



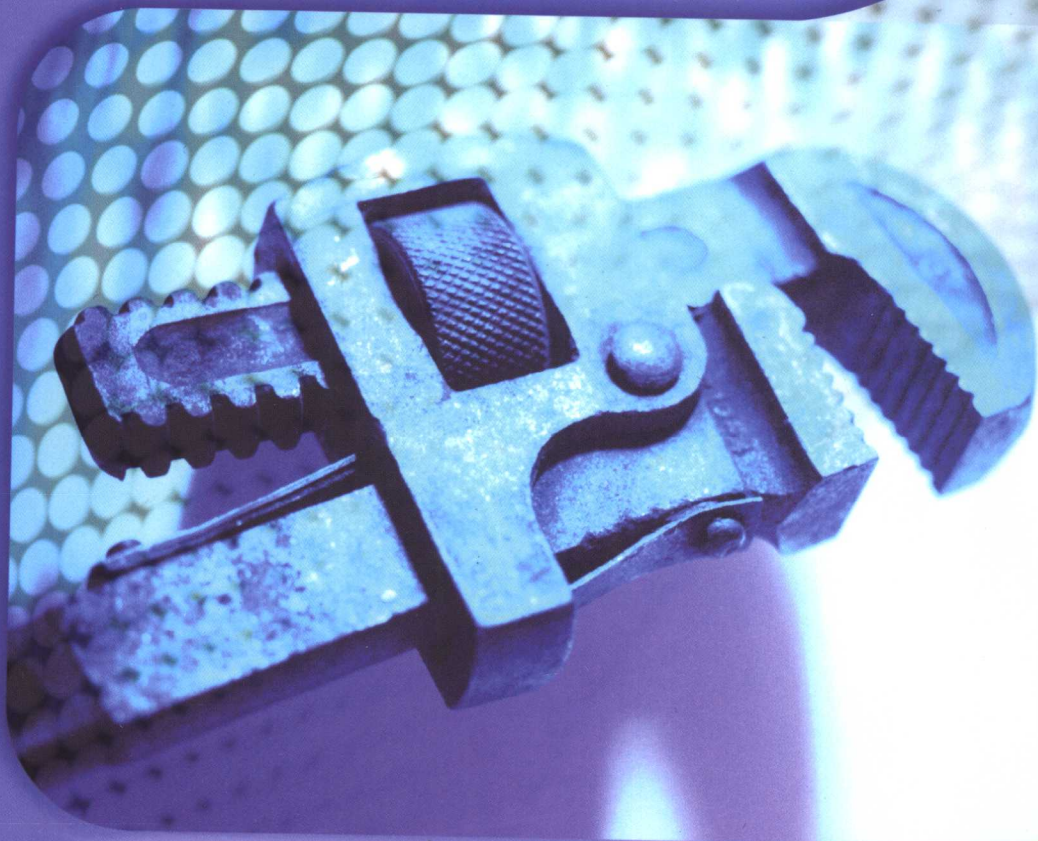
21世纪高等院校机械设计制造及其自动化专业系列教材

机械制造基础

● 肖 华 王国顺 主 编

● 戴锦春 华中平 副主编

(下册)



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21 世纪高等院校机械设计制造及其自动化专业系列教材

机械制造基础 (下册)

肖 华 王国顺 主编
戴锦春 华中平 副主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本教材是 21 世纪高等院校机械设计制造及其自动化专业系列教材之一。本教材是根据全国专业调整会议的精神,结合全国多所大专院校实施教育部下达的“工程制图和机械基础系列课程教学内容与课程体系改革”的教改内容的实际经验和需求,在原有《金属工艺学》、《机械制造基础》等教材的基础上,大胆创新、勇于改革而写成的,全面贯彻了扩大知识面、扩宽专业口径的思想,是数十位教学和科研第一线教师们多年教学成果的结晶。

本教材注重基础、强调工艺和实践环节。在具体内容上大幅度地增加了近年来在新材料、新工艺、新技术等方面的最新科技成果。根据许多院校专业设置的需要,本教材分为上、下两册,下册主要介绍金属切削原理与刀具、金属切削机床的基本知识、精密加工与特种加工、典型表面的加工工艺以及机械制造工艺过程等方面的内容。

本书叙述简明、概念清楚、内容丰富;配有大量精选的习题。特别适合作为高等院校机械设计制造及其自动化专业的教学用书,同时也可以作为机械类其他专业和近机械专业以及从事机械设计制造的工程技术人员参考用书。

