

中等专业学校试用教材

金属切削原理与刀具

上海机器制造学校 主编



机械工业出版社

目 录

绪 论	1	§ 6-2 成形车刀的几何角度	112
§ 1 金属切削原理与刀具的重要性、 主要内容和学习方法	1	§ 6-3 成形车刀的截形设计	115
§ 2 我国金属切削原理与刀具的发展 概况	2	§ 6-4 成形车刀的装夹与刃磨	124
第一章 刀具材料	4	第七章 钻削与钻头	128
§ 1-1 对刀具切削部分材料的要求	4	§ 7-1 麻花钻的结构与几何角度	128
§ 1-2 工具钢	4	§ 7-2 钻削要素	133
§ 1-3 硬质合金	7	§ 7-3 钻削过程特点及钻削用量的 选择	133
§ 1-4 其它刀具材料	11	§ 7-4 麻花钻几何形状分析	136
第二章 车刀的几何角度与切削要素	13	§ 7-5 麻花钻的修磨与典型先进钻型 分析	139
§ 2-1 基本定义	13	§ 7-6 硬质合金钻头	146
§ 2-2 典型车刀几何角度与图示方法	16	第八章 铰刀与镗刀	148
§ 2-3 切削要素	18	§ 8-1 铰刀的种类与用途	148
§ 2-4 车刀各剖面内角度及其换算	19	§ 8-2 整体圆柱机用铰刀设计	150
§ 2-5 法向前角与切削前角	22	§ 8-3 带刃倾角铰刀与硬质合金 铰刀	155
§ 2-6 车刀的工作角度	23	§ 8-4 铰刀的刃磨与研磨	159
第三章 金属切削过程的基本规律	27	§ 8-5 镗刀	159
§ 3-1 切削变形	27	第九章 深孔刀具	166
§ 3-2 切削力	33	§ 9-1 深孔加工特点与深孔刀具的 种类	166
§ 3-3 切削热与切削温度	46	§ 9-2 单刃外排屑小深孔钻	168
§ 3-4 刀具磨损与刀具耐用度	48	§ 9-3 锯齿内排屑深孔钻	170
§ 3-5 断屑	55	§ 9-4 喷吸钻	173
第四章 提高表面光洁度与生产率的方法	63	§ 9-5 深孔套料钻	174
§ 4-1 工件材料的切削加工性	63	第十章 拉刀	177
§ 4-2 切削液	65	§ 10-1 拉刀的种类与用途	177
§ 4-3 已加工表面光洁度	68	§ 10-2 拉刀的组成与拉削过程特点	179
§ 4-4 刀具几何参数的合理选择	74	§ 10-3 拉削方式	182
§ 4-5 切削用量的合理选择	80	§ 10-4 综合轮切式圆孔拉刀设计	183
第五章 车刀	87	§ 10-5 花键拉刀设计特点	193
§ 5-1 焊接车刀	87	§ 10-6 硬质合金组合拉刀简介	195
§ 5-2 机械夹固重磨车刀	89	§ 10-7 拉刀的合理使用	197
§ 5-3 不重磨车刀	93	第十一章 铣削与铣刀	200
第六章 成形车刀	111	§ 11-1 铣刀的类型	200
§ 6-1 成形车刀的种类和应用	111		

IV

§ 11-2 铣刀的几何角度	201	§ 13-1 齿轮刀具的种类	241
§ 11-3 铣削要素	202	§ 13-2 盘形齿轮铣刀的选用	242
§ 11-4 铣削力	205	§ 13-3 齿轮滚刀的设计与选用	243
§ 11-5 顺铣与逆铣	208	§ 13-4 插齿刀的结构与选用	263
§ 11-6 铣刀的磨损与耐用度	209	§ 13-5 剃齿刀简介	267
§ 11-7 常用尖齿铣刀的结构特点和 应用范围	211	第十四章 组合机床刀具与自动线 刀具	270
§ 11-8 铲齿铣刀	215	§ 14-1 组合机床刀具	270
§ 11-9 硬质合金端铣刀	217	§ 14-2 自动线刀具	276
§ 11-10 几种先进铣刀简介	225	§ 14-3 数控机床刀具简介	282
§ 11-11 铣刀的刃磨	226	第十五章 磨削与磨轮	286
第十二章 螺纹刀具	227	§ 15-1 磨轮	286
§ 12-1 机夹、不重磨螺纹车刀	227	§ 15-2 磨削过程的特点	293
§ 12-2 丝锥	229	§ 15-3 磨削的表面质量	297
§ 12-3 梯形内螺纹拉削丝锥	234	§ 15-4 高速磨削、强力磨削与镜面 磨削简介	299
§ 12-4 其它螺纹刀具	236		
第十三章 齿轮刀具	241		

绪 论

§ 1 金属切削原理与刀具的重要性、主要内容和学习方法

金属切削加工是现代机械制造与国防工业中广泛采用的重要加工方法之一。凡属精度和表面光洁度要求较高的零件,一般皆需经过切削加工。为了达到多快好省地进行切削加工之目的,必须掌握金属切削的基本规律,采用性能优良的高效率的机床与工具。刀具是重要的工具之一。刀具虽小,作用很大。高效率的机床必须有先进的刀具与之相配合才能充分发挥其作用;而新型刀具的出现,则常常把生产率提高到一个新的水平,并促使机床结构发生相应变化。国际生产技术研究会(CIRP)的一项研究报告指出:“由于刀具材料的改进,刀具的允许切削速度每隔十年几乎提高一倍;由于刀具结构和几何参数的改进,刀具寿命每隔十年几乎提高二倍”。由此可见,正确设计、合理选用与不断革新刀具对于促进金属切削加工的发展与提高具有显著效果和重大意义。

“金属切削原理与刀具”是研究金属切削过程的基本规律和刀具的合理选用与设计的一门应用科学;是机器制造专业的主要课程之一。它可分为切削原理部分与刀具部分。

一、切削原理部分

切削原理部分是“金属切削原理与刀具”的基础部分,也是学习“金属切削机床”、“机械制造工艺”、“机床夹具设计”等专业课程的重要基础理论之一。它主要包括两部分内容:

1. 几何问题:包括刀具切削部分的角度和其它几何参数,或统称为刀具切削部分的几何参数。通过学习,对于常用刀具的几何参数要概念清楚、掌握牢固、达到会画、会算、会选的要求。为此,首先要踏踏实实地弄懂车刀切削部分几何角度的基本定义、各剖面间角度的相互关系及其换算方法,各角度及其它几何参数的主要作用和选择原则等基本概念,并通过实验、作业和其它实践性环节加以巩固。而后还要通过学习机夹重磨车刀、不重磨车刀、麻花钻和群钻、铰刀、铣刀、齿轮滚刀等有关章节,循序渐进地予以深化、扩展和提高。

