

高职高专“十一五”规划教材

机械制造工艺与装备

王雪红 罗永新 主编
皮智谋 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材是为满足高职高专课程改革的需要,切实体现职业教育以能力为本位的人才培养要求进行编写的,在授课模式不做颠覆性调整的基础上,精心安排内容,将“机械制造工艺”、“金属切削原理和刀具”以及“机床夹具”三大部分进行了有机的整合,实现相关课程的交叉和重组,以适应实际教学在课程改革的过渡阶段的平稳衔接。

本教材共八章,内容包括:金属切削刀具的基本知识、机械加工工艺规程的制订、机械加工工序的设计、典型表面的加工方案与典型零件的加工、机床夹具基础知识、机械加工质量、机械装配工艺基础和现代制造技术等。内容丰富、实用,为不同情况院校的实际教学提供了较大的选择性和拓展性。

本教材可用作处于教学改革和课程调整过程中的高职高专院校机械及相关专业的教材,也可作为成人教育、继续教育以及工程技术人员自学的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺与装备/王雪红,罗永新主编. —北京:
化学工业出版社,2008.7
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-02910-2

I. 机… II. ①王…②罗… III. 机械制造工艺-高等
学校:技术学院-教材 IV. TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第103617号

责任编辑:王金生 赵文应
责任校对:蒋宇

装帧设计:尹琳琳

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)

印刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装订:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张18 字数470千字 2008年9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:29.80元

版权所有 违者必究

前 言

高职高专的课程与教学内容一直是高职专业教改的核心，依据应用型人才培养为主旨和特征构建高职高专课程和教学内容，以教学内容为核心的改革层出不穷，使得教材的专业特色、地方特色、行业特色要求越来越高。课程综合化、专题化、技能化是课程建设的方向，教学内容的把握显得越来越有难度。机械制造工艺学便是这样的一门机械类专业课程。

为了体现应用型人才培养目标的要求，把传统的机械制造工艺学、金属切削原理与刀具、机床夹具三门课程内容有机地融合起来，并加入了现代制造技术等新内容，成为本教材编写的主旨。为了适应较大范围的选择性，教材基本上保留了上述三门课程的主要内容。

本教材建议总学时数为 112 学时，各章学时分配如下：

章 次	学 时	章 次	学 时
第 1 章	16	第 6 章	20
第 2 章	12	第 7 章	12
第 3 章	12	第 8 章	10
第 4 章	10	机动	4
第 5 章	16		

本书第 1 章由湖南工学院王桂良编写，第 2 章、第 3 章由湖南工业职业技术学院王雪红编写，第 4 章由贺建明编写，第 5 章由宁朝阳编写，第 6 章的第 1~4 节由龙华编写，第 6 章的第 5~7 节由黎永祥编写，第 7 章由蔡素玲编写，第 8 章由罗永新编写。全书由王雪红、罗永新任主编，皮智谋任主审，由王桂良、宁朝阳、蔡素玲任副主编。

由于编者水平有限，书中的缺点和错误恳请读者批评指正。

编者

2008 年 6 月

目 录

第 1 章 金属切削刀具的基本知识	1	2.1.1 生产过程和工艺过程	59
1.1 基本概念	1	2.1.2 生产纲领与生产类型	59
1.1.1 金属切削加工	1	2.1.3 工艺过程的组成	61
1.1.2 切削运动	1	2.1.4 工件的装夹与零件精度的获得	63
1.1.3 切削用量	2	2.2 制订机械加工工艺规程的基本要求和	
1.1.4 刀具的分类	2	步骤	65
1.1.5 刀具材料及合理选用	3	2.2.1 机械加工工艺规程的作用	65
1.2 车刀	8	2.2.2 制订机械加工工艺规程的基本	
1.2.1 刀具静止角度参考系及几何角度 ...	8	要求	66
1.2.2 焊接式车刀	10	2.2.3 制订机械加工工艺规程的原始	
1.2.3 机夹式车刀	11	资料	66
1.2.4 可转位车刀	12	2.2.4 制订机械加工工艺规程的步骤	66
1.2.5 成型车刀	15	2.3 工艺路线的制订	73
1.3 孔加工刀具	18	2.3.1 加工经济精度与加工方法的	
1.3.1 钻削加工特点与麻花钻	18	选择	73
1.3.2 扩孔钻与铰钻	20	2.3.2 加工阶段的划分	76
1.3.3 铰刀	21	2.3.3 工序的集中与分散	77
1.3.4 镗刀	24	2.3.4 定位基准的选择	77
1.3.5 圆孔拉刀	24	2.3.5 工序顺序的安排	83
1.4 铣刀	26	2.4 制订工艺路线实例	84
1.4.1 铣刀的几何参数	26	2.4.1 零件图的研究和工艺分析	86
1.4.2 铣刀的种类及结构	27	2.4.2 毛坯的制造形式	86
1.4.3 铣刀的改进与先进铣刀	33	2.4.3 加工方法的选择	86
1.5 齿轮刀具	34	2.4.4 加工阶段的划分	87
1.5.1 齿轮刀具的种类	34	2.4.5 工序的集中与分散	87
1.5.2 齿轮滚刀及其选用	38	2.4.6 定位基准的选择	87
1.6 磨具	42	2.4.7 热处理工序的安排	87
1.6.1 砂轮的结构要素	42	2.4.8 辅助工序的安排	87
1.6.2 砂轮的特性要素	44	思考与练习题	90
1.6.3 砂轮的形状、尺寸及代号	46	第 3 章 机械加工工序的设计	92
1.6.4 金刚石砂轮和立方氮化硼砂轮	46	3.1 加工余量、工序尺寸及公差的确定	92
1.7 数控机床刀具	48	3.1.1 加工余量的概念	92
1.7.1 数控机床刀具的特点、选用原则		3.1.2 加工余量的影响因素	93
及快换方式	49	3.1.3 加工余量的确定方法	94
1.7.2 数控机床常用刀具	52	3.1.4 工序尺寸及公差的确定	95
1.7.3 数控机床的工具系统	52	3.2 工艺尺寸链	95
1.7.4 数控机床刀具尺寸的预调		3.2.1 尺寸链的概述	95
(对刀)	56	3.2.2 尺寸链的基本公式	96
思考与练习题	57	3.2.3 工艺尺寸链封闭环的查找	97
第 2 章 机械加工工艺规程的制订	59	3.2.4 工艺尺寸链在工艺过程中的	
2.1 机械加工过程的基本概念	59	应用	97