本书配有电子教案,此教案用 PowerPoint 制作,可以任意修改。有需要者,可从中国水利水电出版社网站 <http://www.waterpub.com.cn/softdown/> 下载。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础. 下册/肖华等主编. —北京:中国水利水电出版社, 2005

(21 世纪高等院校机械设计制造及其自动化专业系列教材)

ISBN 7-5084-2332-1

I. 机... II. 肖... III. 机械制造—高等学校—教材 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 015948 号

书 名	机械制造基础(下册)
作 者	肖 华 王国顺 主编 戴锦春 华中平 副主编
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:mchannel@263.net(万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话:(010)63202266(总机)68331835(营销中心) 82562819(万水) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市天竺颖华印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 14 印张 319 千字
版 次	2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	20.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

**21 世纪高等院校机械设计制造及其自动化
专业系列教材编委会名单**

主 任 段正澄

副主任 周国柱 张建钢 肖荣清 常治斌 郑 晓

委 员 (按姓氏笔画顺序排列)

王国顺 王德洪 叶仲新 李兆铨 华中平

吴晓光 陈仪先 张仙珍 周星元 周明研

骆 玲 翁晓红 海 燕 梅顺齐 陶云堂

曾宪森 戴锦春 朱森酉

前 言

在 21 世纪,世界机械工业的发展进入了前所未有的高速阶段,与其他行业相比,机械工业的发展具有地位化、规模化、全球化和高技术化的特点。21 世纪初机械制造业的重要特征表现在它的全球化、网络化、虚拟化、智能化以及环保协调的绿色制造等,而柔性化、灵捷化、智能化、信息化便成为 21 世纪初机械制造业发展的总趋势。传统的教材显然已经满足不了机械工业发展的需要。近年来,高等教育的发展也迫切需要对教材进行不断的革新和完善。

武汉地区十多所高校的教师在中国水利水电出版社的组织下,经过三年的共同探讨,编写了“21 世纪高等院校机械设计制造及其自动化专业系列教材”。系列教材的主要特色是:内容丰富,既保证了较扎实的理论基础知识,又反映了本学科领域的新理论、新技术和新方法,更指明了本学科研究发展的趋向;知识面宽,符合教育法规定的培养有创新能力、宽口径、复合型人才的要求;结构新颖、合理,系统性强,有利于组织教学和自修。

《机械制造基础》是系列教材的第一部,分为上、下两册,本书将传统的工程材料和金属工艺学部分内容进行了综合处理,在原工程材料、金属工艺学内容的基础上去粗取精,部分内容适当地加深与拓宽。本书从开拓学生现代成型新技术发展视野、提高学生的综合素质和对市场经济适应性的目的出发,删除了传统教材的陈旧内容,突出了工艺方法和相关主要设备的基本原理,而淡化了机械设备和工艺装备的详细结构,重点培养学生分析零件结构工艺性和选择工艺方法的能力。

上册以金属材料、金属材料热处理和金属材料的成形方法为主要研究对象。尽管目前在机械制造业中金属材料还占有主导地位,但是非金属材料(塑料、橡胶、陶瓷和复合材料等)以其无可比拟的优越性,必将得到越来越广泛的应用。因此,在本册中也对非金属材料的性能及成形方法进行了讨论。此外,还介绍机械零件材料及成形方法选用的具体原则,并给出了典型的示例,对各种材料的成形工艺方法进行了归纳和总结,为学生学习后续课程和进行专业课程设计以及今后的实际工作奠定了扎实的基础。

下册主要以金属切削加工过程为主要研究对象,围绕着金属切削加工工艺系统,从金属切削原理、金属切削刀具、金属切削机床、机械制造工艺过程等不同方面来研究零件加工精度与工件材料、刀具、加工方法、工艺过程诸相关因素之间的关系。同时,对零件的工艺性问题进行了讨论。随着新材料的不断涌现,以及人们对高精度、高效率的追求,新的加工方法及设备层出不穷,因此在本册中也对一些精密加工和特种加工方法及设备进行了介绍。主要包括:电火花加工、超声波加工、电解加工和激光加工等。

本书每章都配有精选的习题,教师可以根据具体情况适当布置课后作业。

本书在编写过程中参考了国内众多工程材料及机械制造基础教材和其他文献资料,结合了多位作者多年的教学实践经验,在此对他们表示深深的谢意!