2. 基本规律问题:主要包括切削变形、切削力、切削热与切削温度、刀具磨损、断屑等规律。这些都属于金属切削的基础理论。这些理论主要是通过切削实验的方法,以及总结生产实践经验而建立起来的。通过学习,要着重弄清基本概念和掌握基本运算方法,并能理论联系实际地逐步学会分析与解决一些生产实际问题和初步掌握进行切削实验研究的方法。在分析某些现象(如积屑瘤、切削力、切削温度、断屑等)的变化规律时,往往涉及很多影响因素,比较复杂。要注意运用分析矛盾、抓住主要矛盾和矛盾的主要方面的方法去分析问题,正确理解和掌握规律,并注意各基本规律之间的内在联系和区别,逐步学会灵活运用。要力求避免不分主次地罗列一大堆影响因素和孤立地、片面地看问题的弊病。

二、刀具部分

刀具的种类很多,但大体上可以分成标准刀具与非标准刀具两大类。标准刀具是按照国家或部门制订的“刀具标准”制造的刀具,由专业化的工具厂集中大批量生产,它在工具的

使用总量中占的比例很大。非标准刀具是根据工件与具体加工条件的特殊要求设计与制造,或将标准刀具加以改制的刀具,主要由用户厂自行生产。

本书的刀具部分主要包括以下两方面内容:

1. 常用刀具的合理选用问题:要能基本上正确地选择常用刀具的材料、刀具的类型、结构、规格和精度等级;懂得合理使用这些刀具的要点和方法;能理论联系实际地学习与分析一些具有普遍推广意义的和有代表性的先进刀具的原理、主要特点和适用范围,逐步学会正确应用先进刀具,并为今后不断改革刀具打下基础。达到以上这些要求是不容易的,除了认真学好“金属切削原理与刀具”以外,还要十分重视逐步扩充工艺方面的知识和注意积累生产实践经验。为此,一方面要阅读一些必要的参考书籍和图册资料,另一方面要多到一些工厂去参观、实践和向有丰富实践经验的工人师傅与技术人员学习。

2. 刀具的设计问题:本书除讲解与刀具设计有关的基础知识以外,还有重点地安排了一些比较常用的、有一定代表性的和具有普遍推广意义的刀具,较全面地介绍其设计计算方法,或扼要讲解其设计要点。应在切实掌握这些内容的基础上阅读一些必要的参考资料,并通过作业和其它实践性环节的基本训练,掌握刀具设计的基本原理、计算与绘图方法,为学会设计一般常用的非标准刀具打下基础。

§2 我国金属切削原理与刀具的发展概况

我国在金属切削加工方面具有悠久的历史,劳动人民曾经作出过许多巨大的贡献。从大量出土文物和文献记载中可以看出,我国古代劳动人民早已制造与使用了各种石质、铜质、铁质和钢质淬火的切削工具,并在八世纪(唐代)便已经有了手工操作的车床。图1和图2是我国1668年(清初)使用过的马拉机床和脚踏刃磨机。当时用镶齿刀具加工天文仪器上直径达两米多的大铜环,其加工精度与表面光洁度均达到相当高的水平。

但是,由于长期的封建统治,特别是1840年以后帝国主义、封建主义和官僚资本主义的压迫与掠夺,致使我国工业非常落后。解放前我国没有独立的机械制造业,更谈不上为它服务的工具制造业和金属切削原理与刀具的研究工作。当时使用的刀具,即使是一些比较简单的刀具,也大都依赖进口。

解放后,在伟大、光荣、正确的中国共产党和伟大领袖毛主席的领导下,我国的面貌发生了根本变化。机械制造业有了很大发展,已经初步建成了独立、完整的工业体系,并正在按照专业化协作的原则和

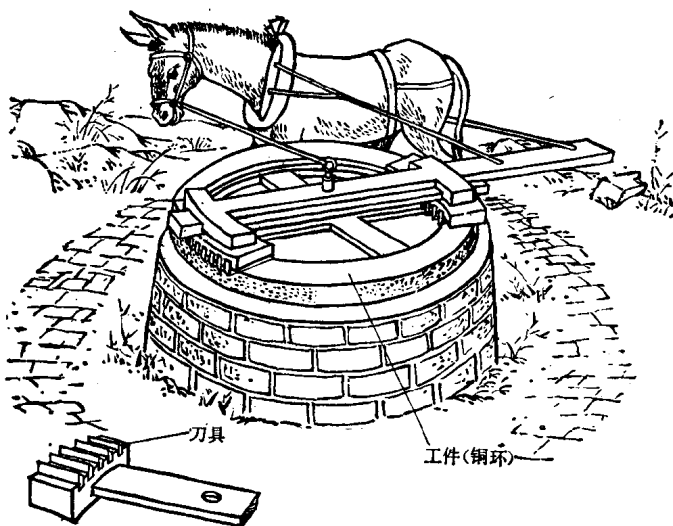


图1 1668年中国的马拉机床

搞好三化（标准化、系列化、通用化）的要求，为向国民经济各部门提供各种高质量的机械设备，大型的、精密的、现代化的成套设备而努力。广大金属切削工人在技术革新与技术革命的群众运动中创造了许多高效率的切削加工方法和大量先进刀具，有力地促进了机械工业的发展；工具研究所、工厂和大专学校的广大技术人员与教师也在金属切削理论的研究、各类刀具的设计与工艺改革、刀具材料以及刀具的标准化等方面做了大量工作，取得了很大成绩。以英明领袖华主席为首的党中央一举粉碎了祸国殃民的“四人帮”以后，扫除了前进道路上的障碍，机械工业和其他部门一样，正在迅速地向前发展。为了使金属切削加工早日实现现代化，我国正在大力加强金属切削原理与刀具的科学研究工作和继续广泛、深入地开展群众性的刀具革新运动。从国内外金属切削原理与刀具的发展趋势来看，主要有以下几个方面：