3.3 数控加工工艺的工序设计	102	5.4.4 镗床夹具	193
3.3.1 数控加工工艺的基本特点	102	思考与练习题	197
3.3.2 数控加工工艺的主要内容	103	第6章 机械加工质量	200
3.3.3 数控加工工序的设计	104	6.1 概述	200
3.4 工艺过程的技术经济分析	107	6.1.1 机械加工精度	200
3.4.1 工艺成本的组成	107	6.1.2 机械加工表面质量	200
3.4.2 工艺成本的计算	107	6.2 工艺系统的几何误差对加工精度的影响	200
3.4.3 不同工艺方案的经济比较	108	6.2.1 加工原理误差	201
思考与练习题	109	6.2.2 工艺系统的几何误差	201
第4章 典型表面的加工方案与典型零件的加工	112	6.3 工艺系统受力变形对加工精度的影响	207
4.1 典型表面的加工方案	112	6.3.1 工艺系统刚度	207
4.1.1 外圆柱表面的加工方案	112	6.3.2 工艺系统的受力变形引起的加工误差	208
4.1.2 孔的加工方案	112	6.3.3 工件残余应力引起的变形	212
4.1.3 平面的加工方案	113	6.3.4 减小工艺系统受力变形的主要措施	214
4.2 轴类零件的加工	113	6.4 工艺系统的热变形对加工精度的影响	215
4.2.1 概述	113	6.4.1 概述	215
4.2.2 轴类零件加工工艺分析	116	6.4.2 工件热变形对加工精度的影响	216
4.2.3 轴类零件加工精度分析	122	6.4.3 刀具热变形对加工精度的影响	217
4.3 套类零件的加工	125	6.4.4 机床热变形对加工精度的影响	217
4.3.1 概述	125	6.4.5 减小工艺系统热变形的措施	218
4.3.2 套类零件加工工艺分析	127	6.5 工艺系统对加工表面粗糙度的影响	220
4.3.3 套类零件加工精度分析	129	6.5.1 机械加工表面质量的含义	220
4.4 箱体零件的加工	131	6.5.2 机械加工表面质量对机器使用性能的影响	221
4.4.1 概述	131	6.5.3 切削加工影响表面粗糙度的因素	222
4.4.2 箱体加工工艺分析	135	6.5.4 磨削加工影响表面粗糙度的因素	222
4.4.3 箱体的孔系加工	138	6.5.5 影响加工表面层物理力学性能的因素	222
4.4.4 箱体零件加工精度分析	142	6.6 加工误差综合分析	223
思考与练习题	146	6.6.1 加工误差的性质	223
第5章 机床夹具基础知识	150	6.6.2 加工误差的统计分析法	224
5.1 机床夹具概述	150	6.7 提高加工精度的途径	233
5.1.1 机床夹具的分类	150	6.7.1 直接消除法或减小误差法	233
5.1.2 机床夹具的组成	151	6.7.2 误差补偿法	234
5.1.3 机床夹具的作用	152	6.7.3 误差转移法	234
5.2 工件的定位	152	6.7.4 分组调整和均分误差法	235
5.2.1 六点定位原则	152	6.7.5 误差平均法	235
5.2.2 常用定位元件	155	6.7.6 就地加工法	236
5.2.3 定位误差的分析与计算	164	思考与练习题	237
5.3 工件的夹紧	173		
5.3.1 夹紧装置的组成和基本要求	173		
5.3.2 夹紧力的确定	173		
5.3.3 几种常用的夹紧机构	175		
5.4 典型机床夹具	184		
5.4.1 车床夹具	184		
5.4.2 铣床夹具	185		
5.4.3 钻床夹具	187		

第 7 章 机械装配工艺基础	241	7.4.2 制订装配工艺规程的步骤	256
7.1 概述	241	思考与练习题	261
7.1.1 机器装配的基本概念	241	第 8 章 现代制造技术	263
7.1.2 装配内容	241	8.1 现代制造技术概述	263
7.1.3 装配精度的概念	242	8.2 自动化制造系统	266
7.1.4 装配精度与零件精度的关系	243	8.2.1 柔性制造系统	266
7.2 装配尺寸链	243	8.2.2 计算机集成制造系统	268
7.2.1 基本概念	243	8.2.3 高速切削	270
7.2.2 装配尺寸链的建立	243	8.3 成组技术	271
7.2.3 装配尺寸链的计算	245	8.3.1 成组技术的基本概念	271
7.3 保证装配精度的装配方法	250	8.3.2 零件编码	272
7.3.1 互换装配法	251	8.3.3 成组夹具	275
7.3.2 选配装配法	251	8.3.4 成组工艺过程设计	275
7.3.3 修配装配法	253	8.3.5 CAPP 技术	277
7.3.4 调整装配法	254	思考与练习题	278
7.4 装配工艺规程的制订	255	参考文献	279
7.4.1 制订装配工艺规程的基本原则 与原始资料	256		

第1章 金属切削刀具的基本知识

1.1 基本概念

1.1.1 金属切削加工

使用金属切削刀具从工件上切除多余（或预留）的金属（使之成为切屑）从而获得形状、尺寸精度、位置精度及表面质量都合乎技术要求的零件的一种加工方法，称为金属切削加工。此方法在机械制造业中占有十分重要的地位，金属切削加工量（含磨削加工）占机械加工总量的90%左右。近年来，虽然精密铸造、精密锻造和特种加工技术等少、无切削加工技术的不断发展，切削加工总量在不断地减少，但切削加工仍然是机械加工中占绝对比重的加工方法。

金属切削刀具是金属切削加工过程中一个重要的工具，它不仅制约着产品的加工质量，而且制约着切削加工的效率。刀具的性能决定于刀具结构、刀具材料、刀具切削部分几何角度、刀具切削部分的组织性能等。应该根据工件的加工工艺要求，正确地选择和使用金属切削刀具，以保证实现零件所要求的尺寸、形状、精度及表面质量。为提高切削加工效率和经济效益，这就要求刀具本身结构合理，强度和刚度好，耐用度高，工艺性好，制造成本低。

