

中 等 职 业 学 校 教 材

金属切削 原理与刀具

袁 广 主 编

敖 道 刘金萍 副主编



化学工业出版社
职业教育教材出版中心

中等职业学校教材

金属切削原理与刀具

袁 广 主 编
敖 道 刘金萍 副主编



化学工业出版社
职业教育教材出版中心

· 北京 ·

本书是根据中等职业教育关于专业课程改革的基本精神而编写的，它在突出专业基本知识的同时，尤其强调专业技能的培养与提高，充分体现了职业教育的应用特色和能力本位的教育思想。其内容分为金属切削原理与刀具两部分，在切削原理部分主要介绍了刀具材料、刀具基本定义、金属切削基本理论、刀具几何参数与切削用量的合理选择、工件材料的切削加工性、切削液和磨削等；而刀具部分则主要介绍了回转面加工刀具、平面与成形面加工刀具以及其它刀具等内容。全书贯彻了 GB/T 12204—90《金属切削 基本术语》的标准。

本书为中等职业学校机械制造专业和机电专业的教材，也可作为高等职业学校同类专业的试用教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

金属切削原理与刀具/袁广主编. —北京：化学工业出版社，2006.5
中等职业学校教材
ISBN 7-5025-8813-2

I. 金… II. 袁… III. ①金属切削-专业学校-教材
②刀具(金属切削)-专业学校-教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 058692 号

中等职业学校教材
金属切削原理与刀具
袁 广 主编
敖 道 刘金萍 副主编
责任编辑：高 钰
文字编辑：余德华
责任校对：于志岩
封面设计：史利平

*

化学工业出版社 出版发行
职业教育教材出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
购书咨询：(010)64982530
(010)64918013
购书传真：(010)64982630
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市彩桥印刷有限责任公司印装
开本 787mm×1092mm 1/16 印张 12 字数 293 千字
2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-8813-2
定 价：19.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

前 言

本书是为适应中等职业学校机械制造专业与机电专业教学改革需要而编写的。

本书力争做到具有以下特点。

1. 在内容安排上重点突出应用方面的内容，略去了繁琐的公式推导过程，并依据工件加工面的性质，对各种常用刀具进行了归类。此外，在文字叙述上力求做到简明扼要、层次清楚和重点突出，以便于学生自学。

2. 根据中等职业教育培养目标的要求，弱化了金属切削原理部分的理论深度，强化了理论与实践的联系，充实了基本知识 with 基本技能。并将实验和课程设计的内容与要求附在了有关章节的后面，本书较好地体现了理论、实验和设计的三位一体。

3. 各种物理符号、名词术语、图形符号均采用现行标准并符合国际上的通用性，但考虑到语言上的习惯性，仅在汉语称谓上略有不同而已。

4. 本书内容在讲授时，可根据本校的实际情况作适当增减，时数控制在 60 学时左右，选修部分的内容用 * 号表示；实验项目可根据实际条件选择安排。

本书绪论、第一~五章、第七章、第八章由袁广、敖道、刘金萍编写；第六章、第九章由杜俊、王中元编写。

本书由袁广任主编，敖道、刘金萍任副主编。全书由袁广统稿和定稿。

本书在编写过程中得到了有关院校的大力支持与帮助，谨此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，加之编写时间仓促，书中不妥之处恳请广大读者批评指正。

编者

2006 年 3 月

目 录

绪论	1
第一章 刀具材料	3
第一节 刀具材料应具备的性能	3
第二节 常用刀具材料	4
第三节 其它刀具材料	10
思考题与习题	11
第二章 刀具基本定义	12
第一节 切削运动及形成的表面	12
第二节 刀具切削部分的几何角度	13
第三节 切削要素与切削方式	28
思考题与习题	31
实验 车刀几何角度的测量与作图	31
第三章 金属切削基本理论	32
第一节 切削变形	32
第二节 切削力	39
第三节 切削温度	48
第四节 刀具磨损与刀具耐用度	53
思考题与习题	60
实验一 切削力的测量与分析	60
实验二 切削温度的测量与分析	62
实验三 刀具磨损的测量与分析	62
第四章 刀具几何参数与切削用量的合理选择	64
第一节 刀具几何参数的合理选择	64
第二节 切削用量的合理选择	75
思考题与习题	81
实验 细长轴车刀几何参数的测量与分析	81
第五章 切削加工性、表面粗糙度和切削液	83
第一节 工件材料的切削加工性	83
第二节 已加工表面的粗糙度	86
第三节 切削液	88
思考题与习题	90
实验 已加工表面粗糙度值的计算	90
第六章 回转面加工刀具	91
第一节 车刀	91