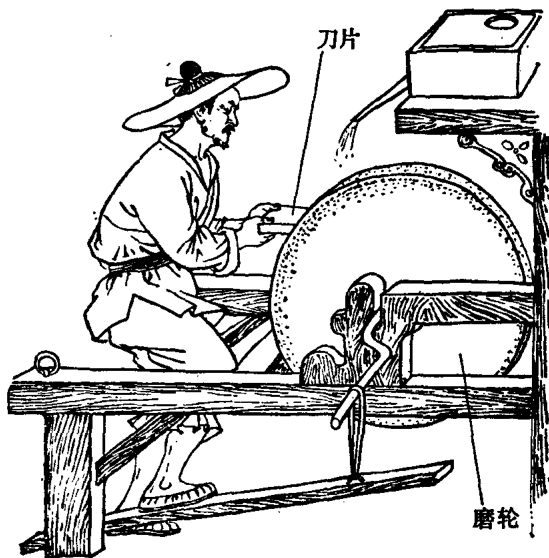


图2 1668年中国的脚踏刃磨机

采用现代化的测试手段，先进的实验方法与理论分析计算，更深入地研究金属切削的基础理论，提供更完整、精确的技术资料与理论指导，为设计、使用、改革刀具和机床等打下坚实基础；

进一步改进常用刀具材料（如高速钢与硬质合金）的切削性能和工艺性能，针对具体加工条件，结合本国资源，扩大与改革其品种、牌号；继续深入研究新型刀具材料（如人造金刚石、立方氮化硼、热压氮化硅陶瓷、表面涂层硬质合金等）的磨损机理，适用范围与最佳切削参数，更多、更好地使用新型刀具材料，以提高切削效率、加工精度和降低成本；

继续深入研究不重磨刀具的结构与刀片的槽型参数，扩大其品种、规格，改进刀片的制造工艺，提高质量，进一步大力推广使用多种类型的不重磨刀具，以适应自动化、高效率的要求；

对各类刀具，分别不同情况，通过改进其结构、几何参数、切削图形与切削方法等，进一步提高切削效率、加工精度和降低成本，尤其要进一步深入研究与发展适应自动线和数控机床需要的刀具，并在刀具的“三化”与工艺改革方面继续努力提高水平；

针对各种难加工材料的具体特点，进行切削机理、刀具材料、刀具结构与几何参数、切削方法和切削用量，以及切削液等方面全面系统的研究工作；

运用电子计算机处理切削实验数据、选择最佳参数和设计计算复杂刀具等等。

我们一定要在华主席和党中央的英明领导下，好好学习，认真工作，为在本世纪内把我国建设成为农业、工业、国防和科学技术现代化的伟大的社会主义强国而努力奋斗！

第一章 刀具材料

刀具材料性能的优劣是影响切削效率高低的一个基本因素。刀具新材料的出现,往往能决定性地提高切削速度或解决难加工材料的切削加工问题。本章主要介绍目前常用刀具材料的性能及其适用范围,为学会选用刀具材料和学习后继章节打下基础。

§ 1-1 对刀具切削部分材料的要求

在金属切削加工过程中,刀具的切削部分是在较大的切削力、较高的切削温度和剧烈的摩擦条件下进行工作的。刀具耐用度的长短和切削效率的高低,首先取决于刀具材料是否具备优良的切削性能。此外,刀具材料的工艺性能对刀具本身的制造与刃磨质量也有显著影响。因此,刀具切削部分的材料应满足下列要求:

一、切削性能方面

1. 高的硬度:刀具材料的硬度要高于工件材料的硬度。一般用工具钢制造的刀具其常温硬度应在 HRC60 以上;其它刀具材料(如硬质合金等)的硬度则更高。

2. 高的耐磨性:一般刀具材料的硬度越高则耐磨性也越好。但耐磨性还和刀具材料中的硬质点的种类、数量、大小、分布情况以及刀刃与刀面的光洁度等有关。

3. 足够的强度和韧性:刀具材料的强度通常用抗弯强度 σ_w (帕或公斤力/毫米²⊖)表示,韧性用冲击值 α_k (公斤力·米/厘米²)表示。只有具备足够的强度和韧性,才能防止刀具的脆性断裂或崩刃等。

4. 高的耐热性:所谓耐热性是指在高温下保持上述性能的能力,一般用红硬性表示。高温下硬度越高则红硬性越好。它是评定刀具材料切削性能优劣的主要标志。

二、工艺性能方面

1. 热处理性能好。例如热处理变形小,脱碳层薄和淬透性好等。对热成形刀具来说,还要求高温塑性要好。这是工具钢刀具应具备的重要工艺性能。

2. 磨削性能好。磨削性能可用磨削比表示。所谓磨削比是指磨削金属体积与砂轮消耗体积之比。磨削比越大则磨削性能越好。

3. 其它工艺性能(如被切削加工性能,焊接性能等)好。

此外,刀具材料还应尽量满足资源丰富,价格低廉的要求,否则便不能大量推广采用。

目前最常用的刀具材料是高速钢和硬质合金。

§ 1-2 工 具 钢

工具钢分碳素工具钢、合金工具钢和高速钢三大类。

⊖ 帕(牛顿/米²)为国际制单位,它与工程制单位公斤力/毫米²的换算关系是:

1 帕 = 1.02×10^{-7} 公斤力/毫米², 或 1 公斤力/毫米² = 98.07×10^6 帕 = 9.807 兆帕。

一、碳素工具钢（简称碳工钢）

为含碳量在 0.7~1.3% 的优质高碳钢，用来制造刀具的主要牌号有 T10A 和 T12A。

碳工钢热处理后的硬度为 HRC60~64，其红硬性约为 200℃，因此允许的切削速度很低。此外，碳工钢的淬透性差，热处理时变形较大。其主要优点是价格低廉，刃口容易磨得锋利。碳工钢一般只用作手用刀具或形状简单、尺寸较小的低速刀具，如锉刀、手用锯条、手用铰刀等。

二、合金工具钢（简称合金工钢）

在碳工钢中加入一些合金元素，如铬、钨、硅、锰等即成合金工钢。

合金工钢热处理后的硬度与碳工钢相同，红硬性较碳工钢略高（250~300℃），耐磨性也有所提高。采用合金工钢来制造某些刀具的主要原因是因为它具有较高的热处理工艺性能，淬火时在油中冷却，其热处理变形很小，淬透性较好。

合金工钢常用的牌号有 9SiCr、GCr15 和 CrWMn 等，主要用于制造一些低速、细长刀具，如圆板牙、手用铰刀、硬质合金钻头的刀体等。

由于碳工钢与合金工钢的红硬性差，目前已很少用这类材料来制造刀具。

三、高速钢

高速钢是一种含钨、铬、钼、钒等合金元素较多的工具钢。由于它的红硬性较碳工钢和合金工钢显著提高，允许的切削速度比碳工钢高二倍以上，因此称之为高速工具钢，或简称高速钢。

