强	21
2.4 TiC(N)基硬质合金	21
2.4.1 TiC(N)基硬质合金的组成及性能	22
2.4.2 涂层硬质合金	22
2.4.3 超细晶粒硬质合金	23
2.5 粉末冶金高速钢	23

第3章 数控机床的机械结构 24

3.1 数控机床组成与技术参数	24
3.1.1 数控机床的组成与加工特点	24
3.1.2 数控机床主要性能指标	28
3.1.3 数控车床主要技术参数	30
3.1.4 数控铣床/加工中心主要技术参数	30
3.2 数控机床的机械结构	31
3.2.1 数控加工对机床机械结构的要求	31
3.2.2 数控机床的机械结构	32
3.2.3 常见数控铣床加工中心的结构布局	43
3.2.4 数控车床的机械结构	48

第4章 计算机数控系统 56

4.1 计算机数控系统概述	56
4.1.1 CNC系统的组成与特点	56
4.1.2 计算机数控系统的硬件结构	58
4.1.3 计算机数控系统的软件结构	62
4.2 计算机数控系统的基本原理	66
4.2.1 数控加工程序的译码	67
4.2.2 刀具半径补偿	67
4.2.3 速度计算	69
4.2.4 位置控制原理	71
4.2.5 误差补偿原理	71
4.2.6 插补原理	73
4.2.7 加减速控制	83
4.3 数控机床的进给伺服系统	88
4.3.1 进给伺服系统概述	88
4.3.2 步进伺服驱动控制	93
4.3.3 直流伺服驱动控制	99
4.3.4 交流伺服驱动控制	105
4.3.5 直线电机在机床进给伺服系统中的应用	108
4.4 数控机床的位置检测装置	111
4.4.1 概述	111

4.4.2	旋转变压器	113
4.4.3	光栅尺的结构与工作原理	114
4.4.4	脉冲编码器结构与工作原理	117
4.5	可编程控制器	119
4.5.1	PLC 控制	119
4.5.2	PLC 的基本构成	119
4.5.3	PLC 的工作过程	121
4.5.4	PLC 在机床控制中的应用	121
4.5.5	PLC 梯形图解释	123

第5章 数控铣削加工工艺分析 **125**

5.1	加工工艺分析与设计	125
5.1.1	加工准备	125
5.1.2	工艺设计与规则	126
5.1.3	典型工件的铣削工艺分析	134
5.2	数控铣削工具系统	135
5.2.1	旋转刀具系统	135
5.2.2	铣削加工夹具的选择	141
5.2.3	常用量具的选用	143

第6章 数控铣床编程与操作 **157**

6.1	数控加工的坐标系	157
6.1.1	机床坐标系	157
6.1.2	工件坐标系	157
6.1.3	装夹坐标系	158
6.2	常用编程指令的应用	158
6.2.1	程序代码与结构	158
6.2.2	与坐标系有关的编程指令	159
6.2.3	准备指令	160
6.2.4	辅助功能	165
6.2.5	刀具长度补偿	166
6.2.6	刀具半径补偿	167
6.3	简化编程功能	169
6.3.1	子程序编程	169
6.3.2	镜像编程	170
6.3.3	旋转编程	171
6.3.4	比例缩放编程	172
6.3.5	宏程序编程	173
6.4	孔加工指令的应用	175
6.4.1	钻孔循环指令	175
6.4.2	镗孔循环指令	177
6.4.3	攻螺纹指令	178
6.5	数控铣床操作	179

6.5.1	操作面板	179
6.5.2	系统面板	182
6.5.3	操作流程	183
第7章	数控铣削加工实例	187
7.1	平面凸轮类零件的加工实例	187
7.1.1	基础知识	187
7.1.2	平面槽形凸轮	187
7.1.3	心形凸轮	188
7.2	支承套类零件的加工实例	190
7.2.1	基本知识	190
7.2.2	支承块	191
7.2.3	支承套	192
7.3	配合件类零件的加工实例	195
7.3.1	基本知识	195
7.3.2	配合件实例一	195
7.3.3	配合件实例二	199
7.4	孔类零件的加工实例	202
7.4.1	基本知识	202
7.4.2	单孔加工	204
7.4.3	双孔加工	205
7.4.4	螺纹加工	206
第8章	数控车削加工工艺分析	207
8.1	加工工艺分析与设计	207
8.1.1	加工准备——分析零件图	207
8.1.2	工艺设计与规则	208
8.1.3	典型零件的数控车削加工工艺分析	216
8.2	数控车削工具系统	223
8.2.1	车床工装夹具的概念	223
8.2.2	车床刀具系统	226
第9章	数控车床编程与操作	230
9.1	数控系统的功能	230
9.1.1	数控编程指令功能简介	230
9.1.2	数控车削加工程序	231
9.2	数控车床的编程特点	232
9.2.1	加工坐标系	232
9.2.2	直径指定或半径指定	232
9.2.3	进刀和退刀	232
9.3	数控车床常用编程指令的应用	233
9.3.1	加工准备类指令	233