1.1.2 切削运动

在切削加工中刀具与工件的相对运动，称为切削运动。按其功用分为主运动和进给运动，如图1-1所示。

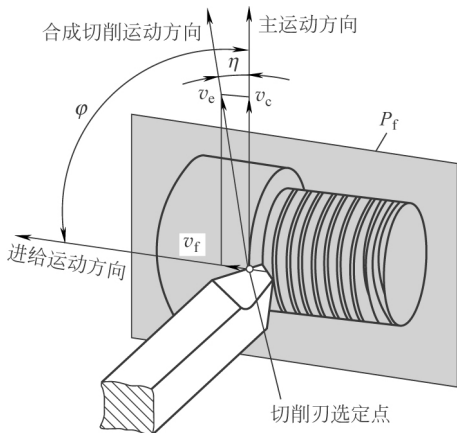


图 1-1 刀具和工件的运动——车刀

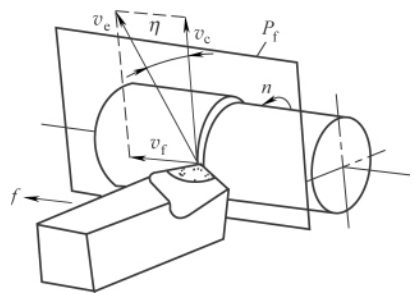


图 1-2 切削时合成切削速度

(1) 主运动 由机床提供的、使刀具和工件之间产生相对运动，在切削成型过程中起主导作用，提供主要切削力的运动就是主运动。在切削过程中，它具有运动速度最高、消耗功率最大的特点。如车削时工件的旋转运动；刨削时工件或刀具的往复运动；铣削时铣刀的旋转运动等。在切削加工中必须且只能有一个主运动。

(2) 进给运动 由机床提供的、使主运动能够继续切除工件上多余金属的成型运动,以便形成所需几何特性的已加工表面。进给运动可以是连续的,如车削外圆时车刀平行于工件轴线的纵向运动;也可以是步进的,如刨削时工件或刀具的横向移动等。在切削中可以有一个或多个进给运动,也可以不存在进给运动。

(3) 合成切削运动 由主运动和进给运动合成的运动,称为合成切削运动。刀具切削刃上选定点相对工件的瞬时合成运动方向称为该点的合成切削运动方向,其速度称为合成切削速度 v_c ,如图 1-2 所示。

1.1.3 切削用量

切削用量是指切削速度 v_c 、进给量 f (或进给速度 v_f)、背吃刀量 a_p 三者的总称,也称为切削用量三要素。它是调整刀具与工件间相对运动速度和相对位置所需的工艺参数。

(1) 切削速度 v_c 切削刃上选定点相对于工件的主运动的瞬时速度。

$$v_c = \frac{\pi d_w n}{1000} \quad (1-1)$$

式中 v_c ——切削速度, m/s;

d_w ——工件待加工表面直径, mm;

n ——工件转速, r/s。

在作切削用量分析计算时,应以最大的切削速度为准,如车削时以待加工表面直径的数值进行计算,因为此处速度最高,刀具磨损最快。

(2) 进给量 f 工件或刀具每转一周时,刀具与工件在进给运动方向上的相对位移量。

进给速度 v_f 是指切削刃上选定点相对工件进给运动的瞬时速度。

$$v_f = fn \quad (1-2)$$

式中 v_f ——进给速度, mm/s;

n ——主轴转速, r/s;

f ——进给量, mm/r。

(3) 背吃刀量 a_p 通过切削刃基点并垂直于工作平面的方向上测量的吃刀量,根据此定义,如在纵向车外圆时,其背吃刀量可按式 (1-3) 计算:

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1-3)$$

式中 d_w ——工件待加工表面直径, mm;

d_m ——工件已加工表面直径, mm。

1.1.4 刀具的分类

金属切削刀具的种类很多,按金属切削机床分有车刀、钻头、铣刀、铰刀、镗刀、拉刀、螺纹刀具、齿轮刀具及磨具等;按刀具材料分有高速钢、硬质合金、金刚石、涂层刀具、陶瓷刀具等;按使用场合不同分为手工刀具、机用刀具、高速切削刀具、强力刀具等;按切削部分与夹持部分的连接方式有整体式刀具、焊接式刀具、机夹式刀具等。大多数刀具已经标准化,并由专业工具制造厂按照国标或部标进行统一生产。

金属切削刀具的种类虽然很多,但它们切削部分的几何形状与参数却有着很多的共性。不论刀具的结构如何复杂,它们的切削部分总是近似地以外圆车刀切削部分为基本形态。如图 1-3 所示,各种复杂刀具或多齿刀具,起切削作用的刀齿的几何形状都相当于一把车刀。现代刀具引入“不重磨”概念后,刀具切削部分的统一获得了新的发展,许多结构迥异的切削刀具,其切削部分不过是一个或几个“不重磨”刀片的组合,例如图 1-4 所示。

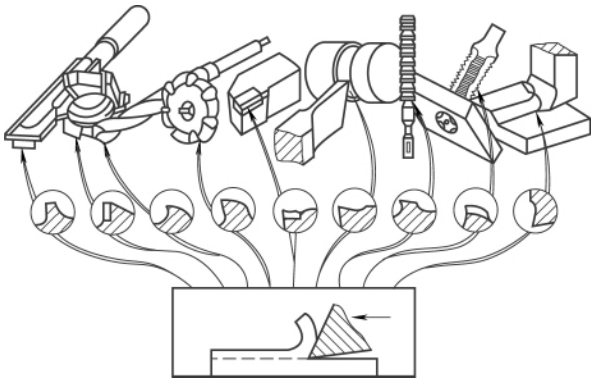


图 1-3 各种刀具切削部分的形状

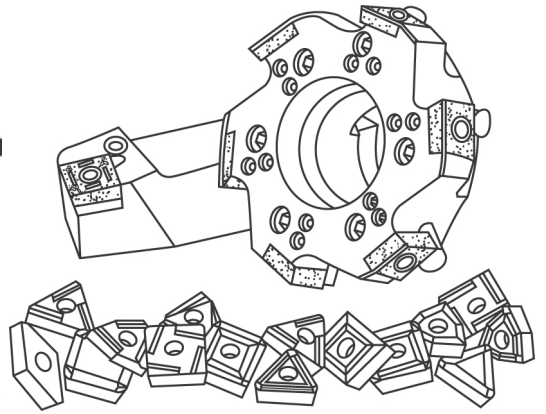


图 1-4 “不重磨”式刀具的切削部分

1.1.5 刀具材料及合理选用

金属切削过程要求刀具具有优良的切削性能。刀具切削性能的优劣，不仅取决于刀具切削部分的几何参数，还取决于刀具切削部分所选配的工具材料。金属切削过程中的加工质量、加工效率、加工成本，在很大程度上取决于刀具材料的合理选择。

刀具切削部分是在具有强烈摩擦、应力、高温高压的恶劣环境下工作的，因此对刀具材料的性能提出如下要求。

(1) 高的硬度和耐磨性 这反映抵抗机械摩擦、磨损的能力。刀具要从工件上切去多余的金属，其硬度要大于工件材料的硬度，常温下硬度须在 60HRC 以上，并要求耐磨性好。