第二节 麻花钻	97
第三节 深孔钻、套料钻与扩孔钻简介	109
第四节 铰刀	113
第五节 其它回转面加工刀具简介	117
思考题与习题	120
实验 标准麻花钻与群钻的观察与分析	121
第七章 平面与成形面加工刀具	122
第一节 铣刀	122
第二节 成形车刀	135
第三节 成形铣刀	146
思考题与习题	149
成形车刀设计	149
第八章 其它刀具	150
第一节 拉刀	150
第二节 齿轮刀具	161
第三节 螺纹刀具	168
第四节 自动线和数控机床刀具	170
思考题与习题	172
拉刀设计	172
第九章 磨削	174
第一节 砂轮与磨削	174
第二节 先进磨削法简介	179
思考题与习题	180
本书采用的名词术语和符号	182
参考文献	183

绪 论

一、本课程的性质、内容和任务

在机械制造业中，对金属材料的加工有多种方法，例如切削加工、锻造、冷挤压、线切割、电火花加工、化学加工等。金属切削加工，则是利用金属切削刀具从被加工工件上切除多余的金属层，从而可获得很高的尺寸、几何精度和表面质量的一种加工技术。因此，金属切削加工在机械制造业中是被广泛应用的一种加工方法。据有关资料表明，在近几年机械加工总的劳动量中，切削加工约占 30%~40%。

本书内容分为两部分，其中切削原理部分是机械制造专业中的基础理论，具体研究金属切削过程中产生的各种物理现象及其变化规律与控制方法，为解决生产中各种与切削技术有关的问题建立必要的理论基础；刀具部分则主要讨论常用刀具的选择、使用与常用非标准刀具的设计问题。本课程与金属工艺学、工程力学、化学、热力学、机械制图以及生产实践具有密切的关系。掌握本课程的理论与实践知识，可为学习后继专业课程（如金属切削机床、机械制造工艺学等）提供重要的基础理论。通过本课程的理论、设计、实验和实习等教学环节，应使学生达到如下要求：

- (1) 具有正确图示和合理选择刀具几何参数的能力；
- (2) 基本掌握切削过程中的主要物理现象，如切削变形、切削力、切削温度、刀具磨损和刀具耐用度的变化规律及其控制方法，具有应用这些基本理论知识分析和解决切削加工中工艺技术问题的能力；
- (3) 具有根据具体工艺要求选择和使用常用刀具，以及设计一般非标准刀具的能力；
- (4) 具有一定的切削加工实验技能。

二、我国金属切削加工技术的发展概况

现代的金属切削刀具，是由古代的原始带刃工具和兵器发展演变而来的。在旧石器时代就制造和使用了各种带刃口的石器，到了新石器时代，生产工具有了很大进步，石刀、石斧、石凿、石镰等都已制造得相当精致。在青铜器时代出现了金属切削加工的萌芽，当时的青铜刀、锯、锉的结构和形状，类似近代的切削刀具，并用于对金、银和铜的加工。春秋战国时代，人们就发明了生铁冶铸技术，大约比西欧早 1800 多年。渗碳、淬火和炼钢技术的发明，为制造坚硬锋利的工具提供了有利的条件。铁质工具的出现，使金属切削加工进入一个新阶段。西汉时代出土文物中有铁锉、青铜钻、经渗碳处理的铁剑、经抛光的青铜箭头，以及精度和表面质量很高的青铜弩机。到了明代已发展成与近代相类似的切削加工方法，如车、铣、刨、钻和磨削等。

从以上资料可以看出，我国古代在金属切削加工方面有着悠久的历史 and 光辉的成就。

明代以后，由于封建制度的腐败，加上外国帝国主义的侵略，我国科学技术停滞不前，金属切削加工技术也处于落后状态。直到解放前夕的 1947 年，只有少数机床修造厂和工具厂能自制一些普通车床、刨床、铣床、台钻及少量的麻花钻、丝锥等简单刀具，多数机械设

备和工具只能依靠进口来补缺。

建国以来,我国的机械制造业不断壮大,金属切削加工技术也得到了飞速发展,自20世纪50年代起,广泛使用了高速钢、硬质合金刀具,切削速度由原来的10m/min提高到100m/min以上;并大力推广先进的切削方法,如强力车削、细长轴高速车削、多刀多刃车削等;普遍开展技术革新活动,创造了大量的先进刀具,如群钻、深孔钻、强力车刀等。同时,各高等院校与科研部门相互协作,开展了有关金属切削的科学研究,在金属切削变形、切削力、切削热、刀具磨损和刀具耐用度,以及加工表面质量等方面,都取得了一定水平的科研成果。许多工具厂开发和使用了各种新型刀具材料,如高性能高速钢、涂层高速钢、细晶粒硬质合金、涂层硬质合金、陶瓷、立方氮化硼和人造金刚石等。在刀具结构方面,广泛推广应用了机夹重磨刀具和可转位刀具。在刀具几何参数方面,分别在刀刃形状、刃口形式、刀面形式和刀具几何角度等方面进行了改革,创造出许多新型刀具。

