



新世纪高职高专教改项目成果教材

XINSHIJI GAOZHI GAOZHUAN JIAOGAI XIANGMU CHENGGUO JIAOCAI

机械制造及机电一体化系列

机械制造技术

龚 雯 陈则钧 主编



高等教育出版社

TH16
32
新世纪高职高专教改项目成果教材

机械制造技术

641/645

龚 雯 陈则钧 主编



高等教育出版社

内容提要

本书是新世纪高职高专教改项目成果教材。本书全面介绍了机械制造过程中的相关制造技术,主要包括:金属切削原理和机械加工刀具及其材料选择,各种金属切削机床的结构及其加工方法,典型零件的加工工艺,机械加工工艺规程与装配工艺规程的制定原则和方法,尺寸链理论及其应用,机床夹具的设计方法以及现代机床夹具简介,机械加工质量分析,特种加工技术和先进制造方法的应用及发展等。此外,根据数控机床应用日益广泛的实际情况,本书特别增加了数控机床加工方法的内容,重点介绍了数控机床加工在工艺安排、工装选择等方面与传统加工的不同之处。

本书是高职高专机电一体化、机械制造与控制、数控技术应用等专业的必修教材,亦可供工程技术人员、工人和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术/龚雯,陈则钧主编. —北京:高等教育出版社,2004.8(2006重印)

ISBN 7-04-015102-2

I. 机... II. ①龚... ②陈... III. 机械制造工艺—高等学校:技术学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 068731 号

策划编辑	赵亮	责任编辑	贺玲	封面设计	于涛	责任绘图	朱静
版式设计	张岚	责任校对	康晓燕	责任印制	朱学忠		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000
经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 山东中和新华印刷有限公司

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16
印 张 31.75
字 数 780 000

版 次 2004 年 8 月第 1 版
印 次 2006 年 12 月第 3 次印刷
定 价 33.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 15102-00

出版说明

为认真贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》，研究高职高专教育跨世纪发展战略和改革措施，整体推进高职高专教学改革，教育部决定组织实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》（教高[2000]3 号，以下简称《计划》）。《计划》的目标是：“经过五年的努力，初步形成适应社会主义现代化建设需要的具有中国特色的高职高专教育人才培养模式和教学内容体系。”《计划》的研究项目涉及高职高专教育的地位、作用、性质、培养目标、培养模式、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面，重点是人才培养模式的改革和教学内容体系的改革，先导是教育思想的改革和教育观念的转变。与此同时，为了贯彻落实《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》（教高[2000]2 号）的精神，教育部高等教育司决定从 2000 年起，在全国各省市的高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校以及本科院校的职业技术学院（以下简称高职高专院校）中广泛开展专业教学改革试点工作，目标是：在全国高职高专院校中，遴选若干专业点，进行以提高人才培养质量为目的、人才培养模式改革与创新为主题的专业教学改革试点，经过几年的努力，力争在全国建成一批特色鲜明、在国内同类教育中具有带头作用的示范专业，推动高职高专教育的改革与发展。

教育部《计划》和专业试点等新世纪高职高专教改项目工作开展以来，各有关高职高专院校投入了大量的人力、物力和财力，在高职高专教育人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等方面做了大量的研究、探索和实践，取得了不少成果。为使这些教改项目成果能够得以固化并更好地推广，从而总体上提高高职高专教育人才培养的质量，我们组织了有关高职高专院校进行了多次研讨，并从中遴选出了一批较为成熟的成果，组织编写了一批“新世纪高职高专教改项目成果”教材。这些教材结合教改项目成果，反映了最新的教学改革方向，很值得广大高职高专院校借鉴。

新世纪高职高专教改项目成果教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2002 年 11 月 30 日

前 言

本书是高职高专教改项目成果教材,突出特点是将金属切削原理与刀具、金属切削机床、机床夹具设计、机械制造工艺学等课程进行整合,从而实现了多门专业课程内容的有机结合。本教材的授课学时数为 100 学时。

本书突出了职业教育的特点,结合高职高专学生的培养目标,瞄准提高学生实践能力这一中心任务,对教材中理论知识的广度和深度进行合理控制,增加生产实用知识的比例,删除过旧过深的知识。

全书内容编排以机械制造中的工艺系统为主线,将制造所需的机床、刀具、夹具、制造工艺等各种知识按实际生产中机械制造过程的顺序编排,使课程知识与生产实际更加贴近,因而有利于提高学生专业知识的综合应用能力。

本着以培养学生能力为本的思想,本书内容可归纳为三个部分:

第一部分为制造技术基础,包括金属切削原理与刀具的基础知识、车床结构及车削加工方法、铣床结构及铣削加工方法。学生完成此部分内容的学习后,应具备了初级车、铣床操作工所需的全部知识和技能。

第二部分为深层次知识,讲解较复杂的轴类、箱体类零件以及圆柱齿轮的加工。其中包括镗床、滚齿机、插齿机、磨床、钻床等机床的结构特点、加工刀具的选择、机床调整、夹具设计等内容。此部分内容可提高学生的知识层次结构,为学生将来的发展和从事技术工作奠定一个坚实的基础。此外,本部分特别增加了数控机床加工方法,重点介绍数控机床加工在工艺安排、工装选择及特点等方面的内容。