(2) 足够的强度和韧性 在切削过程中，刀具要承受切削力、冲击和振动，刀具材料必须有足够的抗弯强度和冲击韧度，以避免崩刃和折断。

(3) 高的耐热性与化学稳定性 耐热性即热稳定性，是指刀具材料在高温下仍能保持硬度、耐磨性、强度和韧性的能力。刀具材料耐热性好，则允许的切削速度高，抵抗塑性变形能力强。化学稳定性是指刀具材料在高温下不易和工件材料及周围介质发生化学反应的能力。化学稳定性越好，刀具的磨损越慢，加工表面质量越好。

(4) 良好的工艺性和经济性 刀具材料应有锻造、焊接、热处理、磨削加工等良好的工艺性，要有好的导热性，以有利于切削热的传导，降低切削区的温度，减轻刀具磨损。刀具材料应便于刀具的制造，资源丰富，价格低廉。

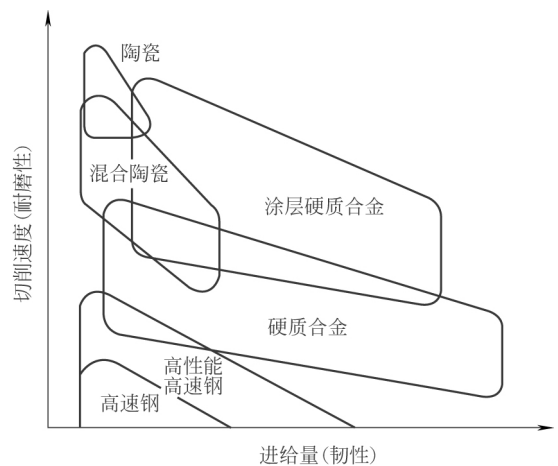


图 1-5 各类刀具材料适应的切削范围

各类刀具材料的使用范围见图 1-5。各类刀具材料的物理力学性能见表 1-1。

1.1.5.1 高速钢

高速钢是一种加入较多钨、钼、铬、钒等合金元素的高合金钢。有较高的热稳定性、耐磨性、耐热性。切削温度在 500~650℃ 时仍能进行切削。热处理后硬度可达 62~66HRC，

表 1-1 各类刀具材料的物理力学性能

材料种类		相对密度 $\rho/(g \cdot cm^{-3})$	硬度 HRC (HRA)[HV]	抗弯强度 σ_{bb}/GPa	冲击韧性 $\alpha_k/(MJ \cdot m^{-2})$	导热系数 κ $/(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$	耐热性 / $^{\circ}C$
工具钢	碳素工具钢	7.6~7.8	60~65 (81.2~84)	2.16	—	≈ 41.87	200~250
	合金工具钢	7.7~7.9	60~65 (81.2~84)	2.35	—	≈ 41.87	300~400
	高速钢	8.0~8.8	63~70 (83~86.6)	1.96~4.41	0.098~0.588	16.75~25.1	600~700
硬质合金	钨钴类	14.3~15.3	(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)	0.882~1.37	0.0029~0.0068	20.9~62.8	900
	含有碳化钽、铌类	—	(~92)	~1.47	—	—	1000~1100
	碳化钛基类	5.56~6.3	(92~93.3)	0.78~1.08	—	—	1100
陶瓷	氧化铝陶瓷	3.6~4.7	(91~95)	0.44~0.686	0.0049~20.93	4.19~20.93	1200
	氧化铝碳化物混合陶瓷			0.71~0.88			1100
	氮化硅陶瓷	3.26	[5000]	0.735~0.83	—	37.68	1300
超硬材料	立方氮化硼	3.44~3.49	[8000~9000]	≈ 0.294	—	75.55	1400~1500
	人造金刚石	3.47~3.56	[10000]	0.21~0.48	—	146.54	700~800

抗弯强度约 3.3GPa，由于热处理变形小、能锻易磨，所以特别适合于制造结构和刃型复杂的刀具，如成型车刀、铣刀、钻头、切齿刀、螺纹刀具和拉刀等。

高速钢按用途可分为通用高速钢和高性能高速钢；按制造工艺可分为熔炼高速钢、粉末冶金高速钢和表面涂层高速钢；按基本化学成分可分为钨系和钼系。常用高速钢的牌号和性能见表 1-2。

表 1-2 常用高速钢的牌号和性能

类别	牌 号	硬度 (HRC)	抗弯强度 σ_{bb}/GPa	冲击初度 $\alpha_k/(MJ \cdot m^{-2})$	600 $^{\circ}C$ 高温硬度 (HRC)	磨 削 性 能		
通用 高速钢	W18Cr4V	62~66	≈ 3.34	0.294	48.5	好,普通刚玉砂轮能磨		
	W6Mo5Cr4V2	62~66	≈ 4.6	≈ 0.5	47~48	较 W18Cr4V 差一些,普通刚玉砂轮能磨		
	W14Cr4VMn-RE	64~66	≈ 4	≈ 0.25	48.5	好,与 W18Cr4V 相近		
高性能 高速钢	高碳	9W18Cr4V	67~68	≈ 3	≈ 0.2	51	好,普通刚玉砂轮能磨	
	高钒	W12Cr4V4Mo	63~66	≈ 3.2	≈ 0.25	51	差	
		W6Mo9Cr4V2Al	68~69	≈ 3.43	≈ 0.3	55	较 W18Cr4V 差一些	
		W10Mo4Cr4V3Al	68~69	≈ 3	≈ 0.25	54	较差	
		超硬	W6Mo5Cr4V5SiNbAl	66~68	≈ 3.6	≈ 0.27	51	差
			W12Cr4V3Mo3Co5Si	69~70	≈ 2.5	≈ 0.11	54	差
W2Mo9Cr4VCo8(M42)	66~70	≈ 2.75	≈ 0.25	55	好,普通刚玉砂轮能磨			

(1) 通用型高速钢

① 钨钢 典型牌号为 W18Cr4V (18-4-1), 有较好的综合性能, 可以制造各种复杂刀具。优点是: 淬火时过热倾向小; 含钒量较低, 因而磨削加工性好; 碳化物含量高, 因而塑性变形抗力较大。缺点是: 钨价高; 热塑性差, 因而很难用热成型方法制造刀具 (如热轧钻头); 碳化物分布不均匀, 因而影响薄刃刀具或小截面刀具的耐用度。是较早使用的高速钢材料。