20世纪80年代以后,我国金属切削技术达到较高的水平,计算机已在切削理论研究和刀具设计中应用,各种先进的测试仪器,如扫描电镜、高速摄影机、C射线衍射仪已应用于切削机理的分析与研究中,并取得一系列科研成果。为适应机械工业、现代科学技术发展的需要,对金属切削原理尚需深入研究,其中包括切削过程中变形理论、刀具磨损与破损机理、切削热与切削温度理论、各种新型刀具材料的开发与研究等,认真解决好这些问题,对促进现代高新技术的发展,具有重要的意义。

三、本课程的学习方法

为学好本课程的基本理论,掌握各种常用标准刀具的选用及其非标准刀具几何参数的合理选择,在学习中要认真做到下列几点。

(1)要重视实践性知识。本课程的基本理论对实践的依赖性很强,如车、铣、刨、磨、钻等机床的运动情况,各种刀具的结构特点,尤其是切削刃的形状与刀面的形式,必须对此有比较深的感性认识,否则很难理解与掌握本课程的基本理论。

(2)要善于抓住问题的本质。本课程在分析影响切削力、切削温度的诸因素时,对多数学生而言,感到难以区别,似乎怎么解释均可。其实,在诸多影响因素中,在一定的切削条件下,必然有矛盾的主要方面。因此在具体分析时,对各因素不能等同视之,要抓住关键,突出重点,切忌只注重罗列、不分主次的学习方法。

(3)要善于比较,从中找出异同点。例如典型外圆车刀,其它刀具均可视为它的一种演变,只不过外形、结构与其不同而已。如钻头与车刀相比,尽管外形与结构相差甚远,然而它可视为两把端面车刀的组,只是根据需要前面与后面变成了曲面,中间连接部分出现了横刃而已。通过类似的比较,对于不同的刀具,既可找到本质上的相同点,又可区分具体结构上的不同点。

(4)要建立正确的空间概念。刀具切削部分几何形状的投影画法是本课程的难点之一,难就难在空间概念的建立。为了正确掌握刀具切削部分的投影画法,要认真观察各类刀具模型,分析在不同几何角度下刀具切削刃与刀面的变化形式,由此建立正确的空间概念。力求做到只要给定刀具的几何参数,就能想象出刀头的几何形状;反之,只要给定刀头的几何形状,就能知道其各几何角度的正、负变化。

第一章 刀具材料

在切削加工中，刀具将直接完成切除加工余量和形成已加工表面的工作。刀具能否顺利完成切削工作，取决于构成刀具切削部分的材料和合理几何形状以及刀具的合理结构。本章将介绍常用刀具材料的种类和选择。

刀具材料性能的好坏是影响加工表面质量、切削效率、刀具寿命的基本因素。因此，必须重视刀具材料的正确选择与合理使用，重视研制性能优异的新型刀具材料。

第一节 刀具材料应具备的性能

刀具切削部分是担负切削工作的关键部位，它直接承受着很大的切削力和高的切削温度。因此，切削部分的材料必须具备下列基本要求。

一、切削性能方面

(1) 硬度 刀具切削部分的硬度必须高于工件材料的硬度。一般常温硬度在 60HRC 以上。

(2) 耐磨性 耐磨性是指刀具材料在切削过程中抵抗磨损的能力。一般来说，刀具材料的硬度越高，耐磨性就越好。组织中硬质点（碳化物、氮化物等）的硬度越高，数量越多，颗粒越小，分布越均匀，则耐磨性越高。

(3) 强度和韧性 为了承受切削力、振动和冲击，刀具材料应具有足够的强度和韧性。所谓“足够”，就是能保证刀具在正常切削环境中，不至于崩刃或断裂。因此，对工作在不同切削环境中的刀具，有不同的强度和韧性要求。多数刀具材料的强度和韧性，随其硬度和耐磨性增高而显著降低。因此，为了选用高硬度、高耐磨性的刀具材料，以尽量提高切削效率，则不宜过分强调其强度和韧性。通过刀具几何参数的合理选择和刀具结构的正确设计，可使强度、韧性较差的刀具材料满足切削要求。

(4) 耐热性 耐热性是指刀具材料在高温下保持切削性能的能力，以能维持正常切削的最高温度表示。它包括高温硬度和韧性，高温黏结性和化学稳定性等项指标。现代切削加工的速度愈来愈高，以至接近或达到了一般磨削速度的水平，切削温度高达 1000℃ 以上。因此，耐热性是刀具材料的重要性能之一。

