

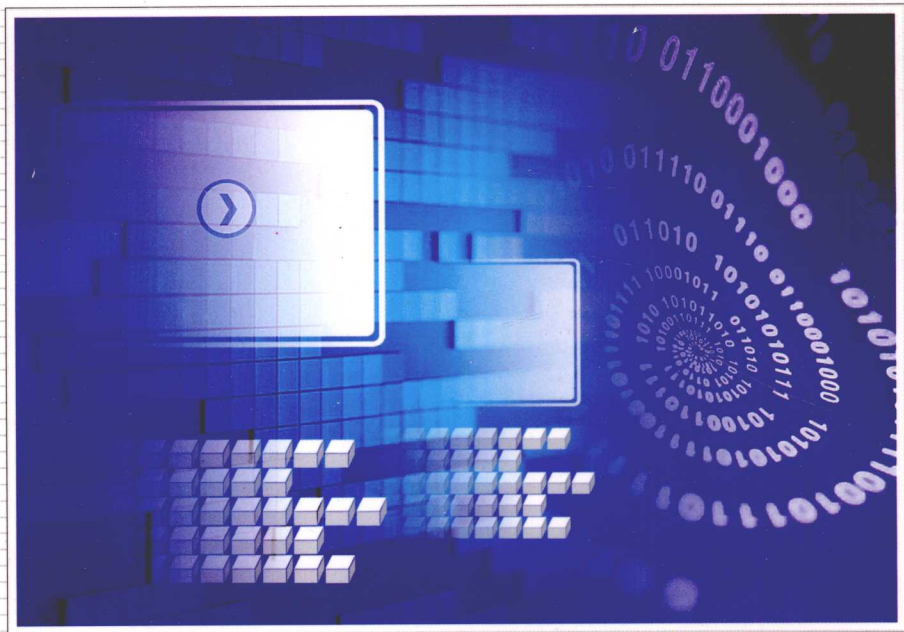


中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

数控加工技术

shukong jiagong jishu

■ 主编 李铁光 汪佑思 吴 凯



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21世纪中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

数控加工技术

主 编 李铁光 汪佑思 吴 凯
副主编 符兴承 文 灏

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书是根据教育部最新颁布的《数控加工技术》中等职业教育教学大纲编写的。采用最新课程结构模式要求,体现了数控加工工艺方面的新知识、新技术,全面贯彻最新国家标准,且在每章后配有大量练习,使得全书学习与巩固一步一趋,有助于学生的理解和消化。

本书可以作为中等职业教育数控加工技术应用专业主干教材,也可以作为该专业的技术人员自学参考书。

版权专用 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术/李铁光,汪佑思,吴凯主编. —北京:

北京理工大学出版社, 2009. 9

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2831 - 2

I. 数… II. ①李…②汪…③吴… III. 数控机床 - 加工
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 158454 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通县华龙印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 9.5

字 数 / 243 千字

版 次 / 2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

定 价 / 17.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 母长新

图书出现印装质量问题,本社负责调换

出版说明

中等职业教育是以培养具有较强实践能力,面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育,是职业技术教育的初级阶段。目前,中等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据教育部关于要求发展中等职业技术教育,培养职业技术人才的大纲要求,北京理工大学出版社组织编写了《21 世纪中等职业教育特色精品课程规划教材》。该系列教材是中等职业教育课程改革项目研究成果。坚持以能力为本位,以就业为导向,以服务学生职业生涯发展为目的的指导思想。主要从以下三个角度切入:

1. 从专业建设角度

该系列教材摒弃了传统普通高等教育和传统职业教育“学科性专业”的束缚,致力于中等职业教育“技术性专业”。主体内容由与一线技术工作相关联的岗位有关知识所构成,充分体现职业技术岗位的有效性、综合性和发展性,使得该系列教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性,而且突出知识的实用性、综合性,把职业岗位所需要的知识和实践能力的培养融于一炉。

2. 从课程建设角度

该系列教材规避了现有的中等职业教育教材内容上的“重理论轻实践”、“重原理轻案例”,教学方法上的“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”,考核评价上的“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向,力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容,加强实践性教学环节,注重案例教学和能力的培养,使职业能力的提升贯穿于教学的全过程。

3. 从人才培养模式角度

该系列教材为了切合中等职业教育人才培养的产学结合、工学交替培养模式,注重有学就有练、学完就能练、边学边练的同步教学,吸纳新技术引用、生产案例等情景来激活课堂。同时,为了结合学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的实际,注重对新知识、新工艺、新方法、新标准引入,在培养学生创造能力和自我学习能力的培养基础上,力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了贯彻和落实上述指导思想,在本系列教材的内容编写上,我们坚持以下一些原则:

1. 适应性原则

在进行广泛的社会调查基础上,根据当今国家的政策法规、经济体制、产业结

构、技术进步和管理水平对人才的结构需求来确定教材内容。依靠专业自身基础条件和发展的可行性,以相关行业和区域经济状况为依托,特别强调面向岗位群体的指向性,淡化行业界限、看重市场选择的用人趋势,保证学生的岗位适应能力得到训练,使其有较强的择业能力,从而使教材有活力、有质量。