② 钼钢 典型牌号为 W6Mo5Cr4V2 (6-5-4-2), 是国内外广泛使用的牌号。以 Mo 代替一部分 W (减少钢中的合金元素), 碳化物分布细小、均匀, 这样就改善了钢中碳化物分布不均匀 (不宜做大截面、复杂刃具) 的缺点, 有利于提高热塑性、抗弯强度与韧性, 改善了刃磨工艺性。可用于制造热轧刀具 (如热轧钻头) 等。

而 W9Mo3Cr4V (9-3-4-1) 是针对 6-5-4-2 淬火温度范围窄、脱碳过热敏感性大的缺点, 根据我国资源研制的钨钼系高速钢。

(2) 高性能高速钢 高性能高速钢是指在通用型高速钢中增加碳、钒、钴或钼等合金元素, 使其常温硬度可达 67~70HRC, 耐磨性与热稳定性进一步提高, 又称高热稳定性高速钢。可以用于加工不锈钢、高温合金、耐热钢和高强度钢等难加工材料。典型牌号有高碳高速钢 9W18Cr4V, 高钒高速钢 W18Cr4V 等。

(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液而得到细小的高速钢粉末, 然后再热压锻轧制成。这样有效地解决了一般熔炼高速钢在铸锭时要产生粗大碳化物共晶偏析的难题, 获得了细小均匀的结晶组织, 因而有良好的物理力学性能 (强度、韧性分别是熔炼高速钢的 2~3 倍)、良好的刃磨性、淬火变形小 (各向同性)。由于碳化物颗粒均匀分布的表面较大, 耐磨性提高 20%~30%。适用于制造精密刀具、大尺寸 (滚刀、插齿刀) 刀具、复杂成型刀具、拉刀等。

1.1.5.2 硬质合金

硬质合金是由高硬度和高熔点的金属碳化物 (WC、TiC、TaC、NbC 等) 和金属黏结剂 (Co、Mo、Ni 等) 用粉末冶金工艺制成。常用硬质合金的牌号与性能见表 1-3。

硬质合金以其优良的性能被广泛用作刀具材料。大多数车刀、端铣刀等均由硬质合金制造。硬质合金刀具常温硬度为 89~93HRA, 化学稳定性好, 热稳定性好, 耐磨性好, 耐热性达 800~1000℃。硬质合金刀具允许的切削速度比高速钢刀具高 5~10 倍。但抗弯强度较高速钢低, 仅有 0.9~1.5GPa, 冲击韧性差, 切削时不能承受大的振动和冲击载荷。

硬质合金按其化学成分与使用性能分为四类: 钨钴类 (WC-Co)、钨钛钴类 (WC-TiC-Co)、添加稀有金属碳化物类 (WC-TiC-TaC (NbC)-Co) 及碳化钛基类 (TiC-WC-Ni-Mo)。

(1) 钨钴类硬质合金 代号为 YG, 相当于 ISO 标准的 K 类。代号后的数字为该牌号合金含钴量的百分数。有粗晶粒、中晶粒、细晶粒、超细晶粒之分。一般细晶粒 (YG6X) 比中晶粒 (YG6) 在含 Co 量相同时, 其硬度、耐磨性要高些, 但抗弯强度、韧性则低些。

合金中含钴量愈高, 韧性愈好, 适合于粗加工; 反之用于精加工。

YG (K) 类硬质合金相对 YT (P) 类来说, 有较好的韧性、磨削性、导热性, 适合于加工产生崩碎切屑及有冲击载荷的脆性金属材料。

(2) 钨钛钴类硬质合金 代号为 YT, 相当于 ISO 标准的 P 类。代号后的数字为该牌号合金含 TiC 的百分数。它以 WC 为基体, 添加 TiC, 用 Co 作黏结剂烧结而成。合金中 TiC 含量提高, Co 含量就低, 其硬度、耐磨性和耐热性进一步提高, 但抗弯强度、导热性、特别是冲击韧性明显下降, 适合于精加工。

表 1-3 常用硬质合金的牌号和性能

类型	牌号	质量分数/%				物理力学性能				使用性能			类别	
		WC	TiC	TaC NbC	Co	密度 ρ /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	热导率 λ /[$\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$]	硬度 HRA (HRC)	抗弯强度 /GPa	加工材料 类别	耐磨性	切削 韧性		进 给量
钨钴类	YG3	97	—	—	3	14.9~15.3	87.92	91(78)	1.08	短切屑的黑色金属; 有色金属; 非金属材料	↑ ↓	↑ ↓	↓	K01
	YG6X	93.5	—	0.5	6	14.6~15.0	79.6	91(78)	1.37					K05
	YG6	94	—	—	6	14.6~15.0	79.6	89.5(75)	1.42					K10
	YG8	92	—	—	8	14.5~14.9	75.36	89(74)	1.47					K20
钨钽钴类	YT30	66	30	—	4	9.3~9.7	20.93	92.5(80.5)	0.88	长切屑的黑色金属	↑ ↓	↑ ↓	↑ ↓	P01
	YT15	79	15	—	6	11~11.7	33.49	91(78)	1.13					P10
	YT14	78	14	—	8	11.2~12.0	33.49	90.5(77)	1.2					P20
	YT5	85	5	—	10	12.5~13.2	62.80	89(74)	1.37					P30
	YG6A (YA6)	91	—	5	6	14.6~15.0	—	91.5(79)	1.37					K10
添加钼 (钼)类	YG8N	91	—	<1	8	14.5~14.9	—	89.5(75)	1.47	长切屑或短切屑 的黑色金属; 有色金属	—	—	—	K10
	YW1	84	6	4	6	12.8~13.3	—	91.5(79)	1.18					M10
	YW2	82	6	4	8	12.6~13.3	—	90.5(77)	1.32					M20
碳化钛基类	YN05	8	71	—	—	5.9	—	93.3(82)	0.78~0.93	长切屑的黑色金属	—	—	—	P01
	YN10	15	62	1	—	6.3	—	92(80)	1.08					P类

注: Y—硬质合金; G—钴; T—钽; X—细颗粒合金; C—粗颗粒合金; A—含 TC (NC) 的 YG 类合金; W—通用合金; N—不含钴, 用镍作黏结剂的合金。

合金中含钴量愈高，韧性愈好，适于粗加工，反之用于精加工。

(3) 钨钛钽（铌）类硬质合金 代号为 YW，相当于 ISO 标准的 M 类。在 YT (P) 类硬质合金中加入 TaC 或 NbC，这样可提高抗弯强度、疲劳强度、冲击韧性、抗氧化能力、耐磨性和高温硬度等。