本书在编写风格上力求简明扼要、重点突出、语言精练,注重突出基本概念,同时也

强调实际应用。在内容的安排和章节次序上尽量满足宽口径教学的需要。然而由于各个高校发展的不平衡和侧重点的不同,教师在选用此教材时可以根据具体需要对授课内容适当进行调整。我们建议使用 24 学时讲授工程材料部分,24 学时讲授成形方法,32 学时讲授金属切削加工部分。

机械制造基础是机械类专业学生的必修课程。本课程具有很强的实践性,必须在实践的基础上进行课堂教学。学习课程之前应修完《工程制图》、《金工实习》等先行课程。

本书可供高等院校机械设计制造及其自动化及相关专业、近机械类专业作为教材选用,也可供有关工程技术人员作为参考读物。

本书由肖华、王国顺任主编,戴锦春、华中平任副主编。在编写过程中得到潘卫平、李兆铨、周明研、张业鹏、郑晓、肖荣清、翁晓红、海燕、王德洪等同志的大力帮助。江平、邓聪、庞红丽等在文字编排和插图处理等方面也做了大量工作。在此,对他们表示感谢!中国水利水电出版社计算机编辑室的编辑对本书的出版给予了很大的帮助,对他们的敬业精神我们非常敬佩。

由于时间仓促,加之作者水平有限,本书难免存在诸多错误和不足,敬请大家批评指正!

编者

2004 年 12 月

目 录

前言

第1章 金属切削原理与刀具	1
1.1 切削运动及刀具结构	1
1.1.1 切削运动及切削用量	1
1.1.2 刀具材料	3
1.1.3 车刀的形状及几何角度	12
1.1.4 刀杆中心线与进给方向不垂直时工件角度的变化	23
1.2 金属切削基本规律	23
1.2.1 切屑种类及形成机理	23
1.2.2 金属切削过程中的变形规律	25
1.2.3 切削的加工硬化与残余应力	32
1.2.4 积屑瘤和鳞刺	34
1.2.5 切削力与切削功率	38
1.2.6 切削热、切削温度及切削液	42
1.3 刀具磨损与耐用度	52
1.3.1 刀具磨损形式及过程	52
1.3.2 刀具磨损的原因及本质	55
1.3.3 切削用量与耐用度的关系	58
1.3.4 刀具破损	59
1.4 金属切削效益分析	61
1.4.1 零件的加工表面质量	61
1.4.2 材料的切削加工性	63
1.4.3 刀具几何参数的合理选择	66
1.4.4 切削用量的合理选择	71
思考题	74
第2章 金属切削机床简介	76
2.1 金属切削机床基本知识	76
2.1.1 金属切削机床的发展概况	76
2.1.2 机床的基本组成和构造	78
2.2 机床的分类与型号编号	81
2.2.1 机床的分类方法	81
2.2.2 机床的型号编制	83

2.3 机床的基本传动形式	87
2.3.1 机床传动的组成	87
2.3.2 机床常用的传动副	87
2.3.3 传动链及其传动比	90
2.3.4 机床的变速机构	90
2.4 普通车床传动系统分析	93
2.4.1 主运动分析	93
2.4.2 进给运动分析	95
2.4.3 车床传动系统的组成	96
2.4.4 机械传动的特点	97
2.5 万能外圆磨床传动系统分析	97
2.5.1 外圆磨床液压传动系统	97
2.5.2 外圆磨床机械传动系统	99
2.6 卧式镗床结构与传动系统分析	102
2.6.1 卧式镗床功用与结构组成	102
2.6.2 卧式镗床传动系统分析	104
思考题	108
第3章 常用金属切削加工	110
3.1 车削加工	110
3.1.1 工件的安装	110
3.1.2 车削的工艺特点	111
3.1.3 车削的应用	112
3.2 铣削加工	114
3.2.1 铣刀	114
3.2.2 铣削方式	115
3.2.3 铣削的工艺特点	117
3.2.4 铣削的应用	117
3.3 钻削和镗削加工	119
3.3.1 钻削加工	119
3.3.2 钻孔	119
3.3.3 扩孔	122
3.3.4 铰孔	123
3.3.5 镗孔(或在车床上车孔)	124
3.4 刨削和拉削加工	127
3.4.1 刨削	127
3.4.2 拉削	128
3.5 磨削加工	130
3.5.1 砂轮	130