2. 特色性原则

在调整原有专业内容和设置专业新兴内容时,注意保留和优化原有的、至今仍适应社会需求的内容,但随着社会发展和科技进步,及时充实和重点落实与专业相关的新内容。“特色”主要是体现为“人无我有”,“人有我精”或“众有我新”,科学预测人才需求远景和人才培养的周期性,以适当超前性专业技术来引领教材的时代性。结合一些一线工作的实际需要和一些地方用人单位的区域资源优势、支柱产业及其发展方向,参考发达地区的发展历程,力争做到专业课内容的成熟期与人才需求的高峰期相一致。

3. 宽口径性原则

拓宽教材基础是提高专业适应性的重要保证之一。市场体制下的人才结构变化加快,科技迅猛发展引起技术手段不断更新,用人机制的改革使人才转岗频繁,由此要求大部分专门人才应是“复合型”的。具体课程内容应是当宽则宽,当窄则窄。在紧扣本专业课程内容基础上延伸或派生出一些适应需求的与其他专业课相关的综合技能。既满足了社会需求又充分锻炼学生的综合能力,挖掘了其潜力。

4. 稳定性和灵活性原则

中职职业教育的专业课程都有其内核的稳定性,这种内核主要是体现在其基本理论,基础知识等方面。通过稳定性形成专业课程教材的专业性特点,但同时以灵活的手段结合目标教学和任务教学的形式,设置与生产实践相切合的项目,推进教材教学与实际工作岗位对接。

为了更好地落实本教材的指导思想和编写原则,教材的编写者都是既有一定的教学经验、懂得教学规律,又有较强实践技能的专家,他们分别是:相关学科领域的专家;中等职业教育科研带头人;教学一线的高级教师。同时邀请众多行业协会合作参与编写,将理论性与实践性高度统一,打造精品教材。另外,还聘请生产一线的技术专家来审读修订稿件,以确保教材的实用性、先进性、技术性。

总之,该系列教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的成果,希望本系列教材能为职业教育的提高和发展作出贡献。

北京理工大学出版社

前 言



本书是根据教育部最新颁布的中等职业学校数控技术应用专业主干课程“数控加工技术”教学基本要求编写的，是中等职业教育国家规划教材。

根据中等职业教育的培养目标、教学要求和教育特点，本书将数控加工必备的金属切削加工基本知识、夹具设计与使用基本知识、工艺规程编制基本知识、数控加工程序编制基本知识、特种加工基本知识和机械加工质量分析基本知识融为一体，以培养学生运用知识的能力、实践操作能力和改革创新的能力。

采用模块式课程结构，对学生必须掌握的基本知识、基本理论和基本技能，作为必修的基础模块，放在每章内容的前面，并对有些偏而深的内容，适当地降低了理论要求。

本书体现了数控加工工艺方面的新知识、新技术，全面贯彻了最新的技术制图标准以及其他相关的国家新标准，反映了加强实践能力训练的新方法。

深化课程改革，重视中等职业教育特点，采用新的课程体系和编排次序，突出重点，讲求实用，理论联系实际，符合学生的认知规律，方便教与学。

本书体系完整、取材适当、插图醒目，较好地体现了科学性、先进性、系统性和适用性，体现了中等职业教育的特色，能满足生产第一线对高素质劳动者的培养需求，符合中等职业教育的现状和今后的发展需要。

由于编者水平有限，加之编写时间仓促，书中一定有不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

编者

目 录

第一章 数控加工基本知识.....	1
第一节 金属切削运动及其形成的表面.....	1
第二节 车刀的组成及材料.....	2
第三节 金属切削加工过程中的主要现象及基本规律	12
第二章 数控加工的基本操作	21
第一节 刀具切削部分的几何角度	21
第二节 切削用量参数与切削层参数	26
第三节 切削力与切削功率	28
第四节 工件的定位	33
第五节 工件的夹紧	39
第三章 数控加工方法	44
第一节 车削加工	44
第二节 磨削加工	57
第三节 钻削加工	63
第四节 铣削加工	69
第五节 特种加工	77
第四章 数控加工工艺	87
第一节 数控加工工艺内容	87
第二节 零件的工艺性分析和确定毛坯	90

第三节	选择定位基准和拟订工艺路线	95
第四节	确定各工序的加工余量及工件装夹与夹具的选择	103
第五节	对刀点、换刀点和各工序切削量的确定	106
第五章 机械加工质量		116
.....		
第一节	机械加工精度	116
第二节	误差统计分析方法及提高加工精度的措施	127
第三节	机械加工表面质量	135

数控加工基本知识



数控加工技术是一个国家繁荣昌盛的最根本的技术基础之一，其主要作用正越来越被人们所认识。本章主要从金属切削过程的基本知识入手，讲解切削表面的形成和车刀的组成及材料相关知识。