虽然高速钢的硬度、耐磨性和耐热性都不如硬质合金，但由于用这种材料制造的刀具的刃口强度和韧性比硬质合金高，能承受较大的冲击载荷，能用于旋转切削中心刃口线速度很低（趋近于 0）的刀具，能用于刚性较差的机床；可加工从有色金属到高温合金范围广泛的材料；以及这种材料的工艺性能较好，能锻造和容易磨出锋利的刃口等原因，因此到目前为止，高速钢仍然是制造刀具（尤其是形状比较复杂的刀具）的一种使用量最多的材料。

高速钢按用途和性能可分为通用高速钢和高性能高速钢两类；按化学成分可分为钨系、钨-钼系、钼-钨系和钼系四类。

1. 通用高速钢：通用高速钢是指加工一般金属材料用的高速钢，其牌号有 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 和 W14Cr4VMnRe。

W18Cr4V (18-4-1)：属钨系高速钢。经热处理后其常温硬度为 HRC62~65 或 HRC63~66，红硬性可达 620℃，抗弯强度约为 3430 兆帕（或 350 公斤力/毫米²），磨削性能较好，是我国高速钢中用得最多的一个牌号。

W6Mo5Cr4V2 (6-5-4-2)：属钨-钼系高速钢。与 W18Cr4V 相比，其抗弯强度，冲击韧性和高温塑性较高；热处理后的硬度与红硬性相近；但其磨削性能稍差。W6Mo5Cr4V2 是国外用得较多的一种通用高速钢，目前国内主要用于热成形刀具（如热轧钻头）及承受冲击力较大的刀具。

W14Cr4VMnRe：是通用高速钢中的一个新牌号。其抗弯强度介于 W18Cr4V 和 W6Mo5Cr4V2 之间，其它性能与 W18Cr4V 相近。由于其高温塑性较好，故能代替 W6Mo5Cr4V2 供制造热轧钻头之用。

2. 高性能高速钢：高性能高速钢是通过改变高速钢的化学成分来改进其切削性能而发展起来的高速钢。目前列入冶金部标准的有高碳高速钢，高钒高速钢，超硬高速钢三种六个

表1-1 高速钢的化学成分、性能和用途

类别	牌 号	化 学 成 分 (%)							硬度 (HRC)	抗弯强度 σ_w (公斤力/毫米 ²)	冲击值 α_k (公斤力·米/厘米 ²)	600°C 高温 硬度 (HRC)	磨削性能	主 要 用 途
		C	W	Mo	Cr	V	Co	Al	其它					
通 用 高 速 钢	W18Cr4V	0.70 ~0.80	17.5 ~19.0	≤0.30	3.80 ~4.40	1.00 ~1.40	—	—	—	~350	~3.0	48.5	好。普通钢 玉砂轮能磨	用途广泛,主要用于 制造钻头、铣刀、铰刀、 拉刀、丝锥、齿轮刀具等
	W6Mo5Cr4V2	0.80 ~0.90	5.50 ~6.75	4.50 ~5.50	3.80 ~4.40	1.75 ~2.20	—	—	—	~450~470	~5.0	47~48	较W18Cr4V 相差一些,普 通刚玉砂轮能 磨	用于制造要求热稳定性 好和受较大冲击负荷的 刀具如轧制钻头
	W14Cr4VMnRe	0.85 ~0.95	13.50 ~15.00	—	3.50 ~4.00	1.40 ~1.70	—	—	Mn, 0.35 ~0.55 Re, 0.07	~400	~2.50	48.5	好。与 W18Cr4V 相 近	用于制造要求热稳定性 好和受较大冲击负荷的 刀具如轧制钻头
高 碳	95W18Cr4V	0.90 ~1.00	17.5 ~19.0	≤0.30	3.80 ~4.40	1.00 ~1.40	—	—	—	~300	~1.00	51	好。普通刚 玉砂轮能磨	用作对韧性要求不 高,但对磨削性要求较 高的刀具
高 钒	W12Cr4V4Mo	1.20 ~1.40	11.50 ~13.00	0.90 ~1.20	3.80 ~4.40	3.80 ~4.40	—	—	—	~320	~2.5	51	差	用作形状较简单,对 磨削性有较高要求的刀 具
超 高 性 能 高 速 钢	W6Mo5Cr4V2Al	1.05 ~1.20	5.50 ~6.75	4.50 ~5.55	3.80 ~4.40	1.75 ~2.20	—	0.80 ~1.20	—	~380	2.00	55	较W18Cr4V 差一些	可用于制造复杂刀具 和难加工材料用的刀 具
	W10Mo4Cr4V3Al	1.30 ~1.45	9.00 ~10.5	3.50 ~4.50	3.8~4.5	2.70 ~3.20	—	0.70 ~1.20	—	~307	2.00	54	较差	磨削性好,刀具耐用 度高,用作加工难切削 高强度耐热钢的刀具
	W6Mo5Cr4V5SiNbAl	1.55 ~1.65	5.00 ~6.00	5.00 ~6.00	3.8~4.4	4.20 ~5.20	—	0.30 ~0.70	Si, 1.0 ~1.4 Nb, 0.20 ~0.50	~360	2.70	51	差	用作形状简单的刀 具,尤其用作钻头加工 铁基高温合金时效效率 高
硬	W12Cr4V3Mo3Co5Si	1.20 ~1.35	11.5 ~13.0	2.80 ~3.40	3.80 ~4.40	2.80 ~3.40	4.70 ~5.10	—	Si, 0.80 ~1.20	~270	1.10	54	差	硬度高,耐磨性、耐 热性好,用作加工超高 强度耐热钢的刀具效果较 显著
	W2Mo9Cr4VCo8 (M42)	1.05 ~1.15	1.15 ~1.85	9.00 ~10.00	3.50 ~4.25	0.95 ~1.35	7.75 ~8.75	—	—	~300	~1.0	55	好。普通刚 玉砂轮能磨	用作难加工材料的刀 具,因其磨削性好,可 作复杂刀具,但价格昂 贵

牌号。这类高速钢的某些性能指标,如热处理后的硬度,红硬性或耐磨性等比通用高速钢高,因此除能用于加工一般金属材料外,还能胜任难加工材料如耐热钢、不锈钢、高温合金等的切削工作。

高碳高速钢 95W18Cr4V: 这种高速钢将 W18Cr4V 的含碳量从 0.7~0.8% 提高到 0.9~1%, 从而可使热处理后的硬度提高到 HRC67~68, 其耐磨性与耐热性也比 W18Cr4V 好, 当切削不锈钢等难加工材料时可显著提高刀具耐用度。但这种高速钢的抗弯强度和冲击韧性较 W18Cr4V 低。

高钒高速钢 W12Cr4V4Mo: 这种高速钢的主要特点是耐磨性好。由于在增加钒含量的同时要增加碳的含量, 使金相组织中高硬度的碳化钒 (VC) 的数量增多, 从而提高了耐磨性。但是随着钒含量的增加, 使磨削性能变差, 因此高钒高速钢的推广还有赖于砂轮和磨削工艺的改进。