9.3.2 基本加工类指令	235
9.3.3 刀具补偿功能指令	238
9.4 简化编程功能	242
9.4.1 循环加工类指令	242
9.4.2 车螺纹指令	249
9.4.3 FANUC 系统宏程序编程	251
9.5 数控车床的操作	254
9.5.1 CRT/MDI 操作面板	254
9.5.2 CRT/MDI 操作面板中各键功能介绍	255
9.5.3 机床操作面板	256
9.5.4 FANUC Oi Mate-TC 系统机床操作面板中各键功能介绍	256
9.5.5 数控车床操作	257

第 10 章 数控车削加工实例 **260**

10.1 轴类零件实例	260
10.1.1 编程加工轴类零件	260
10.1.2 编程加工哑铃状轴	262
10.1.3 编程加工带组合非圆曲线的轴	266
10.2 孔加工编程实例	269
10.2.1 编程加工内锥度零件	269
10.2.2 套类零件加工编程	272
10.2.3 编程加工非圆内孔	275
10.3 配合件实例	279
10.3.1 配合件实例一	279
10.3.2 配合件实例二	282
10.3.3 配合件实例三	289

第 11 章 超硬刀具在数控加工中的应用 **294**

11.1 超硬刀具在精密切削加工中的应用	294
11.1.1 精密与超精密加工技术	294
11.1.2 超硬刀具在精密与超精密切削中的应用	294
11.2 超硬刀具在难加工材料切削加工中的应用	295
11.2.1 高强度钢的加工	296
11.2.2 不锈钢的加工	298
11.2.3 钛合金的加工	301
11.2.4 非金属材料加工	304
11.3 超硬刀具硬切削加工	305
11.3.1 硬切削技术	305
11.3.2 硬切削对刀具性能的要求	306
11.3.3 硬切削加工参数的选择与刀具的应用	306
11.4 超硬刀具干切削加工	307
11.4.1 干切削技术	307
11.4.2 干切削对刀具性能的要求	308

11.4.3	干切削加工参数的选择与刀具的应用	309
11.5	超硬刀具在高速切削加工中的应用	311
11.5.1	高速切削加工对刀具材料的要求	311
11.5.2	高速切削加工的刀具材料种类、性能及其合理选择	312
11.5.3	超硬刀具的选择	317
11.5.4	陶瓷刀具的选择	318
11.5.5	涂层刀具的选择	320
11.5.6	高速切削加工刀具的构造特点	320
第12章	CAD/CAM 简介	325
12.1	CAM 软件发展过程	325
12.2	CAD/CAM 集成数控编程系统简介	325
12.2.1	CAD/CAM 集成数控编程系统的基本原理	325
12.2.2	CAD/CAM 集成数控编程系统的应用	326
12.2.3	常见的几种 CAD/CAM 软件简介	328
	参考文献	330

◆ 第1章

数控加工常用刀具

用刀具切削金属时，直接承担切削工作的是刀具的切削部分。刀具切削性能主要取决于刀具切削部分的材料、刀具的几何参数及刀具结构的设计是否合理。在数控机床上所用的刀具材料和类型，对数控加工的生产率和刀具耐用度的高低，刀具消耗和加工成本的大小，加工精度和表面质量的优劣等有很大影响，这些在很大程度上取决于数控加工刀具材料和刀具类型的合理选择。刀具材料发展中，从碳素钢刀具到高速钢刀具使得切削速度提高了近6倍，19世纪末到20世纪80年代的约80年间，切削加工的生产率提高了近100倍，大大提高了生产率。最近几十年先后出现的涂层硬质合金和涂层高速钢刀具，被誉为刀具材料的又一次革命，它的出现使得刀具材料发展中要提高材料硬度和耐磨性就要降低其强度和韧性的矛盾得到适当解决，获得了比较好的综合性能，有效提高了刀具的耐用度。超硬刀具材料（金刚石和立方氮化硼）则可直接用于加工淬硬钢和冷硬铸铁，获得较小的表面粗糙度，可部分代替磨削工艺，适用于高速加工，又进一步提高了生产率。