3.5.2 磨削过程	130
3.5.3 磨削的工艺特点	131
3.5.4 磨削的应用	132
3.5.5 磨削技术新发展	137
思考题	138
第4章 典型表面加工分析	140
4.1 外圆表面的加工	140
4.1.1 外圆表面的技术要求	141
4.1.2 外圆面加工方案的分析	141
4.2 内孔表面的加工	142
4.2.1 内孔表面的技术要求	143
4.2.2 孔加工方案的分析	143
4.3 平面的加工	145
4.3.1 平面的技术要求	145
4.3.2 平面加工方案分析	145
4.4 螺纹表面的加工	146
4.4.1 螺纹表面的表面要求	147
4.4.2 螺纹表面的加工方法	147
4.4.3 螺纹加工方法的选择	149
4.5 成形表面的加工	150
4.5.1 成形表面的技术要求	150
4.5.2 成形表面的加工特点	150
4.6 齿轮齿形的加工	152
4.6.1 圆柱齿轮传动的精度要求	153
4.6.2 齿轮齿形加工方法的分析	154
4.6.3 圆柱齿轮齿形的精加工	157
4.6.4 研齿	160
4.6.5 齿形加工方法选择	161
思考题	161
第5章 机械加工工艺规程设计	163
5.1 基本概念	163
5.1.1 机械产品的生产过程和机械加工工艺过程	163
5.1.2 生产纲领和生产类型	165
5.1.3 机械加工工艺规程	166
5.2 工件加工时的装夹与基准	169
5.2.1 工件的装夹	169
5.2.2 工件的定位	170

5.2.3 工件的基准	174
5.2.4 工件定位基准的选择	175
5.3 工艺路线的制定	178
5.3.1 加工方法的选择	178
5.3.2 工序顺序的安排	181
5.3.3 加工阶段的划分	183
5.3.4 工序的集中与分散	184
5.4 零件的工艺性分析与毛坯选择	184
5.4.1 分析和审查产品装配图和零件图	184
5.4.2 分析零件的结构工艺性	185
5.4.3 毛坯的选择	192
5.5 典型零件加工工艺过程举例	194
5.5.1 轴类零件加工工艺过程举例	194
5.5.2 箱体类零件加工工艺过程	196
思考题	200
第 6 章 精密加工与特种加工简介	202
6.1 精密加工和超精密加工	202
6.1.1 精密加工和超精密加工的基本概念	202
6.1.2 精密加工和超精密加工的特点	202
6.1.3 精密加工和超精密加工方法	203
6.2 特种加工	206
6.2.1 电火花加工	206
6.2.2 电解加工	207
6.2.3 超声波加工	208
6.2.4 激光加工	209
思考题	210
参考文献	212

第 1 章 金属切削原理与刀具

金属切削加工虽有多种不同的形式,但是,它们在很多方面,如切削时的运动、切削工具以及切削过程的物理实质等,都有着共同的现象和规律。这些现象和规律是学习各种切削加工方法的共同基础。

1.1 切削运动及刀具结构

1.1.1 切削运动及切削用量

1. 零件表面的形成及切削运动

机器零件的形状虽很多,但分析起来,主要由下列几种表面组成,即外圆面、内圆面(孔)、平面和成形面。因此,只要能对这几种表面进行加工,就基本上能完成所有机器零件的加工。

外圆面和内圆面(孔)是以某一直线为母线,以圆为轨迹,作旋转运动时所形成的表面。

平面是以一直线为母线,以另一直线为轨迹,作平移运动时所形成的表面。

成形面是以曲线为母线,以圆或直线为轨迹,作旋转或平移运动时所形成的表面。

上述各种表面,可分别用图 1-1 所示的相应的加工方法获得。由图可知,要对这些表面进行加工,刀具与工件必须有一定的相对运动,这些运动就是切削运动。

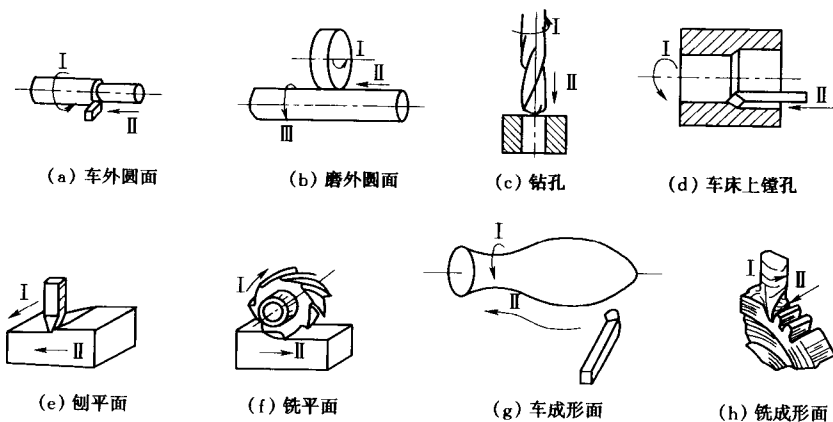


图 1-1 零件不同表面加工时的切削运动

切削运动包括主运动(图中 I)和进给运动(图中 II)。主运动是切削加工最基本的运动;进给运动是使金属层不断投入切削,从而加工出最终表面所需的运动。各种切削加工方法(车削、钻削、刨削、铣削、磨削和齿轮加工等)都是为了加工某种表面而发展起