1. 了解切削运动过程中的运动和形成的表面。
2. 掌握车刀的组成及材料。
3. 熟悉切削变形及相关概念。

* * * * *

第一节 金属切削运动及其形成的表面

一、金属切削过程

金属切削过程是通过切削加工被刀具切除，使工件上多余的金属层，其形成具有一定形状、一定精度和一定表面质量的加工面加工过程。在这一过程中，始终存在着刀具切削工件和工件材料抵抗切削的矛盾，从而产生一系列重要现象，如形成切屑、切削力、切削热与切削温度及有关刀具的磨损与刀具寿命、断屑等。研究金属切削过程中这些现象的基本理论，对提高金属切削加工的生产率和工件表面的加工质量，减少刀具的损耗，关系极大。

二、切削运动

为了切除工件上多余的金属，除必须使用切削刀具外，刀具与工件之间还必须作相对运动，这些运动即切削运动。根据切削运动所起的作用，分为主运动和进给运动，如图 1-1 所示。

1. 主运动

主运动指切除工件上多余的金属使之转变为切屑，以形成工件新表面的运动。通常，主运动的速度较高，消耗功率最多。主运动可以由工件完成，也可以由刀具完成；根据加工方

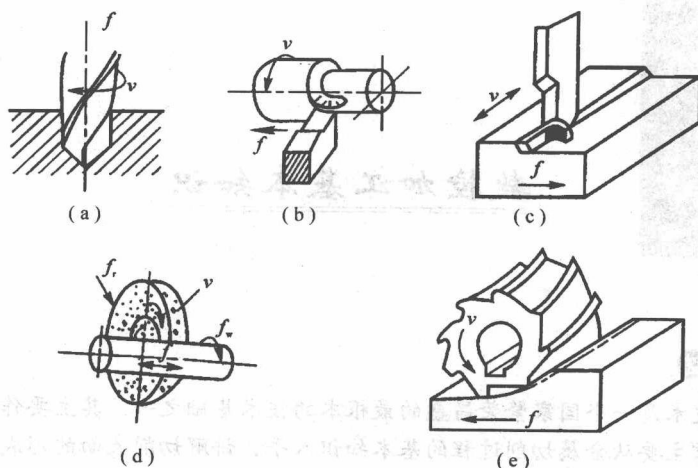


图 1-1 常见机械加工方法的切削运动

(a) 钻削；(b) 车削；(c) 刨削；(d) 磨削；(e) 铣削

法不同，它可能是旋转运动，也可能是往复运动。例如，车削时工件的回转运动，钻削时钻头的旋转运动，铣削时铣刀的回转运动，刨削时刨刀的往复直线运动都是主运动，但不论哪种切削加工方法，主运动只有一个。

2. 进给运动

进给运动为不断地把切削层投入切削，以逐渐加工出整个加工表面的运动。通常进给运动的速度较低，消耗功率较少。进给运动可以是连续的，也可以是步进的；可以是旋转运动，也可以是直线运动。有的切削加工方法，进给运动可以有一个以上。

3. 合成切削运动

合成切削运动是由主运动和进给运动合成的运动。

三、切削中形成的工作表面

在主运动和进给运动的作用下，工件表面上的一层金属不断地被刀具切下来转化为切屑，因而加工出所需要的工件新表面。如图 1-2 所示，以车削工件外圆表面为例。在切削过程中，工件上有三个不断变化着的表面：

- 待加工表面。即将被切去金属层的表面；
- 已加工表面。已经切去多余金属层而形成的新表面；
- 加工表面。切削刃正在切削的表面。

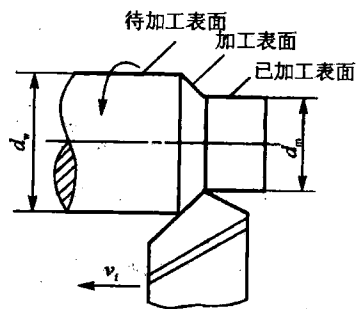


图 1-2 工件上的三个表面

第 二 节 车刀的组成及材料

刀具是切削加工中的重要工具，也是切削加工中影响生产率、加工质量和成本的最活跃的因素。切削刀具的种类繁多，形状复杂，其特性也不相同，但又有许多共同的特性：都具

有楔形的切削部分，即楔形刀头；刀具都是由切削部分和刀体两部分组成，前者用来直接参加切削工作，后者用来将刀具正确夹持在机床上。车刀是最典型的简单刀具，其他刀具均可认为是车刀的演变和组合。