二、工艺性能方面

工艺性能是指制造和刃磨刀具的难易程度，主要包括下列几项。

(1) 热塑性 毛坯需经锻造的刀具和热轧刀具，应考虑这一性能。

(2) 切削加工性 复杂的刀具应着重考虑。

(3) 热处理工艺性 需热处理的刀具材料应考虑这一性能。

(4) 磨削工艺性 包括磨削性和可磨性。

应当指出，还没有一种刀具材料能同时满足上述的几种性能指标。各种刀具材料各有其

特定的适用范围。对上述基本要求不能孤立地、机械地看待，需要综合考虑。几种刀具材料的性能见表 1-1。

表 1-1 各种刀具材料的物理力学性能

材料种类		硬度	抗弯强度/GPa	冲击韧性 /kJ·m ⁻²	热导率 /W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	耐热性/℃
碳素工具钢		60~65HRC 81.2~83.9HRA	2.45~2.74		67.2	200~250
合金工具钢		63~66HRC	2.4		41.8	300~400
高速钢		63~70HRC 83~86.6HRA	1.96~5.88	98~588	1.67~25	600~700
硬质合金	YG6	89.5HRA	1.45	30	79.6	900
	YT14	90.5HRA	1.2	7	33.5	900
陶瓷	Al ₂ O ₃ AM	>91HRA	0.45~0.55	5	19.2	1200
	Al ₂ O ₃ +TiC T ₈	93~94HRA	0.55~0.65			
	Si ₃ N ₄ SM	91~93HRA	0.75~0.85	4	38.2	1300
金刚石	天然金刚石	10000HV	0.21~0.49		146.5	700~800
	聚晶金刚石 复合刀片	6500~8000HV	2.8		110~108.7	700~800
立方氮化硼	烧结体	6000~8000HV	1.0		41.8	1000~1200
	立方氮化硼 复合刀片 FD	≥5000HV	1.5			>1000

第二节 常用刀具材料

刀具材料种类很多，常用的有高速钢和硬质合金。

一、碳素工具钢

碳素工具钢是指含碳量为 0.65%~1.35% 的优质高碳钢，最常用的牌号是 T12A。这类钢由于耐热性很差（200~250℃），允许切削速度很低，只适宜做一些手动刀具。

二、合金工具钢

合金工具钢是指含 Cr、W、Si、Mn 等合金元素的低合金钢种，最常用的牌号是 9SiCr、CrWMn 等。它有较强的耐热性（300~400℃），可以允许较高的切削速度；此外，这类钢淬透性较好，热处理变形较小，耐磨性较好，因此可用于截面积较大、要求热处理变形较小、对耐磨性及韧性有一定要求的低速切削刀具，如板牙、丝锥、铰刀、拉刀等。

以上两类钢作为刀具材料的使用量都很小。

三、高速钢

高速钢是在合金工具钢中加入了较多的 W、Mo、Cr、V 等合金元素的高合金工具钢，其合金元素与碳化物形成合金碳化物，这些碳化物都具有很高的硬度，使高速钢具有优良的

耐磨性。钨和碳的原子结合力很强，增加了钢的部分高温硬度。钼的作用大体与钨相似，高速钢中的部分钨可用钼代替，但要求 $Mo:W=1:1.4\sim 1.5$ ，这样既不影响钢的热稳定性，又能细化碳化物晶粒，减少钢中碳化物的不均匀性，提高钢的韧性。高速钢的强度和韧性是现有刀具材料中最高的，其中 W6Mo5Cr4V2 钢的强度可达 $3.43\sim 3.92\text{GPa}$ ，常温硬度为 $63\sim 66\text{HRC}$ ，刃磨时切削刃易锋利，故生产中有时也称为“锋钢”。其耐热性约为 600°C ，切削中碳钢时切削速度可达 $25\sim 30\text{m}/\text{min}$ 。它具有较好的工艺性能，是制造刃形复杂刀具的主要材料。如钻头、丝锥、成形刀具、拉刀和齿轮刀具等，用它加工有色金属、高温合金等多种材料。

高速钢按切削性能可分为两大类：普通高速钢和高性能高速钢。高速钢的物理力学性能见表 1-2。

表 1-2 几种高速钢的物理力学性能

类 型	牌 号	硬度/HRC	抗弯强度/GPa	冲击韧性/ $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$	
普通高速钢	W18Cr4V	63~66	2.94~3.33	0.176~0.344	
	W6Mo5Cr4V2	63~66	3.43~3.92	0.294~0.392	
	W14Cr4VMnRe	64~66	3.43~3.92	0.294~0.245	
高性能高速钢	高碳	95W18Cr4V	67~68	3.43~3.92	0.166~0.216
	高钒	W12Cr4V4Mo	65~67	3.43~3.136	约 0.245
		W6Mo5Cr4V3	65~67	3.43~3.136	约 0.245
	含钴	W6Mo5Cr4V2Co8	66~68	约 2.92	约 0.294
		W2Mo9Cr4VCo8	67~70	2.65~3.72	0.225~0.294
		W12Cr4V5Co5	66~68	约 2.92	约 0.242
	含铝	W6Mo5Cr4V2Al	67~69	2.84~3.82	0.225~0.294
		W10Mo4Cr4V3Al	67~69	3.04~3.43	0.196~0.274