超硬高速钢: 这种高速钢热处理后的硬度可达 HRC66~70, 其耐磨性与红硬性也比 W18Cr4V 高。国外用得较多的是含钴的超硬高速钢, 其代表性牌号为 W2Mo9Cr4VCo8 (M42)。钴高速钢的价格很贵, 约为通用高速钢的 5~8 倍。为了节省昂贵的钴, 我国研制了几种不含钴或含钴量较少的超硬高速钢, 其牌号有: W6Mo5Cr4V2A1、W10Mo4Cr4V3A1、W6Mo5Cr4V5SiNbA1、W12Cr4V3Mo3Co5Si 等。

W6Mo5Cr4V2A1 是在通用高速钢 W6Mo5Cr4V2 的基础上将含碳量从 0.8~0.9% 提高到 1.05~1.2%, 并加入 1% 铝含量的一种新型高速钢, 其切削性能与使用效果和钴高速钢不相上下, 其价格与通用高速钢相近, 体现了我国的独创风格。但这种高速钢的热处理工艺要求比较严格, 磨削性能较通用高速钢差一些 (但比高钒高速钢容易磨), 使用时应予以注意。

表 1-1 为高速钢主要牌号的化学成分、性能和用途。

3. 粉末冶金高速钢: 粉末冶金高速钢是通过改变高速钢的制造方法来改进其性能而发展起来的一种高速钢。

粉末冶金高速钢刀具的工艺过程大致是: 用氩气将熔化的高速钢钢水雾化, 速冷后产生含有大量细小碳化物颗粒的高速钢微粉。微粉可以直接压制成刀具的形状, 也可以在热压后再经过锻造或轧制成形。前者成本较低, 后者制成的刀具质量较高。

用粉末冶金法制造高速钢刀具主要有以下优点:

(1) 碳化物颗粒小, 分布均匀, 热处理后的硬度较高 (可达 HRC70), 耐磨性好, 强度高, 从而能显著提高刀具的耐用度。

(2) 能显著减少热处理时的变形。此外, 锻造、轧制及磨削性能也较好, 故适于制造齿轮刀具等精密刀具。

§ 1-3 硬质合金

硬质合金是用粉末冶金法制造的。它由硬度和熔点很高的碳化物 (又称硬质相) 和胶结金属 (又称粘结相) 组成。

硬质合金的硬度较高, 其常温硬度为 HRA89~93 (相当于 HRC74~81); 硬质合金的耐磨性较好; 尤其可贵的是它的红硬性较高, 能耐 800~1000℃ (或更高温度) 的高温。因此能采用比高速钢高几倍甚至十几倍的切削速度, 并能切削工具钢刀具无法切削的难加工材料。

但是硬质合金也有其缺点，它的抗弯强度和冲击韧性较高速钢低很多，刃口不易磨得像高速钢刀具那样锋利，制造形状复杂的刀具时工艺上要比高速钢困难。因此，高速钢与硬质合金是目前制造刀具的相辅相成的两种最常用的材料。

一、硬质合金的分类

目前我国生产的硬质合金按其化学成分和使用特性分为四类：

1. 钨钴合金 (YG)：由 WC+Co 组成。

2. 钨钛钴合金 (YT)：由 WC+TiC+Co 组成。

3. 添加稀有金属碳化物的合金：又分在 YG 类和 YT 类基础上添加稀有金属碳化物 (TaC, NbC) 两种。前者由 WC+TaC(NbC)+Co 组成；后者由 WC+TiC+TaC(NbC)+Co 组成。

4. 镍钼钛系合金：又称碳化钛镍钼合金或碳化钛基合金，主要由 TiC+Ni+Mo 组成。

表 1-2 是目前常用硬质合金的牌号、成分和性能。

表 1-2 常用硬质合金的牌号、成分和性能

类 型	牌 号	化 学 成 分 (%)					物 理 机 械 性 能				相 当 ISO 牌号
		WC	TiC	TaC (NbC)	Co	其它	比 重 (克/厘米 ³)	导热系数 (卡/ 厘米·秒·度)	硬 度 HRA HRC	抗弯强度 (公斤力/ 毫米 ²)	
钨钴合金 (YG)	YG3	97	—	—	3	—	15.0~15.3	0.21	91 78	120	K01 K05
	YG6	94	—	—	6	—	14.6~15.0	0.19	89.5 75	140	K20
	YG6X	94	—	—	6	—	14.6~15.0	0.19	91 78	135	K10
	YG8	92	—	—	8	—	14.4~14.8	0.18	89 74	150	K30
钨钛钴合金 (YT)	YT5	85	5	—	10	—	12.5~13.2	0.15	89.5 75	130	P30
	YT14	78	14	—	8	—	11.2~11.7	0.08	90.5 77	120	P20
	YT15	79	15	—	6	—	11.05~11.3	0.08	91 78	115	P10
	YT30	66	30	—	4	—	9.35~9.7	0.05	92.5 81	90	P01
添加稀有 金属碳化 物合金	YA6	93~91	—	1~3	6	—	14.6~15.0	—	92 80	135	K10
	YW1	84	6	4	6	—	13.0~13.5	—	92 80	125	M10
	YW2	82	6	4	8	—	12.7~13.3	—	91 78	150	M20
镍钼钛系合金	YN10	15	62	1	—	Ni: 12 Mo: 10	6.3	—	92.5 81	110~125	P01

注：

Y—硬质合金(汉语拼音字头，下同)

G—钴，其后数字表示合金中的含钴量

X—细颗粒合金

C—粗颗粒合金

T—钛，其后数字表示合金中的TiC含量

A—含TaC(NbC)的钨钴类合金

W—通用合金

N—不含钴的镍钼钛基合金

二、钨钴合金 (YG)

钨钴合金的韧性、磨削性能和导热性较好，主要适用于加工脆性材料(如铸铁)、有色金属及其合金。当加工脆性材料时，一般产生崩碎切屑，冲击性的切削力作用在刃口附近，因此应选用韧性较好的 YG 合金，以防崩刃；由于 YG 类合金的磨削性能较好，刃口能磨得较

锋利，故较适用于加工有色金属及其合金。YG类合金的硬质相WC的硬度为HV 2080(TiC的硬度为HV 3200)，由于显微硬度及组织不同，用YG类加工一般钢材时其耐磨性比YT类差很多，因此YG类不宜用于加工一般钢。但在某些特殊情况下，例如当加工导热系数低的不锈钢以及对刃口的韧性有较高要求的某些钢件时（此时切削速度一般不高），则可选用YG类合金。