来的, 因此, 也都有其特定的切削运动。切削运动有旋转的, 也有直线的; 有连续的, 也有间歇的。

2. 切削用量

在一般的切削加工中, 切削用量包括切削速度、进给量和切削深度(背吃刀量)三要素。

(1) 切削速度 v 。在单位时间内, 工件和刀具沿主运动方向的相对位移。单位为 m/s 或 m/min 。

若主运动为旋转运动, 切削速度为其最大的线速度。以车外圆为例 (见图 1-2), 切削速度可按下式计算:

$$v = \frac{\pi d_w n}{1000 \times 60} \quad (\text{m/s})$$

或
$$v = \frac{\pi d_w n}{1000} \quad (\text{m/min})$$

式中 d_w ——待加工表面直径 (mm);

n ——工件转速 (r/min)。

若主运动为往复直线运动 (如刨削、插削等), 则常以其平均速度为切削速度, 即:

$$v = \frac{2Ln_r}{1000 \times 60} \quad (\text{m/s}) \quad \text{或} \quad v = \frac{2Ln_r}{1000} \quad (\text{m/min})$$

式中 L ——往复运动行程长度 (mm);

n_r ——主运动每分钟的往复次数 (str/min)。

(2) 进给量 f 。工件或刀具运动在一个工作循环 (或单位时间) 内, 刀具与工件之间沿进给运动方向的相对位移。例如车削时, 工件每转一转, 刀具所移动的距离, 即为 (每转) 进给量 f , 单位是 mm/r 。又如在牛头刨床上刨平面时, 刀具往复一次, 工作移动的距离, 即为进给量 f , 单位是 mm/str (即毫米/双行程)。

铣削时, 由于铣刀是多齿刀具, 还规定了每齿进给量 a_f , 单位是 mm/z (即毫米/齿)。

单位时间的进给量, 称为进给速度 v_f , 单位是 mm/s (或 mm/min)。

每齿进给量、进给量和进给速度之间有如下关系:

$$v_f = f \cdot n / 60 = a_f \cdot z \cdot n / 60 \quad (\text{mm/s})$$

式中 z 为铣刀齿数。

(3) 切削深度 a_p 。待加工表面与已加工表面间的垂直距离, 单位为 mm 。对于车外圆来说 (图 1-2):

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (\text{mm})$$

式中 d_m 为已加工表面直径 (mm)。

3. 切削层几何参数

切削层是指工件上正被切削刃切削的一层材料, 即两个相邻加工表面之间的那层材料。以车外圆为例 (见图 1-2), 切削层就是工件每转一圈, 切削刃所切下的一层材料。

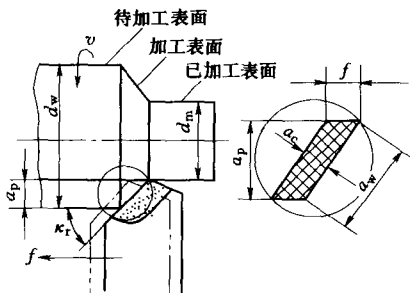


图 1-2 车外圆的切削要素

为了简化计算工作,切削层几何参数一般在垂直于切削速度的平面内观察和度量,它们包括切削厚度、切削宽度和切削面积。

(1) 切削厚度 a_c 。两相邻加工表面间的垂直距离,单位为 mm。如图 1-2 所示,车外圆时:

$$a_c = f \cdot \sin \kappa_r (\text{mm})$$

(2) 切削宽度 a_w 。沿主切削刃度量的切削层尺寸,单位为 mm。车外圆时(见图 1-2):

$$a_w = a_p / \sin \kappa_r (\text{mm})$$

(3) 切削面积 A_c 。切削层在垂直于切削速度截面内的面积,单位为 mm^2 。车外圆时(见图 1-2):

$$A_c = a_c \cdot a_w = f \cdot a_p (\text{mm}^2)$$

1.1.2 刀具材料

用刀具切削金属时,直接负担切削工作的是刀具的切削部分。刀具切削性能的好坏,取决于构成刀具切削部分的材料、切削部分的几何参数及刀具结构的选择和设计是否合理。切削加工生产率和刀具耐用度的高低,刀具消耗和加工成本的多少,加工精度和表面质量的优劣等等,在很大程度上都取决于刀具材料的合理选择。