一、车刀的组成

从图 1-3 可以看出，普通车刀由刀头和刀体两部分组成，刀头负担切削工作，又叫切削部分，刀头是一个几何体，由几个面和多条由面相交而成的切削刃组成。

我们常见的外圆车刀是由一个刀尖、两个刀刃、三个刀面组成的。

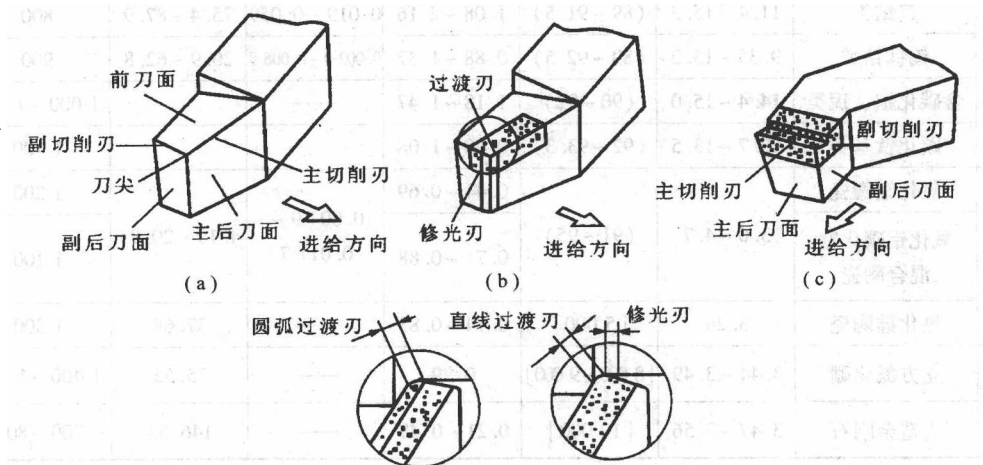


图 1-3 车刀的组成部分

1. 刀面

- 前刀面 A_f 刀具上切屑流过的表面。
- 后刀面 A_a 与工件上加工表面相对的刀面。
- 副后刀面 A'_a 与工件上已加工表面相对的刀面。

2. 切削刃

切削刃是刀具前刀面上拟作切削用的刃，分为主切削刃和副切削刃。

- 主切削刃 S 前刀面与后刀面的交线，承担主要的切削工作。
- 副切削刃 S' 前刀面与副后刀面的交线，它配合主切削刃完成少量的切削工作。
- 刀尖 主切削刃与副切削刃的连结部位，为了提高刀尖的强度和使车刀耐用，很多刀具都在刀尖外磨出圆弧形成直线过渡刃。如图 1-3 所示，圆弧过渡刃又称为刀尖圆弧，一般硬质合金车刀的刀尖圆弧半径 $r=0.5 \sim 1 \text{ mm}$ 。

二、常用刀具材料的类型

刀具材料的种类很多，常用的刀具材料主要有碳素工具钢、合金工具钢、高速工具钢、硬质合金、陶瓷材料和超硬刀具材料等。各种刀具材料的主要物理力学性能见表 1-1。

表 1-1 各种刀具材料的物理力学性能

材料种类		相对密度 / $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	硬度 HRC (HRA) [HV]	抗弯强度 /GPa	冲击韧度 / $(\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2})$	热导率 / $([\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}])$	耐热性 / $^{\circ}\text{C}$
工具钢	碳素工具钢	7.6 ~ 7.8	60 ~ 65	2.16	—	41.87	200 ~ 250
	合金工具钢	7.7 ~ 7.9	60 ~ 65	2.35	—	41.87	300 ~ 400
	高速工具钢	8.0 ~ 8.8	63 ~ 70	1.96 ~ 4.41	0.098 ~ 0.588	16.7 ~ 25.1	600 ~ 700
硬质合金	钨钴类	11.4 ~ 15.3	(89 ~ 91.5)	1.08 ~ 2.16	0.019 ~ 0.059	75.4 ~ 87.9	800
	钨钛钴类	9.35 ~ 13.2	(89 ~ 92.5)	0.88 ~ 1.37	0.0029 ~ 0.0068	20.9 ~ 62.8	900
	含碳化钽、铌类	14.4 ~ 15.0	(90 ~ 92)	1.18 ~ 1.47	—		1 000 ~ 1 100
	碳化钛基类	12.7 ~ 13.5	(92 ~ 93.3)	0.78 ~ 1.08			1 100
陶瓷	氧化铝陶瓷	3.6 ~ 4.7	(91 ~ 95)	0.44 ~ 0.69	0.0049 ~ 0.0117	4.19 ~ 20.93	1 200
	氧化铝碳化物 混合陶瓷			0.71 ~ 0.88			1 100
	氮化硅陶瓷	3.26	[5 000]	0.74 ~ 0.83	—	37.68	1 300
超硬材料	立方氮化硼	3.44 ~ 3.49	[8 000 ~ 9 000]	0.29	—	75.55	1 400 ~ 1 500
	人造金刚石	3.47 ~ 3.56	[10 000]	0.21 ~ 0.48	—	146.54	700 ~ 800

三、刀具材料应具备的基本性能

金属切削过程中，刀具切削部分承受很大切削力和剧烈摩擦，并产生很高的切削温度；在断续切削工作时，刀具将受到冲击和产生振动，引起切削温度的波动。为了能适应切削中的负荷和恶劣的工作环境，刀具必须具备以下几方面的性能。