钨钴合金的常用牌号有YG3、YG6、YG6X和YG8，其化学成分和物理机械性能见表1-2。含钴量越多的牌号其强度越高，韧性越好，但硬度和耐磨性相应降低。因此当切削条件比较平稳，主要要求硬度和耐磨性较高时，应选用含钴量较少的牌号；当切削条件不平稳，冲击振动较大时，应选用含钴量较多的牌号。对比YG6（中颗粒）和YG6X（细颗粒）的物理机械性能可以看出：细颗粒的硬质合金硬度较高，耐磨性较好，但抗弯强度则略有降低。

三、钨钛钴合金（YT）

这类合金中由于加入了碳化钛（TiC）使其耐磨性提高，但抗弯强度、磨削性能和导热系数下降。此外，其低温脆性较大。因此，YT类合金主要适用于高速切削一般钢材。

钨钛钴类合金的常用牌号有YT5、YT14、YT15和YT30（表1-2）。含碳化钛（TiC）越多的牌号其硬度和耐磨性越高，但抗弯强度和导热系数越低。因此当切削条件比较平稳，主要要求强度和耐磨性高时，应选用含TiC多的牌号；当刀具在切削过程中承受冲击振动负荷容易引起崩刃时，应选用含TiC少的牌号。

四、添加稀有金属碳化物合金

添加适当份量的稀有金属碳化物碳化钽（TaC）或碳化铌（NbC），能使硬质合金的晶粒细化，能提高其硬度（常温硬度和高温硬度）、耐磨性、粘结温度和抗氧化性，并使合金具有一定的韧性。总之，这类合金具有较好的综合切削性能，但价格较贵，主要适用于切削难加工材料。

五、镍钼钛系合金

这类硬质合金的硬质相以碳化钛为主，并用镍、钼作胶结剂。由于TiC的硬度、耐磨性和耐热性比WC高，镍、钼的粘结强度比钴好，因此这类合金具有较高的切削性能。以YN10为例，其耐磨性比YT类合金高0.2~2倍，硬度相当于YT30，而抗弯强度、磨削性能和焊接性能都比YT30好。它在1000℃以上的高温下仍能进行切削，因此允许采用较高的切削速度。这类合金目前主要用于碳钢、合金钢、工具钢、淬火钢等金属材料连续切削时的精加工。当加工尺寸较大或表面光洁度要求较高的工件时，效果尤其显著。

以上所述各种硬质合金常用牌号的使用性能和适用范围见表1-3。

六、其它硬质合金

1. 钢结硬质合金：钢结硬质合金是介于高速钢与硬质合金之间的一种高强度的硬质合金。它既具有一般工具钢的可加工性，可热处理性和可焊接性，又具有介于高速钢与硬质合金之间的切削性能。钢结硬质合金是用一般硬质合金的碳化物（碳化钨、碳化钛）作硬质相，用高速钢或其他钢种作粘结相而组成的一种合金。例如D-1合金含TiC—30%，含高速钢—70%；D-3合金含WC—40%，含高速钢—60%等。

钢结硬质合金热处理后的硬度可达HRC70~72，适于代替高速钢制造多种刀具，尤其对制造形状比较复杂的刀具很有价值。切削中等强度的材料时，其切削速度为30~60米/分，刀具耐用度可比高速钢提高几倍。

表1-3 硬质合金常用牌号的使用性能和适用范围

类 型	牌 号	使 用 性 能 和 适 用 范 围
钨钴合金 (YG)	YG3	耐磨性高, 允许的切削速度较高, 耐冲击性较差。适用于铸铁、有色金属及其合金连续切削时的精加工和半精加工
	YG6	耐磨性较YG3高, 但低于YG8, 耐冲击性较YG3好但不如YG8。适用于铸铁、有色金属及其合金与非金属材料连续切削时的粗加工, 间断切削时的半精加工
	YG6X	其耐磨性较YG6高, 强度略低于YG6。适用于加工冷硬合金铸铁、耐热合金钢, 也适用于普通铸铁的精加工和半精加工
	YG8	强度较高, 抗冲击性较好, 但耐磨性和允许的切削速度较低。适用于铸铁、有色金属及其合金、非金属材料不平整断面和间断切削时的粗车、粗刨、粗铣及钻、扩孔等
钨钛钴合金 (YT)	YT5	是YT类合金中强度最高、抗冲击性最好的一个牌号。不易崩刃, 但耐磨性较差, 允许的切削速度较低。适用于碳钢与合金钢铸、锻件的表皮加工, 粗车、粗刨、半精刨、粗铣与钻孔等
	YT14	强度较高, 抗冲击性较好, 但较YT5稍差, 耐磨性和允许的切削速度较YT5高。适用于碳钢与合金钢连续切削时的粗加工, 间断切削时的半精加工、铸孔的扩钻等
	YT15	耐磨性较YT14高, 但抗冲击韧性较YT14差。适用于碳钢与合金钢连续切削时的粗车、半精车及精车, 间断切削时的半精加工与精加工
	YT30	耐磨性和允许的切削速度较YT15高, 但强度和抗冲击韧性较差, 焊接与刃磨工艺性也较差。适用于碳钢与合金钢连续切削时的精加工
添加稀有金属 碳化物合金	YA6	由于加入了少量稀有金属碳化物, 其耐磨性较好, 并具备一定的通用性。适用于冷硬铸铁、有色金属及其合金的半精加工, 也适用于高锰钢、淬火钢及合金钢的半精加工及精加工
	YW1	耐热性较好, 能承受一定的冲击负荷, 是一种通用性较好的合金。适用于耐热钢、高锰钢、不锈钢等难加工钢材的精加工和半精加工, 也可半精加工和精加工一般钢材和铸铁
	YW2	耐磨性稍次于YW1, 但其抗弯强度较高, 能承受较大的冲击负荷。适用于耐热钢、高锰钢、不锈钢及高级合金钢等难加工钢材的粗加工和半精加工, 也可粗加工和半精加工一般钢材和铸铁
镍钼钛系合金	YN10	耐磨性和允许的切削速度较高, 抗弯强度、焊接与刃磨性能比YT30好。适用于碳钢、合金钢、工具钢、淬火钢连续切削时的精加工

2. 超细晶粒硬质合金: 这种硬质合金的特点是晶粒极细小, 平均粒度在 0.5 微米以下。最大的不超过 1 微米, 小的 0.2~0.3 微米, 甚至小于 0.1 微米。