它既适用于加工脆性材料，又适用于加工塑性材料。为改善硬质合金的性能，满足生产发展的需要，近年来已研制出了一些新型硬质合金。细晶粒、超细晶粒硬质合金就是其中一种。由于组织细化，黏结面积增加，提高了整体综合强度和硬度，所以可减少中低速切削时的崩刀现象。

(4) 钨钽钴类 (WC+TaC+Co) 硬质合金 (YA) 在 YG 类硬质合金的基础上添加 TaC (NbC)，提高了常温、高温硬度与强度、抗热冲击性和耐磨性，可用于加工铸铁和不锈钢。

1.1.5.3 涂层刀具材料

涂层刀具是在韧性较好的刀具基体上，涂覆一层耐磨性好的难熔金属化合物而获得的，既能提高刀具材料的耐磨性，又不降低其韧性。常用的涂层材料有 TiC、TiN、Al₂O₃ 及其复合材料等，涂层厚度随刀具材料不同而异。

(1) TiC 涂层 硬度高、耐磨性好、抗氧化性好，切削时能产生氧化钛膜，减小摩擦及刀具磨损。

(2) TiN 涂层 在高温时能产生氧化膜，与铁基材料摩擦系数较小，抗黏结性能好，并能有效降低切削温度。

(3) TiC-TiN 复合涂层 第一层涂 TiC，与刀具基体粘牢不易脱落；第二层涂 TiN，减少表面层与工件间的摩擦。

(4) TiC-Al₂O₃ 复合涂层 第一层涂 TiC，与刀具基体粘牢不易脱落；第二层涂 Al₂O₃，可使刀具表面具有良好的化学稳定性和抗氧化性能。

单涂层刀片应用较少，大多采用 TiC-TiN 复合涂层或 TiC-Al₂O₃-TiN 三复合涂层。

1.1.5.4 其他刀具材料

(1) 陶瓷 陶瓷刀具是以氧化铝 (Al₂O₃) 或以氮化硅 (Si₃N₄) 为基体再添加少量金属，在高温下烧结而成的一种刀具材料。其优点是比硬质合金刀具具有更高的硬度（常温下可达 91~95HRA）、耐磨性、耐高温性（在 1200℃ 高温下仍能进行切削）、化学稳定性和抗氧化性、抗黏结性和抗扩散能力，其刀具耐用度比硬质合金高几倍到几十倍，切削速度比硬质合金刀具高 2~5 倍。其缺点是强度、韧性低，脆性大，抗弯强度低，冲击韧性差，易崩刃，所以使用范围受到限制，可用于钢、铸铁类零件的车削、铣削加工。

(2) 金刚石 金刚石与立方氮化硼称为超硬刀具。金刚石是碳的同素异形体，是目前最坚硬的物质。可分为天然单晶金刚石、整体人造聚晶金刚石和金刚石复合刀片。它是在高温、高压下由石墨转化而成。由于硬度极高（可达 10000HV），耐磨性好，切削刃口锋利，刃部表面摩擦系数较小，不易产生黏结或积屑瘤，可用于加工硬质合金、陶瓷等硬度达 65~70HRC 的材料。此外，也可用于加工高硬度的非金属材料，如石材、压缩木材、玻璃等，还可加工有色金属，如铝硅合金材料以及复合难加工材料的精加工或超精加工。

缺点是热稳定性差，切削温度不能超过 700~800℃，强度低、脆性大，对振动敏感，只宜微量切削，与铁有强烈的化学亲和力，不能用于加工钢材。

(3) 立方氮化硼 立方氮化硼 (CBN) 是由六方氮化硼在高温、高压下加入催化剂转化而成的一种人工合成的新型刀具材料，它有很高的硬度（可达 7000HV，仅次于金刚石）及耐磨性，有比金刚石高得多的热稳定性，耐热温度高达 1400℃，导热性好，摩擦系数低，

化学惰性大，与铁系金属在 1300℃ 时不易起化学反应，抗弯强度与断裂韧性介于陶瓷与硬质合金之间。可用于高温合金、热喷涂材料、冷硬铸铁、淬硬钢等难加工材料的加工。

应当指出，加工一般结构材料大量使用的还是硬质合金，只有在加工难加工材料时，在加工高硬度材料或精密加工时，才考虑选用高性能高速钢或超硬材料。

1.2 车刀

车刀是最常见的刀具之一，也是结构最简单的刀具。车刀由刀头和刀柄组成，如图 1-6

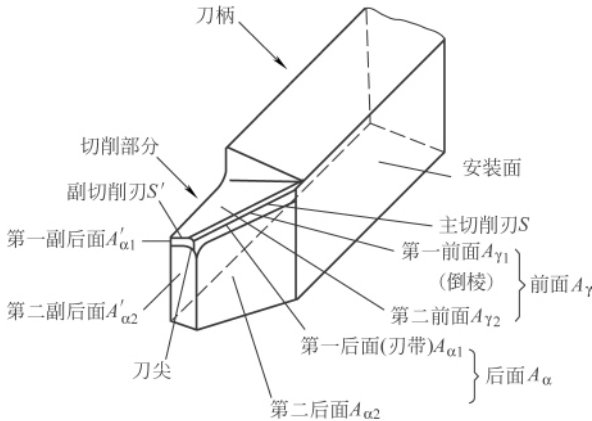


图 1-6 车刀切削部分上的切削刃和表面

所示。刀柄是刀具上夹持部位，刀头则用于切削，是刀具的切削部分。刀具的切削部分包括以下几个部分。

前刀面 A_{γ} 是切下的金属（切屑）流出的刀面。

主后刀面 A_{α} 是与工件上过渡表面相对的刀面。

副后刀面 A'_{α} 是与工件上已加工表面相对的刀面。

主切削刃 S 是前刀面与主后刀面汇交的边锋，用以形成工件上的过渡表面，担负着大部分金属的切除工作。

副切削刃 S' 是前刀面与副后刀面

汇交的边锋，副切削刃可以参与切削，一般不用于切削。

刀尖是主切削刃和副切削刃的汇交处相当少的一部分切削刃。

刀具的切削部分是由前、后刀面，切削刃，刀尖组成的一空间几何体。

1.2.1 刀具静止角度参考系及几何角度

刀具静止角度参考系是指用于定义、设计、制造、刃磨和测量刀具切削部分几何参数的参考系。它是在假定条件下建立的参考系。假定条件是指假定运动条件和假定安装条件。

① 假定运动条件是在建立参考系时，暂不考虑进给运动，即用主运动向量近似代替切削刃与工件之间相对运动的合成速度向量。

② 假定安装条件是假定刀具的刃磨和安装基准面垂直或平行于参考系的平面，同时假定刀杆中心线与进给运动方向垂直。例如对于车刀来说，规定刀尖安装在工件中心高度上，刀杆中心线垂直于进给运动方向等。