1. 足够的强度和韧性

在切削加工过程中，刀具切削部分要承受各种应力、冲击和振动的作用，才能防止刀具的变形、崩刃和脆性断裂，因此刀具材料必须具有足够的强度和韧性，一般用抗弯强度和冲击韧性来衡量。

2. 良好的工艺性能和较好的经济性

为了便于刀具本身的加工制造，刀具切削部分材料应具有良好的工艺性能，即应该容易磨削、锻造、焊接，热处理变形小。刀具材料的经济性即是要求价格低廉，可最大限度地降低刀具制造的成本。

在选择刀具材料时，不可能要求一种刀具同时具备以上所有的这些性能指标，而应该根据具体加工条件合理选择刀具材料，满足主要性能的要求。

3. 高硬度和高耐磨性

一般来说，刀具材料的硬度必须高于零件材料的硬度才能进行切削加工，所以高硬度是刀具材料的最基本性能，在金属切削加工中，一般要求刀具材料常温硬度在 60 HRC 以上。耐磨性表示材料抵抗摩擦与磨损的能力，是刀具材料应具备的主要条件之一，耐磨性与材料的硬度、强度和组织结构有关。通常材料的硬度越高，耐磨性也越好。

4. 高耐热性和良好的导热性

耐热性是衡量刀具材料切削性能的主要指标,是指刀具材料在高温下仍能保持其硬度、耐磨性、强度和韧性的能力。材料在高温下仍然能保持高硬度的能力称为热硬性,通常刀具材料在高温下硬度越高,耐热性越好,允许的切削速度就越高。

刀具材料的导热系数越大,刀具传热的能力就越大,切削时产生的热量就更容易传导出,有利于降低切削区温度,减轻刀具的磨损,提高刀具寿命。

四、常用刀具材料的选用

1. 硬质合金

硬质合金是用粉末冶金方法制成的,它是将高硬度、高熔点的金属碳化物(碳化钨 WC、碳化钽 TaC、碳化铌 NbC 等)的粉末用钴 Co、钼 Mo、镍 Ni 等金属做黏合剂,在高温、高压下烧结而成的。

(1) 硬质合金的组成和特点 硬质合金中的碳化物(碳化钨 WC、碳化钽 TaC、碳化铌 NbC 等)的硬度和熔点很高,所以硬质合金中碳化物所占的比例越大,硬质合金的硬度就越高,一般可达到 89~93HRA,耐磨性好。在 800℃~1100℃ 的高温下仍然能保持较好的切削能力。因此它的允许切削速度比高速钢高 4~10 倍,切削速度可达 100~200 m/min,能加工包括淬硬钢在内的多种材料,故目前已成为主要刀具材料之一。但硬质合金的抗弯性能较低,脆性较大,不能承受冲击和振动,制造工艺性差,刃口不如高速钢锋利,所以多用于制造刀片,很少做成形状复杂的整体刀具。

(2) 常用硬质合金的种类、牌号及性能 国际标准化组织 ISO 按化学成分将硬质合金分为四大类:钨钴类硬质合金、钨钛钴类硬质合金、钨钛钽(铌)类硬质合金和碳化钛基类。

表 1-2 是目前常用硬质合金的牌号、成分及主要性能。

表 1-2 常用硬质合金的牌号、成分以及主要性能

种类	牌号	化学成分					物理、力学性能			密度 /(g·cm ⁻³)
		WC	TiC	TaC (NbC)	Co	其他	硬度 HRA	抗弯强度 /GPa	导热率 /[W·(m·K) ⁻¹]	
钨 钴 类	YG8	92	—	—		8	89	1.47	75.4	14.1~14.8
	YG6	94	—	—	6		89.5	1.37	796	14.6~15.0
	YG3	97	—	—	3		91	1.08	87.9	14.9~15.3
钨 钛 钴 类	YT30	66	30	—	4		92.5	0.883	20.9	9.35~9.70
	YT15	79	15	—	6		91	1.13	33.5	11.0~11.7
	YT5	85	5	—	10		89.5	1.28	62.8	12.6~13.2
钨 钽 (铌) 类	YW1	84	6	4	6		92	1.23	—	13.0~13.5
	YW2	82	6	4	8		91	1.47	—	12.7~13.3

续表

种类	牌号	化学成分					物理、力学性能			密度 / (g · cm ⁻³)
		WC	TiC	TaC (NbC)	Co	其他	硬度 HRA	抗弯强度 /GPa	导热率 /[W · (m · K) ⁻¹]	
碳化钛基类	YN05	—	79	—	—	Ni7 Mo14	93.3	0.78 ~ 0.93	—	5.56
	YN10	15	62	1	—	Ni12 Mo10	92	1.08	—	6.3