1. 普通高速钢

普通高速钢的特点是工艺性能好，切削性能可满足一般工程材料的常规加工，常用的种类有钨系高速钢和钼系高速钢。

(1) 钨系高速钢 这种钢的典型牌号是 W18Cr4V（简称 W18）。它具有较好的综合性能和可磨削性能，可制造各种复杂刀具和精加工刀具，如拉刀、螺纹铣刀、齿轮刀具、宽刃精刨刀、精切车刀、成形车刀等。在国内使用最广泛。

(2) 钼系高速钢 这种钢的典型牌号是 W6Mo5Cr4V2（简称 M2）。由于钼的作用，使这种钢的碳化物呈细小颗粒且均匀分布，故其抗弯强度比 W18 钢高 $10\%\sim 15\%$ ，韧性高 $50\%\sim 60\%$ ，并具有较好的热塑性，故特别适于制作热轧刀具，如麻花钻头等。

2. 高性能高速钢

高性能高速钢是指在普通高速钢中加入钴、钒、铝等合金元素，进一步提高其耐磨性和耐热性的新钢种。它们适合于加工奥氏体不锈钢、高温合金、钛合金、超高强度钢等难加工材料。具体可分为如下几种。

(1) 高碳高速钢 此钢是在普通高速钢中增加含 C 量，提高钢中碳化物的含量，从而使其性能提高。如国内研制的 95W18Cr4V 含碳量为 $0.9\%\sim 1.0\%$ （W18Cr4V 含碳量为 $0.7\%\sim 0.8\%$ ），较 W18Cr4V 高，其硬度及高温硬度均比 W18Cr4V 高，耐磨性也较高，但

其强度和韧性稍低。可用于制造要求切削性能较高的刀具，如加工不锈钢、钛合金的刀具。

(2) 高钒高速钢 高钒高速钢是将含钒量提高到 3%~5%，其典型牌号为 W6Mo5Cr4V3。由于钒与钢中的碳形成大量碳化钒，从而提高了钢的耐磨性，一般用于切削高强度钢。但其刃磨性比普通高速钢差。

(3) 钴高速钢 钴高速钢是在高速钢中加入钴，可提高钢的高温硬度和热稳定性，其典型牌号为 W2Mo9Cr4VCo8（简称 M42），其特点是综合性能好。一般来说，在钢中每加入钴 1%，切削速度可提高 1%。用于切削高温合金、不锈钢等难加工材料，效果很好。但钴的价格很贵。

(4) 铝高速钢 铝高速钢是我国独创的新型高速钢，它是在普通高速钢中加入少量的铝，可提高钢的耐磨性和耐热性，有良好的综合性能，其典型牌号为 W6Mo5Cr4V2Al，使用效果与 M42 相当，可磨削性略低于 M42。价格低廉，与普通高速钢相近。铝高速钢除了用于切削难加工材料外，还可以制造精度要求高、使用寿命长的刀具（如拉刀）。

3. 粉末冶金高速钢

粉末冶金高速钢是用高压氩气或纯氮气雾化熔融的高速钢钢水，得到细小的高速钢粉末。然后将所得到的粉末在高温（1100℃）、高压（100MPa）下直接压制成刀具形状。

粉末冶金高速钢与熔炼高速钢相比，其韧性较大，硬度较高，可磨削性显著改善，材质均匀，热处理变形小，质量稳定可靠，故刀具使用寿命较长。粉末冶金高速钢可用来切削各种难加工材料，特别适合于制造各种精密刀具和形状复杂的刀具。

4. 高速钢热处理简介

高速钢属莱氏体钢，这种复杂的合金碳化物不能靠正常的热处理方法来分解，所以它的处理工艺较为特殊。其工艺过程如下。

(1) 锻造毛坯 将其粗大的共晶碳化物击碎，使它均匀分布，得到退火状态的组织索氏体+合金碳化物。

(2) 淬火加热 在粗加工后、精加工磨削之前进行。加热温度见表 1-3。

表 1-3 高速钢热处理淬火加热温度

钢 种	淬火加热温度	备 注
W18Cr4V	1280℃	钨系淬火温度高
W6Mo5Cr4V2	1230℃	钼系淬火温度低，温度高会产生热应力或脱碳现象

(3) 淬火冷却 冷却的目的是得到高硬度的马氏体组织。常用的有油冷、分级冷却、等温冷却多种方式。

(4) 回火 回火的目的是消除内应力。温度多数在 550~570℃。

四、硬质合金

硬质合金是由高硬度的难熔金属碳化物（硬质相）和金属黏结剂（黏结相），用粉末冶金方法制成的。作为切削刀具用的硬质合金，常用的碳化物有碳化钨（WC）、碳化钛（TiC）、碳化钽（TaC）、碳化铌（NbC）等，常用的黏结剂为钴（Co）。含钴较多的硬质合金，其强度较高。

由于硬质合金中含有大量熔点高、硬度高、化学稳定性好和热稳定性好的金属碳化物，所以它与高速钢相比，硬质合金具有硬度高（相当于 74~81.5HRC）；耐磨性好，比高速钢