工件材料的发展促进了刀具材料的发展。很多新型的不锈钢、耐热钢、高温合金、耐磨合金铸铁以及航空航天工业中特种难加工材料的加工，要求提供切削性能更好的刀具材料，以便提高切削加工生产率和加工质量。在数控加工和高速加工中要求刀具材料应具备相应的性能，以保证加工的顺利进行。

1.1 刀具材料类型与性能

刀具由切削部分和夹持部分组成，切削部分也称刀头，夹持部分又称刀杆。刀具材料一般是指切削部分的材料。研究应用新型刀具材料，不但是有效提高生产率、加工质量和经济效益的重要途径，而且是解决某些难加工材料工艺问题的关键。

1.1.1 刀具材料类型

当前使用的刀具切削部分材料主要有工具钢（包括碳素工具钢、合金工具钢、高速钢）、硬质合金、陶瓷和超硬刀具材料四大类。

一般机械加工中使用最多的是高速钢与硬质合金，随着数控加工和高速加工技术的发展，

各种涂层刀具和超硬刀具材料的使用也日益增多。工具钢的硬度比其他刀具材料低、耐热性差，但抗弯强度高，价格便宜，焊接、加工和刃磨性等工艺性能好，因此，被广泛应用于中、低速切削的普通刀具和成形刀具。硬质合金硬度较高，耐热性和耐磨性较好，切削效率高，但刀片强度、韧性及焊接和刃磨工艺性比工具钢差，多用于制作车刀、铣刀及各种高效切削刀具。陶瓷刀具硬度和耐磨性好，但强度、韧性和导热性不及硬质合金，适用于高速精细加工硬质材料及一些难加工材料的连续切削。超硬刀具材料（包括金刚石和立方氮化硼）是最硬的刀具材料，适用于高硬度材料和超精加工的超硬材料加工。

1.1.2 刀具材料应具备的基本性能

刀具在切削加工时，要承受很大的切削压力和剧烈的摩擦。同时由于切削时金属塑性变形引起的切削热，使刀具切削刃上产生很高的切削温度和应力。在断续切削和工件材质不均匀时，还伴随着冲击、振动和切削温度波动等现象，在这样的条件下，刀具将迅速磨损或破损。因此，刀具材料应具备如下基本性能。

（1）高的硬度和耐磨性 硬度是指材料抵抗外界硬物压入其自身表面的能力，是刀具材料应具备的基本性能。刀具从工件上切下切屑，其硬度必须高于工件材料的硬度，一般切削金属所用刀具切削刃材料的硬度在室温下都应高于 60HRC。

耐磨性是材料抵抗磨损的能力。一般来说，刀具材料的硬度越高，耐磨性就越好。材料组织中硬质点（碳化物、氮化物、硼化物等）的硬度越高，数量越多，颗粒越小，分布越均匀，耐磨性就越高。刀具材料的耐磨性实际上不仅取决于它的硬度，而且也它的化学成分、强度和显微组织有关。

（2）足够的强度和韧性 要使刀具材料在承受很大压力、冲击载荷和振动的条件下正常工作而不产生崩刃和折断，刀具材料就必须具有足够的强度和韧性。

（3）高耐热性 耐热性是指刀具材料在高温下保持硬度、耐磨性、强度和韧性的性能，也称为热稳定性，或称为红硬性。它是衡量刀具材料切削性能的主要标志。刀具材料的高温硬度越高，则刀具的切削性能越好，允许的切削速度也越高。

除此之外，刀具材料还应具有在高温下抗氧化的能力以及抗黏结和抗扩散的能力，即良好的化学稳定性。

（4）良好的工艺性 即刀具材料便于制造成形，如锻造性能、热处理性能、高温塑性变形性能、切削加工性能和磨削加工性能等。

（5）经济性 即刀具材料资源丰富，获取成本低廉，它是刀具材料的重要指标之一。有的刀具材料（如超硬刀具材料）虽然单件成本很高，但因其使用寿命很长，分摊到每个零件上的成本不一定很高。因此在选用刀具材料时主要是考虑其经济效果。