刀具材料的发展受着工件材料发展的促进和影响。

1. 刀具材料应具备的性能

刀具在工作时,要承受很大的压力。同时,由于切削时产生的金属塑性变形以及在刀具、切屑、工件相互接触表面间产生的强烈摩擦,使刀具切削刃上产生很高的温度和受到很大的应力,在这样的条件下,刀具将迅速磨损或破损。因此刀具材料应能满足下面一些要求:

(1) 高的硬度和耐磨性。

硬度是刀具材料应具备的基本特性。刀具要从工件上切下切屑,其硬度必须比工件材料的硬度大。切削金属所用刀具的切削刃的硬度,一般都在 60HRC 以上。

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。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。但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、显微组织及摩擦区的温度有关。

(2) 足够的强度和韧性。

要使刀具在承受很大压力,以及在切削过程中通常要出现的冲击和振动的条件下工作,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) 高的耐热性(热稳定性)。

耐热性是衡量刀具材料切削性能的主要标志。它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。

(4) 良好的热物理性能和耐热冲击性能。

刀具材料的导热性愈好,切削热愈容易从切削区散走,有利于降低切削速度。

刀具在断续切削(如铣削)或使用切削液切削时,常常受到很大的热冲击(温度变化

剧烈), 因而刀具内部会产生裂纹而导致断裂。刀具材料抵抗热冲击的能力可用耐热冲击系数来衡量。

(5) 良好的工艺性能。

为便于刀具制造, 要求刀具材料具有良好的工艺性能, 如锻造性能、热处理性能、高温塑性变形性能、磨削加工性能等等。

(6) 经济性。

经济性是刀具材料的重要指标之一, 刀具材料的发展应结合本国资源。有的刀具(如超硬材料刀具)虽然单件成本很贵, 但因其使用寿命很长, 分摊到每个零件的成本不一定很高。因此在选用时要考虑经济效益。此外, 在切削加工自动化和柔性制造系统中, 也要求刀具的切削性能比较稳定和可靠, 有一定的可预测性和高度的可靠性。

2. 常用的刀具材料

常用的刀具材料有碳素工具钢、合金工具钢、硬质合金、陶瓷、金刚石、立方碳化硼等。目前刀具材料中用得最多的是高速钢和硬质合金。

(1) 碳素工具钢及合金钢。

碳素工具钢是指含碳量较高的优质钢(含碳量 0.7%~1.2%, 如 T10、T12A 等)。淬火后碳含量较高的工具钢其耐热性较差(见表 1-1)。在碳素工具钢中加入少量的 Cr、W、Mn、Si 等元素形成合金工具钢, 如 (9SiCr、CrWMn 等), 可适当减少热处理变形和提高耐热性(见表 1-1), 由于这两种材料的耐热性较低, 目前主要用来制造一些切削速度不太高的手动工具, 如锉刀、锯条、铰刀等, 较少用来制造其他刀具。

表 1-1 各种刀具材料的物理力学性能

材料种类 性能	高速钢	硬质合金		TiC (N) 基硬质合金	陶瓷			聚晶立方 氮化硼	聚晶 金刚石
		K 系 (WC-Co)	P 系 (WC-Ti-TaC-Co)		Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ -TiC	SiN ₄		
密度 g/cm ³	8.7~8.8	14~15	10~13	5.4~7	3.90~3.98	4.2~4.3	3.2~3.6	3.48	3.52
硬度 HRA	84~85	91~93	90~92	91~93	92.5~93.5	93.5~94.5	1350~1600 HV	4500HV	>9000HV
抗弯强度 MPa	2000~4000	1500~2000	1300~1800	1400~1800	400~750	700~900	600~900	500~800	600~1100
抗压强度 MPa	2800~3800	3500~6000		3000~4000	3500~5500		3000~4000	2500~5000	7000~8000
断裂韧性 K _{Ic} (MPa·m ^{1/2})	18~30	10~15	9~14	7.4~7.7	3.0~3.5	3.5~4.0	5~7	6.5~8.5	6.89
弹性模量 GPa	210	610~640	480~560	390~440	400~320	360~390	280~320	710	1090
导热系数 W/(m·K)	20~30	80~110	25~42	21~71	29	17	20~35	130	210
热膨胀系数 (×10 ⁻⁶ /K)	5~10	4.5~5.5	5.5~6.5	7.5~8.5	7	8	3.0~3.3	4.7	3.1
耐热性 °C	600~700	800~900	900~1100	1000~1100	1200	1200	1300	1000~1300	700~800