● 钨钴类硬质合金 (YG) YG 代表钨钴类硬质合金, 钨钴类硬质合金的硬质由碳化钨 (WC) 和钴 (Co) 构成, 其硬度为 90 ~ 91.5HRA, 抗弯强度为 1.1 ~ 1.5 GPa, 耐热性为 800 ℃ ~ 900 ℃, 这类硬质合金常用的牌号有 YG3、YG3X、YG6、YG6X、YG8 等。YG 后面的数值表示 Co 的含量, 如 YG8 表示钴 (Co) 的质量分数为 8%, 其余的 92% 为碳化钨 (WC), 含钴 (Co) 量越多, 其韧性就越大抗弯强度就越高, 但是其硬度和耐磨性就相对降低。碳化钨的粉末有粗细之分, C 表示粗颗粒, X 表示细颗粒, C 可不标注。

钨钴类硬质合金一般适用于加工铸铁、有色金属及其合金, 以及非金属材料。

● 钨钛钴类硬质合金 (YT) YT 代表钨钛钴类硬质合金, 钨钛钴类硬质合金由碳化钨 (WC)、碳化钛 (TiC) 和钴 (Co) 构成。其硬度为 89.5 ~ 92.5 HRA, 抗弯强度为 0.9 ~ 1.4 GPa, 耐热性为 900 ℃ ~ 1 000 ℃。常用的牌号有 YT5、YT15、YT30 等, 数字表示 TiC 的含量, 如 YT5 表示 TiC 的质量分数为 5%, 与 YG 类硬质合金相比, 由于含有较高的 TiC, 所以此类硬质合金的硬度、耐热性、耐磨性较高, 但其导热能力、抗弯强度有所下降, 低温脆性较大, 不耐冲击, 因此这类合金一般不用来加工脆性材料, 而适用于高速切削一般钢材。

YT 类硬质合金刀具一般情况下用来加工塑性材料, 其中 YT30 适用于精加工钢材, YT15 适用于半精加工钢材, YT5 适用于粗加工塑性较大的材料。

● 钨钛钽 (铌) 类硬质合金 (YW) 这类硬质合金又称为万能硬质合金或通用硬质合金。它是由碳化钨 (WC)、碳化钽 (TaC) 或碳化铌 (NbC) 取代钨钛钴类合金中的部分 TiC。因加入了熔点很高的碳化钽 (TaC) 或碳化铌 (NbC), 所以提高了高温硬度、高温强度、韧性和耐磨性, 此类硬质合金的牌号由 “YW + 数字” 组成。其中, “YW” 是 “硬万” 二字汉语拼音字首, 数字是顺序号。如 YW1 表示是 1 号万能硬质合金。常用的牌号有 YW1、YW2 等。

其主要用途是加工钢材和难加工的材料, 而且这类合金能适应断续切削及铣削, 不易发生崩刀, 故应用较为广泛。

● 碳化钛基类硬质合金 (YN) 前面三种硬质合金都是以碳化钨为基体的, 这类硬质合金是以碳化钛作为基体, 镍、钼作为黏合剂而组成的, 所以硬度高达 90 ~ 95HRA, 有较好的耐热性, 在 1 000 ℃ ~ 1 300 ℃ 的高温下仍能进行切削, 切削速度可达 300 ~ 400 m/min, 其化学稳定性较好, 刀具与工件的摩擦较少, 有利于降低刀具的磨损和提高已加工表面质量, 适应高速精加工合金钢、淬硬钢等。

(3) 硬质合金的选用 根据加工条件, 正确选用适当型号的硬质合金, 对发挥刀具的

切削性能和经济性有非常重要的意义，常用硬质合金牌号的选用见表 1-3。

表 1-3 常用硬质合金牌号的选用

合金类别	牌号	用途	ISO (相近) 牌号
钨 钛 钴 合金	YT30	适于碳素钢与合金钢工件的精加工，如小断面精车、精镗、精扩等	P01
	YT15	适于在碳素钢与合金钢加工中，连续切削时的粗车、半精车及精车，间断切削时的小断面精车，旋风车螺纹，连续面的半精铣与精铣，孔的粗扩与精扩	P10
	YT14	适于在碳素钢与合金钢加工中，不平整断面和连续切削时的粗车、间断切削时的半精车与精车，连续断面的粗铣，铸孔的扩钻与粗扩	P20
	YT5	适于碳素钢与合金钢（包括钢锻件、冲压件及铸件的表皮）加工不平整断面与间断切削时的粗车、粗刨、半精刨，非连续面的粗铣及钻孔	P30
碳化 钛基 合金	YN05	适于钢、铸钢件和合金铸铁的高速精加工，及机床—工件—刀具系统刚性特别好的细长件加工	P01
	YN10	适于碳素钢、各种合金钢、工具钢、淬火钢等钢材的连续精加工	P01 P05
钨钛钽 (钼) 合金	YW1	适于耐热钢、高锰钢、不锈钢等难加工钢材及普通钢和铸铁的加工	M10
	YW2	亦适于耐热钢、高锰钢、不锈钢及高级合金钢等特殊难加工钢材的加工、半精加工以及普通钢材和铸铁的加工	M20
钨钴合金	YG3X	适于铸铁、有色金属及其合金的精镗、精车等，亦可用于合金钢、淬火钢的精加工	K01
	YG6A	适于铸铁、有色金属及其合金的半精加工，亦适于高锰钢、淬火钢、合金钢的半精加工及精加工	K10