（6）切削性能的可预测性 随着金属切削加工检测技术的发展和自动化高速高精度加工的需要，要求刀具磨损及刀具耐用度等切削性能具有良好的可预测性。

各种刀具材料的物理力学性能见表 1-1。

表 1-1 各种刀具材料的物理力学性能

材料种类		密度 /(g/cm ³)	硬度	抗弯强度 /GPa	抗压强度 /GPa	冲击韧性 /(kJ/m ²)	弹性模量 /GPa	热导率 /[W/(m·℃)]	线膨胀系数 /×10 ⁻⁶ ℃ ⁻¹	耐热性 /℃
碳素工具钢		7.6~7.8	63~65HRC	2.2	4		210	41.8	11.72	200~250
合金工具钢		7.7~7.9	63~66HRC	2.4	4		210	41.8	—	300~400
高速钢 W18Cr4V		8.7	63~66HRC	3~3.4	4	180~320	210	20.9	11	620
硬质合金	YG6	14.6~15	89.5HRA	1.45	4.6	30	630~640	79.4	4.5	900
	YT14	11.2~12	90.5HRA	1.2	4.2	7		33.5	6.21	900

续表

材料种类		密度 /(g/cm ³)	硬度	抗弯强度 /GPa	抗压强度 /GPa	冲击韧性 /(kJ/m ²)	弹性模量 /GPa	热导率 /[W/(m·℃)]	线膨胀系数 /×10 ⁻⁶ ℃ ⁻¹	耐热性 /℃
陶瓷	Al ₂ O ₃ 陶瓷	3.95	>91HRA	0.45~0.55	5	5	350~400	19.2	7.9	1200
	Al ₂ O ₃ +TiC	4.5	93~94HRA	0.55~0.65						
	Si ₃ N ₄ 陶瓷	3.26	91~93HRA	0.75~0.85	3.6	4	300	38.2	1.75	1300
金刚石	天然金刚石	3.47~3.56	10000HV	0.21~0.49	2		900	146.5	0.9~1.18	700~800
	聚晶金刚石		6500~8000HK	2.8	4.2		560	100~108.7	5.4~6.48	700~800
立方氮化硼	烧结体	3.45	6000~8000HV	1.0	1.5		720	41.8	2.5~3	1000~1200
	复合刀片		≥5000HV	1.5						>1000

1.2 高速钢

高速钢是一种加入了较多的钨（W）、钼（Mo）、铬（Cr）、钒（V）等合金元素的高合金工具钢。高速钢是综合性能较好、应用范围广泛的一种刀具材料。具有较高的耐热性，在切削温度高达500~650℃时，尚能进行切削。与碳素工具钢和合金工具钢相比，高速钢刀具可提高切削速度1~3倍，耐用度提高10~40倍，它可以加工从有色金属到高温合金的广泛范围的工作件材料。

高速钢具有高的强度（抗弯强度为硬质合金的2~3倍，为陶瓷的5~6倍）和韧性（较硬质合金及陶瓷高几十倍），见表1-1，具有一定的硬度（63~70HRC）和耐磨性，适合于各类刀具要求，对于刚性较差的机床更为适用。

高速钢刀具具有良好的工艺性，容易制成锋利的切削刃，热处理变形小，能锻造，特别是用于成形刀具和形状复杂的刀具，如钻头、铣刀、丝锥、成形刀具、拉刀、齿轮刀具等。高速钢的使用占刀具材料总量的60%~70%。