超细晶粒硬质合金既具有较高的硬度和耐磨性, 又具有较高的强度。其含钴量一般在 9~15% 范围内。合金的硬度一般为 HRA90~93, 抗弯强度可达 1960~3430 兆帕 (200~350 公斤力/毫米²)。这种合金的切削性能要比高速钢好得多, 而其强度则比一般硬质合金提高很多。它能适应低速切削和断续切削, 能加工大多数高温、高强度合金, 包括不锈钢、钛合金等难加工材料。同时, 它在切削速度上填补了高速钢与一般硬质合金之间的空白。

近几年出现了表面涂层硬质合金。它是在韧性较好的硬质合金基体上涂复一层硬度、耐磨性和耐热性较高, 厚度只有几微米的涂复层, 如碳化钛 (TiC)、氮化钛 (TiN) 或陶瓷 (Al₂O₃) 等。这样既保持了刀片基体具有一定的强度和韧性, 又使刀刃与刀面的耐磨性显著提高。使用涂层刀片后, 一般刀具耐用度可提高 1~3 倍, 或可提高切削速度 20% 左右。关于表面涂层硬质合金刀片将在本书第五章中加以介绍。

§ 1-4 其它刀具材料

一、陶瓷

这种刀具材料是用氧化铝 (Al_2O_3) 微粉在高温下烧结而成。目前一般多制成多边形不重磨刀片。其硬度、耐磨性和耐热性均比硬质合金高, 能在 1200°C 或更高的切削温度下进行切削工作。因此可采用较硬质合金高几倍的切削速度, 并能获得较高的工件表面光洁度和尺寸稳定性。此外, 这种刀具材料的资源丰富, 价格低廉。但是, 陶瓷刀片的最大缺点是性脆、抗弯强度低、易崩刃, 因此在使用范围上受到很大限制。多年来, 各国都在不断研究提高陶瓷刀片强度的办法, 以扩大其应用范围。目前这种刀具材料已不仅能用来加工有色金属, 而且能用于加工多种钢料, 包括工具钢和淬火钢等, 主要适用于连续切削的车削。随着抗弯强度的提高, 并采用合适的几何参数后, 也可用于铣削等切削加工。表 1-4 为几种陶瓷刀片的物理机械性能。

表 1-4 几种陶瓷刀片的物理机械性能

刀片的成分与制造方法	比 重 (克力/厘米 ³)	硬 度 (HRA)	抗 弯 强 度 (公斤力/毫米 ²)	抗 压 强 度 (公斤力/毫米 ²)
Al_2O_3 , 普通烧结法	3.9	92~94	50	350
Al_2O_3 , 热压法	4.0	93~94	70	400
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}(3\%)$, 热压法	4.3	94.4	90	450

二、人造金刚石

人造金刚石是一种超硬材料, 是目前能够人工制造出来的最硬物质。它是在高温、高压和其他条件配合下由石墨转化而成的。

人造金刚石分单晶体与聚晶体两种。前者多用于制造砂轮, 用来磨削高硬度的脆性材料(如硬质合金等)。聚晶人造金刚石没有共同的单一的结晶平面, 各个方向上的性能是一致的, 可以制成刀片形状, 镶焊在刀杆上, 用于车削或镗孔等工序。

人造金刚石的硬度很高, 耐磨性很好, 但它也存在一些缺点。除强度与韧性较低外, 它的热稳定性和对铁的化学稳定性较差。因此, 只适用于加工非铁金属, 如铝、铝合金、塑料、陶瓷、玻璃纤维等。切削这些材料时, 其刀具耐用度可比硬质合金提高几十倍, 并能获得很高的表面光洁度和尺寸精度。

三、立方氮化硼

立方氮化硼是继人造金刚石之后出现的又一种超硬材料。它也是用高温高压的方法制成的。立方氮化硼的原料是结构与石墨相似的六方氮化硼。

立方氮化硼与人造金刚石相比, 其硬度略低, 但它的热稳定性大大高于人造金刚石, 超过 1400°C 时才开始转回为六方晶体。此外, 它对铁的化学惰性比金刚石好, 在高温下切削铁族金属时不会因为产生化学反应而导致磨损。因此, 这种材料作为一种新型的磨料和刀具材料, 用于加工黑色金属, 特别是加工一些难加工材料时是很有发展前途的。表 1-5 为立方氮化硼与人造金刚石的性能比较。

表1-5 立方氮化硼与人造金刚石性能比较

结 构 与 性 能	人造金刚石	立方氮化硼	结 构 与 性 能	人造金刚石	立方氮化硼
晶格结构	立方	立方	显微硬度(公斤力/毫米 ²)	10000~11000	8000~9000
原子间最小距离(Å)	1.54	1.56	热稳定性(°C)	低于850	不低于1200
密度(克/厘米 ³)	3.49~3.54	3.44~3.49	对铁的化学稳定性	易反应	惰性

由于立方氮化硼的聚晶块较小,宜用 105* 或 106* 焊药和脱水硼砂焊接在刀头上以后,再用机械夹固的方法夹紧在刀杆上使用。

四、热压氮化硅陶瓷

热压氮化硅 (Si_3N_4) 陶瓷是另一种新型的刀具材料。与热压氧化铝陶瓷刀片类似也是作刀片后使用。它具有硬度高 (显微硬度 $\text{HV} = 5000$)、耐磨性和耐热性好 (耐热温度可达 1400°C 以上) 和制造成本低 (大大低于立方氮化硼) 等特点。热压氮化硅陶瓷的耐热性与耐磨性优于硬质合金, 抗弯强度和韧性优于氧化铝陶瓷和立方氮化硼。可用于半精加工淬硬钢、冷硬铸铁、纯钨、热解石墨等难加工材料。刀具耐用度可比硬质合金提高 2~4 倍。

综上所述可以看出: 各种刀具材料的切削性能与工艺性能是各不相同的, 其价格也有高低之别。每一种刀具材料牌号都有其一定的特点和适用范围。在设计或选用刀具时, 必须按照具体问题具体分析和抓住主要矛盾的方法, 合理选择刀具材料。只有这样才能达到多快好省地进行金属切削之目的。随着科学技术和工业水平的不断提高, 目前难加工材料的品种和应用日益广泛。这主要是由于有许多零件要在高温、高压、高速条件下以及腐蚀性介质中使用的缘故。这些材料都比较难加工, 切削时刀具容易磨损或崩刃。为了使这类材料的切削加工能够顺利进行, 往往需要通过实验的方法来合理选择现有的或研制新型的刀具材料才能收到良好的效果。

第二章 车刀的几何角度与切削要素

本章以车削和车刀为代表讲解切削运动、切削用量与要素、刀具几何角度等基本定义。另外还将着重分析车刀几何形状的图示方法；车刀几何角度之间的相互关系及其换算方法。掌握这些内容就能对刀具几何形状有更深一步的理解，并为学习刀具的选用、改革、设计计算打下基础。