高 15~20 倍；硬质合金允许的最高切削温度可达 800~1000℃ 以上，远高于高速钢（550~650℃）。硬质合金的高温硬度很高，600℃ 时的硬度超过高速钢的常温硬度，因此其切削性能要比高速钢高得多，刀具耐用度可提高几十倍。加工普通结构钢时，允许的切削速度较高速钢刀具提高 4~10 倍。这是硬质合金得到广泛使用的主要原因。

但是，硬质合金与高速钢相比，抗弯强度低、冲击韧性差；在相同条件下刃磨，切削刃不如高速钢刀具锋利；用作复杂刀具，制造要困难很多。

目前，单刃刀具广泛采用硬质合金；一些形状复杂的刀具，如钻头、铰刀、铣刀和齿轮滚刀等，也有采用硬质合金制造的，但结构上受到较大的限制；另外硬质合金端铣刀已经广泛使用。

1. 普通硬质合金的分类、牌号与选用

我国常用硬质合金有三类：钨钴类（WC-Co）、钨钛钴类（WC-TiC-Co）、钨钛铌（钽）钴类 [WC-TiC-TaC (NbC)-Co]。以上三类合金中，有些虽含有 TiC、TaC (NbC) 等，但其主要成分是 WC。故统称为 WC 基硬质合金，国产常用硬质合金牌号、成分及主要力学性能见表 1-4。

表 1-4 国产常用硬质合金牌号、成分及主要力学性能

类别	牌号	化学成分(质量分数)/%				物理性能		力学性能		
		WC	TiC	TaC (NbC)	Co	密度 /g·cm ⁻³	热导率 /W·m ⁻¹ · K ⁻¹	硬度 /HRA	抗弯 强度 /GPa	冲击 韧性 /kJ·m ⁻²
WC+Co	YG3	97			3	14.9~15.3	87.9	91	1.03	87.9
	YG6	94			6	14.6~15.0	79.6	89.5	1.37	79.6
	YG6X	94			6	14.6~15.0	79.6	91	1.32	79.6
	YG8	92			8	14.4~14.8	75.4	89	1.47	75.4
	YG10H	90			10	14.3~14.6		91.5	22	
WC+TiC+Co	YT30	66	30		4	9.3~9.5	20.9	92.5	0.883	20.9
	YT15	79	15		6	11~11.7	33.5	91	1.13	33.5
	YT14	78	14		8	11.2~12.7	33.5	90.5	1.18	33.5
	YT5	85	5		10	12.5~13.2	62.8	89.5	1.28	62.8
WC+TaC (NbC)+Co	YG6A (YA6)	91~93		1~3	6	14.4~15.0		92	1.32	
WC+TiC+TaC (NbC)+Co	YW1	84	6	4	6	13.0~13.5		92	1.2	
	YW2	82	6	4	8			91.0	1.35	
TiC 基	YN05	8	71		Ni7 Mo14	5.9		93.3	0.95	
	YN10	15	62	1	W12 Mo10	6.2		92	1.1	

正确选用硬质合金种类和牌号，对充分发挥硬质合金的切削性能具有重要意义。

YG 类硬质合金主要用于加工铸铁、有色金属及非金属材料。加工铸铁时，切屑呈崩碎形，对刀具冲击很大，切削力和切削热都集中在刃口附近。YG 类硬质合金有较高的抗弯强度和冲击韧性，可减少切削时的崩刃，同时 YG 类硬质合金的导热性也较好，有利于切削热从刀尖散走，降低刀尖温度，避免刀尖过热软化，在中低速范围内，其使用寿命高于 YT 类

硬质合金，但在高速时切削铸铁反而不如 YT 类合金好，这是因为其耐热性较差的缘故。此外，YG 类硬质合金磨削性较好，可以磨出较锋利刃口。值得注意的是，YG 类硬质合金不适合加工钢料，加工钢料大约在 640℃时就会与钢产生黏结，使刀具产生黏结磨损，刀具耐用度下降。因此适用于加工有色金属和纤维层材料。硬质合金中含钴量越高，韧性越好，越适合粗加工。

YT 类硬质合金适合加工钢料。加工钢料时，金属塑性变形大，摩擦剧烈，切削温度较高。YT 类硬质合金具有较高的硬度和耐磨性，特别是有较高的耐热性和抗黏结、抗氧化能力，在加工钢时，刀具磨损较慢，使用寿命较长。硬质合金中含 TiC 量较多者，耐磨性、耐热性更好，适合精加工，但是 TiC 量增多时，硬质合金导热性变差，刃磨与焊接时容易产生裂纹。

在加工钛的不锈钢和钛合金时，不宜采用 YT 类硬质合金。因为这类硬质合金中的钛元素和工件材料中的钛元素之间的亲和力会产生严重的粘刀现象，从而加剧刀具的磨损。

YA 类硬质合金是在 YG 类硬质合金中添加少量 TaC（或 NbC）以提高其常温硬度、高温强度、高温硬度和耐磨性。这类硬质合金主要用于冷硬铸铁、淬火钢、高锰钢、合金钢、有色金属及其合金的半精加工和精加工。