按用途不同，高速钢分为通用型高速钢和高性能高速钢；按制造工艺方法不同，高速钢分为熔炼高速钢和粉末冶金高速钢。常用的几种高速钢的牌号及物理力学性能见表1-2。

表 1-2 常用的高速钢牌号及物理力学性能

类 型	牌 号 ^①			硬度/HRC			抗弯强度 σ _{bb} /GPa	冲击韧性 a _k /(MJ/m ²)
	YB12-77 牌号	美国 AISI 代号	国内有关厂代号	常温	500℃	600℃		
普通高速钢	W18Cr4V(T1)			63~65	56	48.5	2.94~3.33	0.176~0.314
	W6Mo5Cr4V2(M2)			63~65	55~56	47~48	3.43~3.92	0.294~0.392
	W9Mo3Cr4V			65~66.5	—	—	4~4.5	0.343~0.392
高性能高速钢	高钒	W12Cr4V4Mo(EV4)		65~67	—	51.7	约 3.136	约 0.245
		W6Mo5Cr4V(M3)		65~67	—	51.7	约 3.136	约 0.245
	含钴	W6Mo5Cr4V2Co8(M36)		66~68	—	54	约 2.92	约 0.294
		W2Mo9Cr4VCo8(M42)		67~70	60	55	2.65~3.72	0.225~0.294
	含铝	W6Mo5Cr4V2Al(M2Al)(501)		67~69	60	55	2.84~3.82	0.225~0.294
		W10Mo4Cr4V3Al(5F6)		67~69	60	54	3.04~3.43	0.196~0.274
		W6Mo5Cr4V5SiNbAl(B201)		66~68	57.7	50.9	3.53~3.82	0.255~0.265

① 牌号中化学元素后面的数字表示成分含量大致百分比，未注者约为1%。



1.2.1 通用型高速钢

这类高速钢含碳量为 0.7%~0.9%，应用广泛，约占高速钢总量的 75%。按含钨、钼质量分数的不同分为钨系高速钢（含 12%W、18%W）、钨钼系高速钢（含 6%W、8%W）、钼系高速钢（含 2%W 或不含 W）。

这类钢按其耐热性可称为中等热稳定性高速钢。它经过 4h 加热到 615~620℃后，仍保持硬度为 60HRC。由于这类钢具有一定的硬度（60~66HRC）和耐磨性，高的硬度和强度，良好的塑性和磨削加工性，因此被广泛用于制造各种复杂刀具，可切削硬度在 250~280HB 以下的大部分结构钢和铸铁，占高速钢总量的 75%~80%。

通用型高速钢的切削速度一般不太高，切削普通钢料时不高于 40~60m/min。

（1）钨系高速钢 这种钢的典型牌号是 W18Cr4V（简称 W18），它含 18%W，4%Cr，1%V，具有较好的综合性能，见表 1-2，在 600℃时的高温硬度为 48.5HRC，可用于制造各种复杂刀具。

W18Cr4V 的优点是：含钨量少，刃磨工艺性好；淬火时过热倾向小，热处理控制较容易；含碳化物较高，塑性变形抗力较大。缺点是：碳化物分布不均匀，剩余碳化物颗粒大（最大达到 30μm），影响薄刃刀具或小截面刀具的耐用度，不宜制作大截面的刀具；强度和韧性显得不够，在很大程度上强度和韧性取决于工具横截面面积大小（如直径 30mm 棒料的抗弯强度可达 3~3.3GPa，而直径 60mm 或 80mm 棒料的抗弯强度仅为 2~2.3GPa），可见这种钢只在做小截面刀具时强度和韧性才是令人满意的；热塑性差，故 W18 钢不宜用热成形方法制造刀具。因为钨的价格高，目前国内使用逐渐减少，国外已很少采用。

我国生产的另一种钨钢是 W14Cr4VMnXt。这种钢通过减少钨、增加锰含量并加入稀土元素，改善了碳化物及热塑性，可用于做轧制或扭制钻头，其切削性能与 W18 钢相当，磨削加工性也很好。

（2）钨钼系高速钢 这种钢是将钨钢中的一部分钨用钼代替所得的一种高速钢。如果钨钼钢中的钨不少于 6%，钼不多于 5%，而且满足 $\Sigma(W+1.4\sim 1.5Mo)=12\%\sim 13\%$ 时，则可保证钼对钢的强度和韧性具有有利的影响，同时不损害钢的稳定性。

钨钼系高速钢的典型牌号是 W6Mo5Cr4V2（简称 M2），它含 6%W，5%Mo，4%Cr，2%V。这种钢的碳化物细小，分布均匀，具有良好的力学性能。它的抗弯强度比 W18 钢高 10%~15%，韧性高 50%~60%，而且大截面的工具也有这种优点，因而可做尺寸较大、受冲击力较大的刀具。