(2) 高速钢。

高速钢是一种加入了较多的钨、钼、铬、钒等合金元素的高合金工具钢。

高速钢具有较高的热稳定性，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，高速钢能提高切削速度 1~3 倍，提高刀具耐用度 10~40 倍，甚至更多。它可以加工从有色金属到高温合金范围内的各类材料。

高速钢具有高的强度（抗弯强度为一般硬质合金的 2~3 倍，为陶瓷的 5~6 倍）和韧性，具有一定的硬度（63~70HRC）和耐磨性，适合于各类切削刀具的要求，也可用于在刚性较差的机床上加工。

高速钢刀具制造工艺简单，容易磨成锋利切削刃，能锻造，这一点对形状复杂及大型成形刀具非常重要，故在复杂刀具（钻头、丝锥、成形刀具、拉刀、齿轮刀具等）制造中，高速钢仍占主要地位。

高速钢材料性能较硬质合金和陶瓷稳定，在自动机床上使用较可靠。

因此，尽管各国新刀具材料不断出现，高速钢仍占现用刀具材料的一半以上。

按用途不同，高速钢可分为通用型高速钢和高性能高速钢。

按制造工艺不同，高速钢可分为熔炼高速钢和粉末冶金高速钢。

常用的几种高速钢的力学性能见表 1-2。

表 1-2 高速钢的力学性能

钢 号	常 温 硬 度 HRC	抗 弯 强 度 GPa	冲 击 韧 度 MJ/m ²	高 温 硬 度 HRC	
				500℃	600℃
W18Cr4V	63~66	3~3.4	0.18~0.32	56	48.5
W6Mo5Cr4V2	63~66	3.5~4	0.3~0.4	55~56	47~48
9W18Cr4V	66~68	3~3.4	0.17~0.22	57	51
W6Mo5Cr4V3	65~67	3.2	0.25	—	51.7
W6Mo5Cr4V2Co8	66~68	3.0	0.3	—	54
W2Mo9Cr4VCo8	67~69	2.7~3.8	0.23~0.3	~60	~55
W6Mo5Cr4V2Al	67~69	2.9~3.9	0.23~0.3	60	55
W10Mo4Cr4V3Al	67~69	3.1~3.5	0.2~0.28	59.5	54

1) 通用型高速钢。

这类高速钢含碳量为 0.7%~0.9%。按钢中含钨量的不同，可分为含 W 12% 或 18% 的钨钢，含 W 6% 或 8% 的钨钼系钢，含 W 2% 或不含钨的钨钢。

这类钢按其耐热性可称为中等热稳定性高速钢。经 4 小时加热到 615~620℃，仍可保持硬度为 60HRC。由于这类钢具有一定的硬度（63~66HRC）和耐磨性，高的强度和韧性，良好的塑性和磨加工性，因此广泛用以制造各种复杂刀具，成为切削硬度在 250~280HBS 以下的大部分结构钢和铸铁的基本刀具材料，应用最为广泛，占高速钢总产量的 75%~80%。

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

通用型高速钢一般可分为钨钢、钨钼钢两类。

①钨钢。这种钢的典型牌号是 W18Cr4V（简称 W18），它含 W 18%，Cr 4%，V 1%，具有较好的综合性能（见表 1-3），在 600℃ 时的高温硬度为 48.5HRC，可以用来

制造各种复杂刀具。

②钨钼钢。钨钼钢是将钨钢中的一部分钨用钼代替所获得的一种高速钢。如果钨钼钢中的钼不多于 5%，钨不少于 6%。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，而又不致损害钢的热稳定性。

钨钼钢的典型牌号是 W6Mo5Cr4V2 (简称 M2)，它含 W 6%，Mo 5%，Cr 4%，V 2%。这种钢的碳化物分布细小均匀，具有良好的力学性能 (见表 1-3)，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具有这种优点，因而可做尺寸较大、承受冲击力较大的刀具。

2) 高性能高速钢。

高性能高速钢是指在通用型高速钢成分中再增加一些含碳量、含钒量及添加钴、铝等合金元素的新钢种。如高碳高速钢 9W6Mo5Cr4V2，高钒高速钢 W6Mo5Cr4V3，钴高速钢 W6Mo5Cr4V2Co5、W18Cr4VCo5 及超硬高速钢 W2Mo9Cr4VCo8、W6Mo5Cr4V2Al 等，它们的力学性能如表 1-3 所示。