由此可见，刀具静止角度参考系是在简化了切削运动和设定刀具标准位置下建立的一种参考系。

1.2.1.1 刀具静止角度参考系的坐标平面

作为一个空间参考系，它必须有确定的坐标平面。在静止角度参考系中，这样的坐标平面有三个：基面、切削平面和刃剖面（可由需要而任意选择的切削刃剖面）。

(1) 基面 P_r 基面是通过切削刃上选定点，垂直于假定主运动方向的平面，如图 1-7 所示。它平行于或垂直于刀具在制造、刃磨和测量时适合于安装和定位的一个平面或轴线。例如，对于车刀和刨刀等，它的基面 P_r 按规定平行于刀杆底面；对于回转刀具（如铣刀、

钻头等), 它的基面 P_r 是通过切削刃上选定点并包含轴线的平面。

(2) 切削平面 P_s 切削平面是指切削刃上选定点与主切削刃相切并垂直于基面的平面。如图 1-7 所示。一般情况下切削平面即指主切削平面。

(3) 刃剖面(切削刃剖切平面) 常用的刃剖面有四个。

① 正交平面(主剖面) P_o 是通过切削刃上选定点, 并同时垂直于基面和切削平面的平面。也可认为, 正交平面是通过切削刃上重重点垂直于主切削刃在基面上的投影的平面, 如图 1-7 所示。

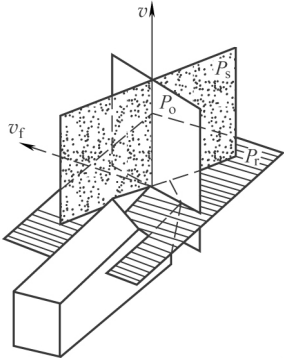


图 1-7 正交平面参考系

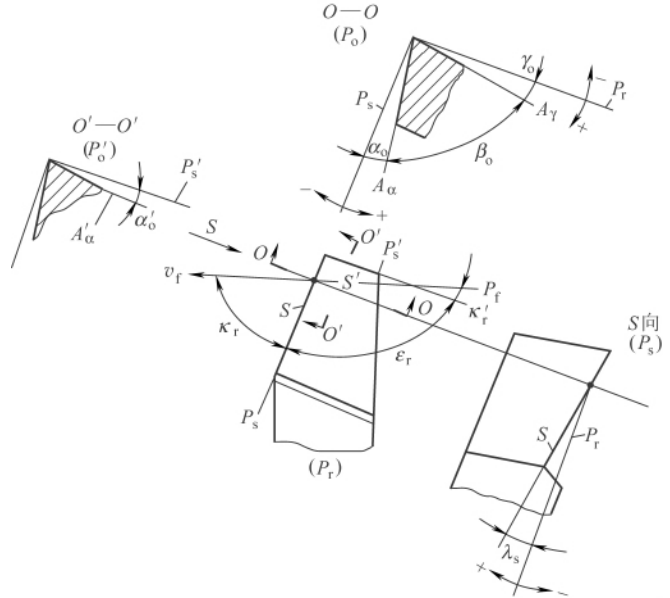


图 1-8 外圆车刀正交平面参考系的静止角度

② 法平面(法剖面) P_n 是通过切削刃上选定点垂直于切削刃的平面。

③ 假定工作平面(进给剖面) P_f 是通过切削刃上选定点平行于假定进给运动方向并垂直于基面的平面。

④ 背平面(切深剖面) P_p 是指通过切削刃上选定点, 垂直于假定工作平面和基面的平面。

以上四个刃剖面可根据需要任选一个, 然后与另两个坐标平面(基面 P_r 和切削平面 P_s) 组成相应的参考系。由正交平面 P_o 、基面 P_r 和切削平面 P_s 组成的参考系称为正交平面参考系 ($P_r-P_s-P_o$), 或称为主剖面参考系; 由法平面 P_n 、基面 P_r 和切削平面 P_s 组成的参考系称为法平面参考系, 或称为法剖面参考系 ($P_r-P_s-P_n$); 由假定工作平面 P_f 、基面 P_r 、切削平面 P_s 组成的参考系称为假定工作平面参考系, 或称为进给剖面参考系 ($P_r-P_s-P_f$); 由背平面 P_p 、基面 P_r 和切削平面 P_s 组成的参考系称为背平面参考系, 或称为切深剖面参考系 ($P_r-P_s-P_p$)。

对于副切削刃的静止参考系, 也有上述同样的坐标平面。为区分起见, 在相应符号上方加“'”, 如 P'_o 为副切削刃的正交平面, 其余类同。

1.2.1.2 刀具静止角度的标注

在刀具静止角度参考系中标注或测量的几何角度称为刀具静止角度, 或称刀具标注角度。刀具静止角度标注的基本方法为“一刃四角法”。所谓“一刃四角法”是指刀具上每一条切削刃, 必须且只需四个基本角度, 就能唯一地确定其在空间的位置。这四个基本角度是

前角、后角、刃倾角、主偏角。

刀具切削部分是由若干个刀尖，切削刃，前、后刀面组成的空间几何体，为了确定这些几何要素的空间位置，应抓住其关键要素，其关键要素即为切削刃。只要把切削刃的空间位置确定后，其他几何要素的空间位置也就确定了。当然，一把刀具可能有若干条切削刃，这时应找出刀具的主切削刃，对主切削刃应一个不漏地完整地标出四个角度，然后逐条分析其他切削刃，这样整个刀具切削部分的几何角度也就标注清楚了。

图 1-8 所示为普通外圆车刀在正交平面参考系中静止角度的标注。

外圆车刀，系由主切削刃和副切削刃两条切削刃组成。根据“一刃四角法”的原则，应首先标注主切削刃，完整地标出四个基本角度。根据切削平面的定义，主切削刃应在切削平面内，因此要确定主切削刃的位置，应先确定切削平面的位置及主切削刃在切削平面内的位置，这两个位置分别由主偏角和刃倾角来确定。

主偏角 κ_r 是在基面内度量的切削平面 P_s 和假定工作平面 P_f 之间的夹角。也是主切削刃在基面上的投影与进给运动方向之间的夹角，应标注在基面内。

刃倾角 λ_s 是在切削平面内度量的主切削刃 S 与基面 P_r 之间的夹角。它是确定主切削刃在切削平面 P_s 内位置的角度。应标注在切削平面的视图内。当刀尖在主切削刃上为最高点时，刃倾角 λ_s 为正值；当刀尖在主切削刃上为最低点时，刃倾角 λ_s 为负值；当主切削刃在基面内时，刃倾角 λ_s 为零。