M2 钢的热塑性特别好，适于制作热轧或扭制刀具（如麻花钻头等）的热成形工艺中。

M2 钢的磨削加工性也很好，是目前使用较多的一种通用型高速钢。

M2 钢的热稳定性稍低于 W18 钢，因此在较高速度（ $v>40\text{m/min}$ ）切削时，切削性能稍低于 W18 钢，在较低速度时，二者完全一样。

M2 钢的主要缺点是热处理时脱碳倾向较大，较易氧化，淬火温度范围较窄。

我国生产的另一种钨钼钢是 W9Mo3Cr4V（简称 W9），它具有良好的力学性能，抗弯强度和冲击韧性均优于上述牌号。热稳定性略高于 M2 钢。这种钢的碳化物均匀性优于 W18 钢而接近于 M2 钢，具有良好的热塑性，易锻、易轧，热处理温度范围宽，脱碳倾向比 M2 钢小得多（略高于 W18 钢），磨削加工性也好。用这种钢做的刀具在加工不同材料时，刀具耐用度比上述钢种都有一定程度的提高。典型通用型高速钢性能比较见表 1-3。

表 1-3 W-Mo 钢、Mo 钢和 W 钢热稳定性

钢的分类	钢 的 牌 号	淬火硬度 /HRC	回火硬度 /HRC	硬度/HRC		
				加热温度 600℃	加热温度 625℃	加热温度 650℃
W-Mo 钢	W6Mo5Cr4V2	63	64	60.5~61	58	48
	W8Mo3Cr4V2	64	64	61.5~62	59	49
Mo 钢	W2Mo8Cr4V	64	63	58.5	54	42
W 钢	W18Cr4V	64	64	62	59	48.5
	W12Cr4V2	64	64.5	62	59.5	49

注：淬火到晶粒度 10 级。560℃回火三次。

1.2.2 高生产率高速钢

高生产率高速钢的化学成分见表 1-4。

表 1-4 高生产率高速钢的化学成分

牌号(简写代号)	化学成分(质量分数)/%									
	C(碳)	W(钨)	Mo(钼)	Cr(铬)	V(钒)	Co(钴)	Si(硅)	Mn(锰)	S(硫)	P(磷)
W6Mo5Cr4V3(6-5-4-3)	1.00~	5.00~	4.75~	3.75~	2.25~	—	0.20~	0.15~	≤0.030	≤0.030
	1.10	6.75	6.75	4.50	2.75		0.45	0.40		
CW6Mo5Cr4V3(高碳 6-5-4-3)	1.15~	5.00~	4.75~	3.75~	2.75~	—	0.20~	0.15~	≤0.030	≤0.030
	1.25	6.75	6.75	4.50	3.25		0.45	0.40		
W6Mo5Cr4V2Co5(6-5-4-2-5)	0.80~	5.50~	4.50~	3.75~	1.75~	4.50~	0.20~	0.15~	≤0.030	≤0.030
	0.90	6.50	5.50	4.50	2.25	5.50	0.45	0.40		
W18Cr4VCo5(18-4-1-5)	0.70~	17.5~	0.40~	3.75~	0.80~	4.25~	0.20~	0.10~	≤0.030	≤0.030
	0.80	19.0	1.00	4.50	1.20	5.75	0.40	0.40		
8W18Cr4V2Co8(18-4-2-3)	0.75~	17.5~	0.50~	3.75~	1.80~	7.00~	0.20~	0.20~	≤0.030	≤0.030
	0.65	19.0	1.25	5.00	2.40	9.50	0.40	0.40		
W12Cr4V5Co5(12-4-5-5)	1.50~	11.75~	≤1.00	3.75~	4.50~	4.75~	0.15~	0.15~	≤0.030	≤0.030
	1.60	13.00		5.00	5.25	5.25	0.40	0.40		

1.2.3 粉末冶金高速钢

粉末冶金高速钢是通过高压惰性气体雾化熔融的高速钢水而得到细小的高速钢粉末，然后将这种粉末在高温高压下压制烧结成致密的钢坯，最后轧制成钢材或刀具形状的一种高速钢。粉末冶金高速钢在 20 世纪 60 年代由瑞典首先研制成功。

粉末冶金高速钢有下列优点。

(1) 可解决一般熔炼高速钢在铸锭时产生的粗大碳化物共晶偏析，得到细小均匀的结晶组织。晶粒尺寸小于 2~3μm，而一般熔炼钢为 8~20μm。这就使粉末冶金高速钢具有良好的力学性能，硬度能达到 69.5~70HRC，强度 σ_{bb} 达到 2.73~3.43GPa。在轻度变形条件下，粉末冶金高速钢的强度和韧性分别是熔炼钢的 2~2.5 倍；在大变形条件下，与熔炼钢相比，粉末冶金高速钢的强度和韧性分别提高 30%~40%和 80%~90%。