这类钢按其耐热性可称为高热稳定性高速钢。加热到 630~650℃ 时仍可保持 60HRC 的硬度，因此具有更好的切削性能，这类高速钢刀具的耐用度约为通用型高速钢刀具的 1.5~3 倍。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。在用中等速度加工软材料时，优越性就不很显著。

这类钢的不同牌号只有在各自的规定切削条件下使用才可达到良好的切削性能。例如高碳高速钢的强度和韧性较通用高速钢低，高钒高速钢的磨加工性差，含钴高速钢的成本较高，都限制了它们只适于在一定范围内使用。

超硬高速钢是指硬度能达到 67~70HRC 的高速钢，其含碳量比相似的通用高速钢高 0.20%~0.25%。就其成分而言，可分为含钴的超硬高速钢和不含钴的超硬高速钢。

①W2Mo9Cr4VCo8 (M42)。这是一种应用最广的含钴超硬高速钢，具有良好的综合性能。硬度可达 67~70HRC，600℃ 的高温硬度为 55HRC，比 W18 钢高 6.5HRC，因而允许较高的切削速度。这种钢有一定的韧性，由于含钒量不高，故磨加工性很好。用这种钢做的刀具在加工耐热合金、不锈钢时，耐用度较 W18 和 M2 钢有明显提高。加工材料的硬度愈高，效果愈显著。这种钢由于含钴量较多，成本较贵。

②W6Mo5Cr4V2Al (501)。这是一种含铝的超硬高速钢，在 600℃ 时的高温硬度也达到 54HRC，但由于不含钴，因而仍保留有较高的强度和韧性。501 钢的抗弯强度为 2.9~3.9GPa，冲击韧性为 0.23~0.3MJ/m²，具有良好的切削性能。在多数场合，其切削性能与 M42 钢相同。这种钢立足于我国资源，与钴钢比较，成本较低，故已逐渐推广使用。但与 W18 钢比较，这种钢的磨加工性较差，热处理温度也较难控制。

3) 粉末冶金高速钢。

粉末冶金高速钢 (简称粉冶钢) 是用高压氩气或纯氮气雾化熔融的高速钢钢水，直接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致密的钢坯，最后将钢坯锻轧成钢材或刀具形状的一种高速钢。

用粉末冶金法制造的高速钢有下列优点：

①可有效地解决一般熔炼高速钢在铸锭时要产生的粗大碳化物共晶偏析，可以得到细

表 1-3 硬质合金的化学成分及力学性能

类别	牌号	化学成分				物理性能				力学性能				相近的 ISO 牌号
		WC	TiC	TaC (NbC)	Co	密度 g/cm ³	导热系数 W/(m·℃)	热膨胀系数 $\times 10^{-6}(1/^\circ\text{C})$	硬度 HRA	抗弯强度 GPa	抗压强度 GPa	弹性模量 GPa	冲击初度 kJ/m ²	
WC 基	YG3X	96.5		<0.5	3	15.0~15.3		4.1	91.5	1.1	5.4~5.63			K01
	YG6X	93.5		<0.5	6	14.6~15.0	79.6	4.4	91	1.4	4.7~5.1		~20	K02
	YG6	94			6	14.6~15.0	79.6	4.5	89.5	1.45	4.6	630~640	~30	K10
	YG8	92			8	14.5~14.9	75.4	4.5	89	1.5	4.47	600~610	~40	K20
	YS2 (YG10H)	90			10	14.3~14.6			91.5	2.2				K30
	YT30	66	30		4	14.5~14.9	20.9	7.00	92.5	0.9	3.9	400~410	3	P01
WC + TiC + Co	YT15	79	15		6	11.0~11.7	33.5	6.51	91	1.15	4.2	520~530		P10
	YT14	78	14		8	11.2~12	33.5	6.21	90.5	1.2	4.6		7	P20
	YT15	85	5		10	12.5~13.2	62.8	6.06	89.5	1.4		590~600		P30
	YG6A	91		3	6	14.6~15			91.5	1.4				K05
WC + TaC (NbC) + Co	YG8A	91		<1	8	14.5~14.9			89.5	1.5				K25
	YW1	84	6	4	6	12.8~13.3			91.5	1.2				M10
	YW2	82	6	4	8	12.6~13			90.5	1.35				M20
	YN05	8	71		Ni-7 Mo-14	5.9			93.3	0.95				P01
TiC(N)基	YN10	15	62	1	Ni-12 Mo-10	6.3			92	1.1				P01