2. 工具钢

(1) 合金工具钢 为了改善碳素工具钢的切削性能，通常在其中加入适当的合金元素，如铬 (Cr)、硅 (Si)、钨 (W)、锰 (Mn) 等，从而形成合金工具钢。常用的合金工具钢牌号有 9SiCr、GCr15、CrWMn、Cr12MoV 等。其刀刃最高受热温度在 300 ℃ ~ 400 ℃ 之间，合金工具钢与碳素工具钢相比，热处理后的硬度相近，耐热性和耐磨性略好，热处理性能比较好。主要用于制造丝锥、板牙、手用铰刀及拉刀等。

(2) 碳素工具钢 碳素工具钢是含碳量在 0.65% ~ 1.3% 之间的优质碳素钢，用来制造刀具的常用牌号有 T8A、T10A、T12A。其刀刃最高受热温度在 200 ℃ ~ 250 ℃ 之间，在这个温度范围内，硬度和耐磨性会迅速降低，碳素工具钢材料的优点是刀具刃磨性好，切削加工性好，价格低廉；缺点是热处理变形大，淬透性差，一般用于加工切削速度低于 8 m/min 的低速切削，以及手用工具，如丝锥、锉刀以及手用锯条等。

(3) 高速工具钢 (高速钢) 又称锋钢、白钢，是在钢中加入较多的钨 (W)、钼 (Mo)、钒 (V)、铬 (Cr) 等合金元素形成的高合金工具钢。与碳素工具钢和合金工具钢相

比, 高速工具钢的耐热性显著提高 ($200\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$), 有较高的硬度 ($63 \sim 70\text{ HRC}$), 良好的耐磨性, 较高的强度和韧性, 可提高切削速度。高速工具钢与硬质合金以及陶瓷相比, 具有较好的抗弯强度, 冲击韧性, 容易锻造和切削加工, 制造工艺性好, 容易磨出锋利的切削刃, 但高速工具钢的导热系数低, 所以在锻造和热处理时应慢慢地加热。

高速工具钢是一种综合性能好、应用范围广的刀具材料, 适用于制造结构复杂的刀具, 如车刀、铣刀、钻头、铰刀、齿轮刀具、螺纹刀具等, 可以切削的材料范围包括有色金属、铸铁、碳钢、合金钢等。

高速工具钢按其用途和切削性能, 可分为通用型高速工具钢、高性能高速工具钢; 按制造工艺不同又可分为熔炼高速工具钢和粉末冶金高速工具钢。表 1-4 列出了几种常用的高速工具钢的力学性能。

表 1-4 几种高速工具钢的力学性能

牌号	硬度 HRC			抗弯强度 /GPa	冲击韧度 / ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$)
	常温	$500\text{ }^{\circ}\text{C}$	$600\text{ }^{\circ}\text{C}$		
W18Cr4V	63 ~ 66	56	48.5	2.94 ~ 3.33	0.176 ~ 0.314
W6Mo5Cr4V2	63 ~ 66	55 ~ 56	47 ~ 48	3.43 ~ 3.92	0.294 ~ 0.392
9W18Cr4V	67 ~ 68	59	52	2.92	0.166 ~ 0.216
W6Mo5Cr4V3	65 ~ 67	—	51.7	3.14	0.245
W6Mo5Cr4V2Co8	66 ~ 68	—	54	2.95	0.294
W2Mo9Cr4Co8	67 ~ 70	60	55	2.65 ~ 2.72	0.225 ~ 0.294
W6Mo5Cr4V2Al	67 ~ 69	60	55	2.84 ~ 3.82	0.225 ~ 0.294

● 通用型高速工具钢。此类高速工具钢应用广泛, 占高速钢总产量的 75% 左右, 它的最大特点是具有良好的工艺性, 能满足通用工程材料切削加工的要求, 常用的通用型高速钢有如下两种:

a. W18Cr4V 钨系高速钢, 这种高速钢有良好的综合性能和可磨削性能, 可以用来制造各种复杂刀具和精加工刀具, 性能稳定, 是目前应用最多的一种高速钢。

b. W6Mo5Cr4V2 钨钼系高速钢, 抗弯强度及冲击韧度较高, 具有良好的热塑性, 但有热处理易脱碳、易氧化、淬火温度窄等缺点, 在国外应用较多, 我国主要用于制造热轧刀具, 如麻花钻等。

● 高性能高速工具钢。是指在通用型高速钢中再添加一些碳、钒、钴、铝等合金元素, 进一步提高其耐磨性和耐热性。刀具寿命比通用型高速钢提高了 1.5 ~ 3 倍, 并能用于切削加工不锈钢、钛合金、耐热钢、高强度钢等难加工材料。