§ 2-1 基本定义

一、切削运动和形成的表面

图 2-1 以车外圆为例，表示出了切削运动和工件上形成的表面。

切削时，工件与刀具的相对运动按其所起的作用可分为：

1. 主运动：切削运动中速度最高、消耗功率最大的运动。车削时的主运动是工件的旋转运动。

2. 进给运动：使新的金属层连续投入切削和获得所需工件尺寸的运动。车削时的进给运动包括走刀运动与吃刀运动。

在每次行程中，工件上有三种表面，即：

待加工表面：即将切去的金属层表面。

已加工表面：切削后得到的金属层表面。

切削表面：正在被切削的表面。

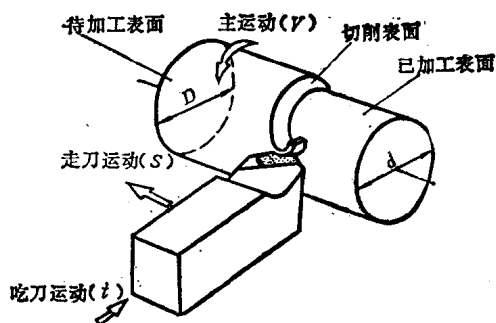


图2-1 车削运动和工件上的表面

二、车刀的组成部分

车刀由刀头、刀杆两部分组成。刀头用来切削，又称切削部分。刀杆用来装夹，也称刀体。

刀头是一个几何体，可由一些刀面、刀刃组成。典型的外圆车刀由三个刀面、两个刀刃、一个刀尖组成，如图 2-2 a 所示。

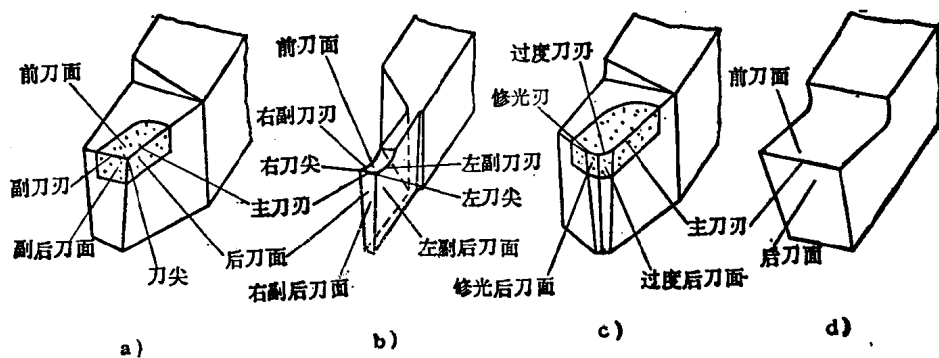


图2-2 车刀的组成

a—外圆车刀 b—切头刀 c—大走刀强力车刀 d—宽刃刀

前刀面（又称前面）：切屑流出时所经过的刀面。

后刀面（又称后面）：对着切削表面的刀面。

副后刀面（又称副后面）：对着已加工表面的刀面。

主刀刃（又称主切削刃）：前刀面与后刀面的交线。

副刀刃（又称副切削刃）：前刀面与副后刀面的交线。

刀尖：主、副刀刃的交点。

一般情况下，主刀刃担负着主要的切削工作，副刀刃只参加少量的工作。如图 2-9 所示，工件转动一周，车刀由位置 I 进到位置 II，主刀刃上 BC 一段参加切削工作，副刀刃上 BE 一段参加切削工作。

图 2-2 b) 是切断刀的刀头。它由四个刀面、三个刀刃、两个刀尖组成。即：前刀面、后刀面、左、右副后刀面、主刀刃、左、右副刀刃、左、右刀尖。

图 2-2 c) 是大走刀强力车刀。为了加强刀尖强度，确保大走刀时不降低已加工表面光洁度，又磨出了过渡后刀面和修光后刀面，形成了过渡刃与修光刃。过渡刃是主、副刀刃之间的圆弧形或直线形刀刃，修光刃是与走刀方向平行的刀刃。

观察各种类型的车刀，可以发现，组成车刀的最小单元是一个前刀面、一个后刀面和一个主刀刃。这也是结构最简单的刀具。例如用宽刃刀（图 2-2 d）车（刨）窄平面、用宽刃刀车管子端面的情况。

只有一个主刀刃参加切削的情况称自由切削。一般常见的主、副刀刃均参加切削的情况称非自由切削。

三、辅助平面

为了确定刀面与刀刃在空间的位置和测量角度的数值，需要选择一些辅助平面作为基准。目前常用的辅助平面有：基面、主（副）切削平面和主（副）剖面。

基面：刀刃上任一点的基面是通过该点并垂直于该点切削速度方向的平面。

主（副）切削平面：主（副）刀刃上任一点的主（副）切削平面是通过该点和主（副）切削表面相切的平面。

主（副）剖面：主（副）刀刃上任一点的主（副）剖面是通过该点并垂直于主（副）刀刃在基面上投影的平面。

由上述定义可知，一组辅助平面是由相互垂直的二个坐标平面和测量时规定的剖面组成。

假设切削时只有主运动，车刀主刀刃与刀杆底面平行，并且对准工件中心，此时基面与刀杆底面平行，切削平面与刀杆底面垂直，如图 2-3 a)。这种假设状态称为刀具的“静止状态”。静止状态下的辅助平面是车刀刃磨、测量、标注角度的基准。

如果考虑到切削加工的实际情况，即切削时有进给运动，主刀刃可能不平行于刀杆底面，

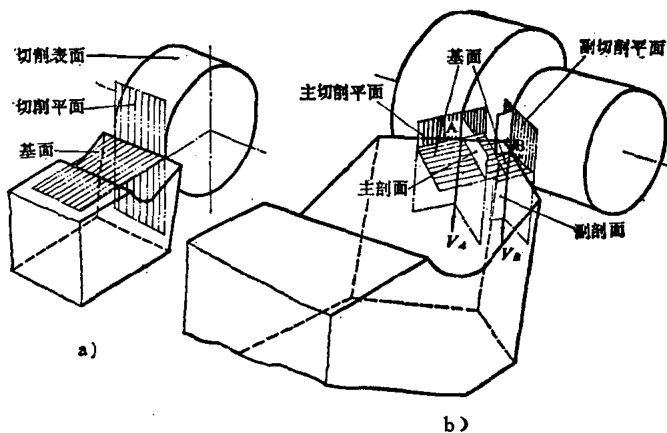


图2-3 辅助平面