YW 类硬质合金是在 YT 类硬质合金中添加少量 TaC（或 NbC）以提高其韧性和抗黏结性。这类硬质合金综合性能较好，既可加工铸铁、有色金属及其合金，又可加工碳素钢和合金钢，也适合于加工不锈钢、高温合金等难加工材料，故有“通用硬质合金”之称。

常用牌号硬质合金的使用范围见表 1-5。

表 1-5 常用牌号硬质合金的应用范围

牌号	应用范围	
YG3X	硬度、耐磨性、切削速度 ↑ 抗弯强度、韧性、进给量 ↓	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，要求切削断面均匀、无冲击
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
YA6		冷硬铸铁、有色金属及其合金的半精加工，也可用于高锰钢、淬火钢及合金钢的半精加工和精加工
YT30	硬度、切削速度 ↑ 抗弯强度、韧性、进给量 ↓	碳素钢、合金钢、淬火钢的精加工
YT15		碳素钢、合金钢在连续切削时的粗加工、半精加工，也可用于断续切削时的精加工
YT14		碳素钢、合金钢的粗加工，可用于断续切削
YT5		
YW1	硬度、切削速度 ↑ 抗弯强度、韧性、进给量 ↓	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、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粗加工和半精加工

注：表中箭头所指方向为升高或增大。

2. 新牌号的硬质合金

随着生产发展的需要,近年来出现了许多硬质合金新品种。

(1) TiC 基硬质合金 TiC 基硬质合金是以 TiC 为主体,以 Ni、Mo 为黏结剂,并添加少量其它碳化物制成的硬质合金。与 WC 基体的硬质合金相比,它的硬度很高,一般可达 91~93.5HRA,个别牌号的硬度为 94~95HRA,即达到了陶瓷刀具的硬度水平,并有较高的抗氧化能力,较高的耐磨性、耐热性(1100~1300℃)和理想的抗月牙洼磨损能力。它主要用于碳钢、合金钢、工具钢、淬火钢等连续切削的精加工。我国代表性的牌号有 YN10(YN05),在此硬质合金中再添加 WC、NbC 等化合物,可改善热导率、抗弯强度和韧性,提高抗塑性变形能力。

(2) 表面涂层硬质合金 表面涂层硬质合金是采用化学气相沉积和真空溅射等工艺,在韧性较好的硬质合金基体上沉积一层厚度约为 5~12 μm 、硬度和耐磨性极高的涂层(TiC、TiN 等)。涂层硬质合金较好地解决了刀具的硬度、耐磨性与强度、韧性之间的矛盾,因而具有良好的切削性能和较好的通用性。在相同的刀具耐用度下,可提高切削速度 20%~30%,或在相同的切削速度下,提高耐用度 1~3 倍。与未涂层刀具相比,涂层刀具能显著降低切削力、切削温度,并能改善加工表面质量。

① TiC 涂层刀片 TiC 硬度为 3200HV,耐磨性好,容易扩散到基体内与基体粘接较牢。TiC 涂层刀具与未涂层刀具相比,摩擦系数、切削力小,切削温度低,因此,刀具耐用度得以提高。

② TiN 涂层刀片 TiN 硬度为 2000HV,与基体粘接牢固程度较差,涂层热导率高,与铁基材料摩擦系数比 TiC 小。因此 TiN 涂层硬质合金突出的优点是摩擦系数小,抗黏结温度高,抗月牙洼磨损性能好,最适合加工钢料或切屑易于粘在前面上的其它材料。

③ Al₂O₃ 涂层刀片 Al₂O₃ 硬度为 3000HV,有较高的高温硬度及化学惰性。因此,Al₂O₃ 涂层硬质合金刀具兼有陶瓷刀具的耐磨性和硬质合金的强度,可用于现有陶瓷刀具加工的一切工序,适用于陶瓷刀具因脆性大而易于崩刃和打刀の場合,可在精加工和半精加工宽广的范围内使用。

除上述单层涂覆外,还可以 TiN-TiC、TiN-TiC-Al₂O₃ 等两层、三层的复合涂层,其性能优于单层。

涂层刀片适用于各种钢材、铸铁的精加工和半精加工、负荷较轻的粗加工。含 Ti 涂层材料不能加工含钛的合金材料、高温合金及奥氏体不锈钢,因为它们之间的亲和力强,会加剧刀具的磨损。