在主切削刃的位置确定之后，形成这条切削刃的前、后刀面的位置，可任意选用一个刃剖面来反映，在正交平面参考系中，正交平面内前刀面与基面所夹的角度为前角 γ_o ，主后刀面与切削平面所夹的角度为后角 α_o 。

前角 γ_o 是在正交平面内度量的前刀面 A_o 与基向 P_r 之间的夹角，当切削刃上选定点的基面 P_r 在剖视图中处于刀具实体之外时，前角 γ_o 为正值；当基面 P_r 处于刀具实体之内时，前角 γ_o 为负值；当前刀面与基面重合时，前角 γ_o 为零。

后角 α_o 是在正交平面内度量的主后刀面 A_o 与切削平面 P_s 之间的夹角，当切削刃上选定点的切削平面已在剖视图中处于刀具实体之外时，后角 α_o 为正值；当切削平面 P_s 在刀具实体之内时，后角 α_o 为负值；当主后刀面与切削平面重合时，后角 α_o 为零。

此外还有副切削刃上的四个角，楔角和刀尖角等。

1.2.2 焊接式车刀

焊接式车刀是将一定形状的硬质合金刀片，用黄铜、硼砂等焊料，焊接在结构钢刀杆上而形成的。如图 1-9 所示，其结构简单、紧凑，抗振性能好，制造方便，使用灵活，所以使用非常广泛，适用于各类车刀，尤其是小刀具。但这种车刀也存在一些缺点：

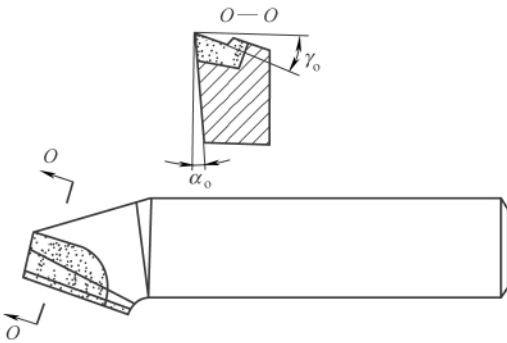


图 1-9 焊接式车刀

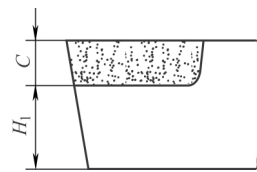


图 1-10 刀杆头部支承面高度 H_1 与刀片厚度 C

① 刀片在焊接和刃磨的高温作用后冷却时，由于硬质合金刀片和刀杆材料的线膨胀系数和导热性能不同，常常产生内应力，极易导致裂纹，降低了刀片的抗弯强度，致使车刀工作时刀片产生崩刃或打刀；

② 刀杆随刀片的用尽而报废，不便于重复使用；

③ 常常需要在刀片前刀面上磨出断屑槽，造成了硬质合金的额外消耗，减少了刀片的有效刃磨次数；

④ 尺寸较大较重的车刀（如重型车床上用的车刀），焊接刀片时很不方便，也容易产生裂纹。磨损后重磨也较困难。

焊接式车刀的硬质合金刀片形状和尺寸有统一的标准规格，由专门的硬质合金厂按标准 YB 850—75 的规定生产供应。设计和制造时，应根据其不同用途，选用合适的硬质合金牌号和刀片形状。选择刀片时应注意：

① 使刀杆上刀片支承面高度 H_1 与刀片厚度 C 保持 $H_1/C > 3$ 的比例关系，如图 1-10 所示，以保证刀头部分强度。因此，选择刀片型号和厚度尺寸的同时考虑到刀杆高度，因为它受到车床刀架尺寸的限制；

② 车刀刀杆头部应按所选定的刀片形状尺寸作出刀槽，以便放置刀片，进行焊接；

③ 为了避免和减少刀片焊接时产生的内应力，应该在保证焊接强度的前提下，尽可能选用焊接面较少的刀槽槽形。

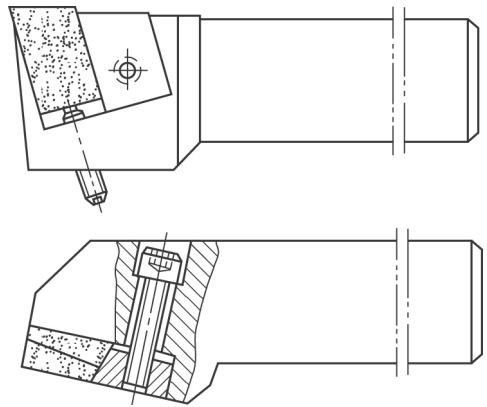


图 1-11 机械夹固式车刀

1.2.3 机夹式车刀

机械夹固式结构的车刀克服了焊接式车刀的一些缺点，其刀片用机械夹固方式平装（刀片水平放置）或立装在车刀刀杆上。如图 1-11 所示为刀片立装的机械夹固式强力车刀。这种车刀可采用标准硬质合金刀片，通过螺钉、楔块夹持在刀杆上。刀片立装在刀体上，通过装夹获得所需后角（ $4^\circ \sim 6^\circ$ ），只需刃磨前刀面。这样装夹的刀片受力较好，并可增加刃磨次数，提高刀片利用率。这种结构适于在半精车和粗车中使用。

机夹式车刀的结构的主要优点是：

① 刀片可不经高温焊接，避免了因焊接而引起的刀片硬度降低和自内应力导致的裂纹，提高了刀具耐用度。

② 刀片的刃磨次数增加，刀片利用率较高，直到不能继续使用，还可以由硬质合金厂回收再制。

③ 刀杆可以重复使用。

缺点是车刀在使用过程中仍需刃磨，还不能完全避免由于刃磨而可能引起的裂纹。

另外，在重型车床上用的机械夹固式车刀，常常不是直接夹固硬质合金刀片，而是夹固焊有小刀块的刀杆。这种结构型式如图 1-12 所示。图中小刀块 2 由销子 6 定位，经螺钉 1 夹固在刀杆 5 上。用螺钉 4 固定的压板 3 起断屑作用。这种结构适用于大而重的车刀，使用时可不从机床上卸下整个车刀，只需取下刀块进行刃磨，因此在重型车床上使用非常方便。近年来在中型车床上也有应用。当然，采用这种结构仍需避免或减少焊接和刃磨时产生的裂纹。

如果能够设法消除刃磨或重磨时由内应力可能引起的裂纹，这样机械夹固刀片的结构就