目前国外高性能高速钢以高钴、高钒类为主, 如 W6Mo5Cr4V3、W6Mo5Cr4V2Co8 等, 其综合性能好, 常温中硬度在 70 HRC 左右, 可磨削性能较好。W6Mo5Cr4V3 属于高钒高速钢, 主要用于制造加工高强度钢的车刀、铣刀、钻头等刀具, W6Mo5Cr4V2Co8 属于高钴高速钢, Co 能提高高温硬度, 相应地切削速度也得到了提高, 综合性能较好。由于我国钴的产量少, 所以我们开发研制了一系列无钴高速钢, 如 W6Mo5Cr4V2Al, 其综合性能较好, 但由于刀具材料中不含钴, 所以生产成本降低, 在我国使用较多。

● 粉末冶金高速工具钢。前面我们所讲的高速钢都属于熔炼高速钢, 在其铸锭中总是存

在着很多共晶碳化物的偏析,虽然经过热处理等一些加工方法可以改善其组织状况,但要控制碳化物的均匀分布是比较困难的。

近几年来高速钢的最大变革就是发展了粉末冶金高速钢,它的性能优于熔炼高速钢。粉末冶金高速钢是将熔融的高速钢钢水用高压氩气或氮气使其雾化,得到细小高速钢粉末,筛选后为0.4 mm以下的颗粒;在真空(0.04 Hg)状态下,密闭烧结达到密度65%;再在1 100 ℃高温、300 MPa高压下制成密度100%的钢坯,然后锻轧成钢材,这样有效地解决了熔炼高速钢在铸锭时要产生粗大碳化物偏析的问题,而它无论截面多大,其碳化物级别均为一等。碳化物品粒极细,小于0.002 mm,而熔炼高速钢碳化物晶粒为0.008~0.02 mm。它具有较高的强度和韧性、耐磨性好、淬火变形小,适用于切削间断切削条件下易崩刃的刀具、强度高而切削刃又必须锋利的刀具,如插齿刀、滚刀、铣刀,高压动载荷下使用的刀具。

3. 涂层刀具

刀具材料的韧性和硬度一般不能兼顾,磨损是影响刀具寿命的最主要的因素。近几年来,采用化学气相沉积或其他工艺方法在硬质合金表面涂覆一层5~12 μm的耐磨、难熔物质,可有效地解决刀具的硬度、耐磨性与强度、韧性之间的矛盾,有效提高了刀具切削性能,常用的涂层材料有碳化钛(TiC)、氮化钛(TiN)、氧化铝(Al₂O₃)等。

4. 超硬刀具材料

超硬刀具材料在国际上公认为是当代提高生产效率最有潜质的刀具材料之一,其发展潜力十分深厚。主要有金刚石和立方氮化硼两类。

(1) 金刚石 金刚石是碳的同素异形体,具有极高的硬度和耐磨性,其显微硬度可达10 000 HV,是刀具材料中最硬的材料。其摩擦因数小,与非铁金属无亲和力,切屑易流出,热导率高,切削时不易产生积屑瘤,加工表面质量好。加工有色金属时,表面粗糙度可达Ra 0.012 μm,加工精度可达IT5(孔IT6)级以上,能有效地加工非铁金属材料和非金属材料,如铜、铝等有色金属及其合金、陶瓷、未烧结的硬质合金、各种纤维和颗粒加强的复合材料、塑料、橡胶、石墨、玻璃和各种耐磨的木材。金刚石刀具具有以下三类:

- 人造聚晶金刚石(PCD)。又称金刚石烧结体,是在高温超高压条件下,将人造金刚石微晶烧结而成的,可制成所需的形状尺寸,镶嵌在刀杆上使用。其硬度虽低于天然单晶金刚石,但它结晶界面无固定方向,用作刀具时可以任意取向刃磨,在切削时,切削刃对意外损坏不很敏感,抗磨损能力也很强,可长时间保持锋利的切削刃,加工时可采用很高的切削速度和较大的吃刀量(例如在车削或镗削铝合金、黄铜、青铜及其合金时,切削速度为300~1 000 m/min,进给量为0.05~0.5 mm/r,吃刀量可达10 mm),而且人造聚晶金刚石原料来源丰富,其价格只有天然单晶体金刚石的十分之一至十几分之一,因此应用广泛。

- 天然单晶体金刚石(ND)。主要用于有色金属及非金属的精加工。单晶金刚石结晶有一定的方向,不同晶面或同一晶面不同方向的晶体硬度均有差异,在进行刃磨和使用时必须选择合适的方向。由于其使用条件苛刻,加上资源有限,价格昂贵,至今使用较少,目前仅用于某些有色金属如铜及铜合金和金、银等贵重金属特殊零件的高速超精密加工,如录像机磁盘、光学平面镜、多面镜。

- 复合金刚石刀片(PCD/CC)。复合金刚石刀片是在硬质合金基体上烧结一层为0.5~1 mm厚的聚晶金刚石。复合金刚石刀片强度较好,抗冲击性能好,特别适用于吃刀量大、