(3) 超细晶粒硬质合金 普通硬质合金中 WC 粒度为几微米,一般细晶粒合金的平均粒度在 1.5 μm 左右。超细晶粒硬质合金 WC 粒度在 0.2~1 μm 之间,绝大部分在 0.5 μm 以下。超细晶粒硬质合金中由于硬质相和黏结相高度分散,增加了黏结面积,提高了黏结强度。因此其硬度和强度都比同样成分的硬质合金要高,硬度约提高 1.5~2HRA,抗弯强度约提高 0.6~0.8GPa,而且高温硬度也提高一些。因此,超细晶粒硬质合金适于低速切削、断续切削和切削难加工材料。因这种材料的晶粒极细,切削刃可磨得很锋利,刃口强度高,无微细崩刃,所以是薄切屑精加工刀具(如铰刀、拉刀、螺纹梳刀、高速精密滚刀等)和自动车床用刀具的较理想的硬质合金刀具材料。

第三节 其它刀具材料

刀具除上述材料外，还有几种高硬度的刀具材料。

一、陶瓷

可制作刀具的陶瓷材料是以人造的化合物为原料，在高压下成形和在高温下烧结而成的。与硬质合金刀具相比，它有很高的硬度和耐磨性，耐热性高达 1200℃ 以上，化学稳定性好，与金属的亲合力小。但陶瓷的最大弱点是抗弯强度低，冲击韧性差，对冲击载荷特别敏感。因此，陶瓷主要用于各种金属材料（钢、铸铁、有色金属等）的精加工和半精加工。按化学成分不同，陶瓷可分为下列几种。

(1) 高纯氧化铝陶瓷 主要用 Al_2O_3 加微量的添加剂（用于细化晶粒的 MgO ），经冷压烧结制成。它是一种廉价的非金属刀具材料，其硬度为 91~92HRA，抗弯强度为 0.392~0.491GPa。主要适用于高速小进给半精加工及精加工铸铁和调质钢。

(2) 复合氧化铝陶瓷 在 Al_2O_3 基体中添加某些高硬度、难熔碳化物（如 TiC、WC 等），并加入一些其它金属添加剂（如 Ni、Mo、Cr、Co、Fe 等），进行热压制成。其硬度为 93~94HRA，抗弯强度为 0.589~0.785GPa，均比高纯氧化物陶瓷高，可用于精加工及半精加工冷硬铸铁、淬硬合金钢等工件材料。

(3) 复合氮化硅陶瓷 在 Si_3N_4 基体中添加 TiC 等化合物和金属 Co 等进行热压成形烧结而成。这类陶瓷是最近一些年发展起来的一种刀具材料，很多方面的性能超过了 Al_2O_3 基陶瓷，是一类有前途的刀具材料。主要用于加工冷硬铸件、淬硬合金钢等工件材料。

(4) 硅基纳米粉陶瓷 随着材料工业的不断发展，近几年国内外对纳米材料的研究和开发已进入应用阶段。我国目前生产的陶瓷刀片强度低、韧性差，为了解决这个问题，在 Al_2O_3 细粉中添加 1%~5% 的纳米粉（SiC、 Si_3N_4 、Si/C/N）后，断裂韧性和强度提高近 1 倍。理想的纳米陶瓷材料，其纯度高（ Al_2O_3 占 99.9%），粒径小（纳米级），组织紧密。

二、超硬材料

(1) 金刚石 金刚石分天然金刚石（JT）和人造金刚石（JR）两种，都是碳的同素异形体。人造金刚石是在高温高压条件下，借合金的催化作用，由石墨转化而成。金刚石是目前已知的最硬物质，其硬度约为 10000HV，故其耐磨性好，不足之处是抗弯强度和韧性差，对铁的亲合作用大，因此不能切削钢铁等黑色金属。当温度达到 800℃ 时，在空气中金刚石刀具即发生碳化，从而产生急剧磨损。另外，金刚石价格昂贵，刃磨困难。

金刚石主要用作磨具及磨料，有些则做成金刚石笔用于修整砂轮，只有少数金刚石作为刀具。目前已开始使用聚晶金刚石制成的刀具，主要用于有色金属及合金的高精度、小粗糙度值的车削。

(2) 立方氮化硼 立方氮化硼是继人造金刚石之后出现的利用超高压高温技术获得的第二种超硬材料，其硬度高达 8000~9000HV，耐磨性好，耐热性高达 1400℃，与铁元素的化学惰性比金刚石大，因此可对高温合金、淬硬钢、冷硬铸铁进行半精加工和精

加工。

目前在生产中还制成硬质合金作基体的双层刀片，即复合立方氮化硼刀片。

思考题与习题

1. 刀具材料应具备哪些性能？其强度、硬度、耐磨性之间有什么联系？
2. 普通高速钢的常用牌号有几种？其主要物理力学性能如何？适合于制作哪类刀具？
3. 高性能高速钢有几种？它们的特点是什么？
4. 常用的硬质合金有几种？具体特点是什么？
5. 常用的钨钴类、钨钛钴类、添加钽（铌）类和碳化钛基类硬质合金有哪些牌号？它们的用途如何？为什么？
6. 涂层硬质合金有何优点？常用的涂层材料有哪几种？
7. 陶瓷、金刚石与立方氮化硼各有何特点？它们的适用场合如何？