(2) 这种钢的磨削加工性好，不会由于增加含钒量（加入钒可提高其耐磨性）而降低磨削加工性。粉末冶金高速钢的磨削加工性比熔炼钢高 2~3 倍，磨削表面粗糙度可显著减小。这一优点使得粉末冶金高速钢能用于制造新型的、增加合金元素的、加入大量碳化物的超硬高速钢，而不降低其刃磨工艺性。这是熔炼钢无法比拟的。

(3) 由于粉末冶金高速钢物理力学性能的高度各向同性，可减小热处理变形（只有熔炼钢的 1/3~1/2）和应力，因此，可用于制造精密刀具。

(4) 由于碳化物均匀分布的面积较大，而且不易从切削刃上剥落，故粉末冶金高速钢的耐



磨性可提高 20%~30%。

此外,粉末冶金高速钢成形时具有高的合格率,提高了材料的利用率,降低了制造成本。粉末冶金的方法提供了在现有高速钢成分中加入大量碳化物,制成性能介于现有高速钢和硬质合金之间的新材料的可能性。

粉末冶金高速钢适用于制造难切削加工材料的刀具及大尺寸刀具(如滚刀、插齿刀),也适于制造精密复杂刀具,对于高压动载荷下使用的刀具(如断续切削刀具)以及小截面、薄刃刀具和成形刀具,粉末冶金钢刀具的耐用度比熔炼钢高 2~3 倍。目前,粉末冶金高速钢使用尚少的原因主要是成本较高。

1.2.4 涂层高速钢

涂层高速钢是在韧性较好的高速钢刀具表面采用物理气相沉积(PVD)方法,涂覆 TiN 等硬膜以提高刀具表面性能的高速钢。涂层技术是一种新工艺,这种工艺要求在高真空、500℃ 环境下进行,气化的钛离子与氮反应,在阳极的刀具表面上生成 TiN,一般厚度只有 2μm,对刀具的尺寸影响不大。

涂层的高速钢是一种复合材料,基体是强度高、韧性好的高速钢,而表面是高硬度、高耐磨的材料。TiN 有较高的热稳定性,与钢的摩擦系数较低,而且与高速钢涂层结合牢固。表面硬度可达 2200HV,呈金黄色。

涂层高速钢刀具的切削力、切削温度约下降 25%,切削速度、进给量可提高 1 倍左右,刀具寿命显著提高。重磨后其性能仍高于普通高速钢。目前已广泛应用于钻头、丝锥、成形铣刀、切齿刀具上。

除 TiN 涂层外,新开发的 TiCN、TiAlN 涂层在切削不锈钢、铸铁时性能更好。

1.3 硬质合金

1.3.1 硬质合金组成与性能

(1) 硬质合金的组成 硬质合金是由硬度和熔点很高的碳化物(称为硬质相,如 WC、TiC、TaC、NbC 等)和金属(称为黏结相,如 Co、Mo、Ni 等)经粉末冶金方法制成的。

(2) 硬质合金性能 硬质合金的物理力学性能取决于合金的成分、粉末颗粒的粗细以及合金的烧结工艺。由于硬质合金成分中含有大量金属碳化物,这些碳化物都具有熔点和硬度高、化学稳定性好、热稳定性好的特点,因此,硬质合金的硬度、耐磨性、耐热性都很高。常用硬质合金的硬度为 89~94HRA,比高速钢的硬度(83~86.6HRA)高。耐热性达到 800~1000℃。切削钢时,切削速度可达 220m/min 左右。在 540℃ 时,硬质合金的硬度为 82~87HRA,相当于高速钢的常温硬度,在 760℃ 时仍能保持 77~85HRA。因此,硬质合金的切削性能比高速钢高得多,刀具耐用度可提高几倍到几十倍,在耐用度相同时,切削速度可提高 4~10 倍。

常用硬质合金的抗弯强度为 0.9~1.5GPa,比高速钢强度低得多,冲击韧性也很差,见表 1-5。因此,硬质合金刀具不能像高速钢刀具那样能够承受大的切削振动和冲击负荷。

硬质合金含高硬度、高熔点的硬质相越多,合金的硬度与高温硬度越高。含黏结剂越多,强度也就越高。合金中加入 TaC、NbC 有利于细化晶粒,提高合金的耐热性,可使耐热性提高到 1000~1100℃,切削钢的速度可进一步提高到 200~300m/min。