第三部分为新工艺、新方法和先进制造技术,介绍最新制造技术如绿色设计与制造、虚拟制造与柔性制造、快速成形技术等,使学生通过本部分内容的学习,在机械制造技术的理念上有一个较大的改变。

本教材由北京市机械局职工大学龚雯和陈则钧任主编,长治职业技术学院王寅仓担任副主编。具体编写分工如下:第一、二、五、七章由龚雯编写;第三章由陈则钧编写;第四、十二章由北京市机械局职工大学邱坤编写;第六、八、十三章由王寅仓编写,第九章由长治职业技术学院王寅仓、武孝平合编;第十章、第十一章分别由北京市机械局职工大学王勤、贾俊良编写。

上海第二工业大学乔世民审阅了本书。在本书编写和审定过程中,一些高职高专院校的教师对书稿提出了宝贵意见,在此一并表示诚挚的谢意。

由于水平有限,书中难免有错误和不当之处,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

2004 年 2 月

目 录

第一章 绪论.....	1	6.1 概述.....	197
第二章 金属切削原理与刀具.....	5	6.2 轴类零件的磨削加工及 精密加工.....	199
2.1 刀具材料.....	5	6.3 轴类零件加工工艺及其分析.....	217
2.2 刀具几何角度及其标注方法.....	13	6.4 车床夹具设计.....	230
2.3 切削运动与切削用量.....	22	复习思考题.....	267
2.4 金属切削过程.....	24	第七章 箱体零件加工.....	270
2.5 切削力.....	31	7.1 箱体零件的结构和技术要求.....	270
2.6 切削热和切削温度.....	37	7.2 箱体零件孔系加工.....	273
2.7 切削基本理论的应用.....	40	7.3 箱体零件平面加工.....	319
2.8 刀具磨损与寿命.....	54	7.4 铣床夹具设计.....	325
复习思考题.....	60	7.5 现代机床夹具.....	329
第三章 车床及其加工方法.....	62	7.6 箱体零件加工工艺过程分析.....	338
3.1 车床.....	62	复习思考题.....	346
3.2 车床工艺范围和刀具选择.....	83	第八章 圆柱齿轮加工.....	348
3.3 车削加工方法.....	88	8.1 齿轮零件的结构特点与 技术要求.....	348
3.4 切削加工预备知识.....	103	8.2 滚齿.....	349
复习思考题.....	109	8.3 插齿.....	360
第四章 铣床及其加工方法.....	110	8.4 齿形精加工方法.....	362
4.1 铣床.....	110	8.5 圆柱齿轮加工工艺过程分析.....	367
4.2 铣床刀具选择及其装拆.....	125	复习思考题.....	371
4.3 铣削加工方法.....	129	第九章 机械加工质量分析.....	372
复习思考题.....	141	9.1 概述.....	372
第五章 机械加工工艺规程的制定.....	143	9.2 机械加工精度.....	375
5.1 机械加工工艺规程制定的 准备工作.....	143	9.3 机械加工表面质量.....	401
5.2 零件机械加工工艺规程的制定	152	9.4 机械加工中的振动.....	406
5.3 工艺尺寸链.....	171	复习思考题.....	414
5.4 工艺过程的技术经济分析.....	181	第十章 机械装配工艺基础.....	416
5.5 机械加工工艺规程制定实例.....	189	10.1 概述.....	416
复习思考题.....	195	10.2 装配工艺规程设计.....	421
第六章 轴类零件加工.....	197	10.3 装配尺寸链.....	423

10.4 机器的自动装配	432	12.3 其他特种加工方法	476
复习思考题	441	复习思考题	478
第十一章 数控机床加工方法	444	第十三章 先进制造方法	479
11.1 数控刀具系统	444	13.1 先进制造技术的发展	479
11.2 数控机床附件	450	13.2 绿色设计与制造	484
11.3 数控机床的加工工艺	453	13.3 虚拟制造与柔性制造	488
复习思考题	469	13.4 快速成形技术	495
第十二章 特种加工	470	复习思考题	497
12.1 电火花加工	470	参考文献	498
12.2 激光加工	475		

第一章 绪论

世界经济的发展趋势表明,制造业是一个国家经济发展的基石,而机械制造技术是国家经济发展的重要保障。在当今世界上,高度发达的制造业和先进的制造技术已经成为衡量一个国家综合经济实力和科学技术水平的重要标志,成为一个国家在竞争激烈的国际市场上获胜的关键因素之一。

在经济全球化的进程中,随着劳动和资源密集型产业向发展中国家的转移,我国正在逐步成为世界的重要制造基地。但是,由于我国工业化进程起步较晚,与国际先进水平相比,制造业和制造技术还存在着阶段性差距,因此必须加强对制造技术领域的研究,大胆进行技术创新,同时积极引进和消化国外的先进制造技术和理念,尽快形成我国自主创新和跨越式发展的先进制造技术体系,使我国制造业在国内、国际市场竞争中立于不败之地。

精密和超精密加工、柔性化和自动化制造、高速高效切削、智能化控制是机械制造技术发展的主要方向。近年来,由于在机械制造领域采用了微电子技术、传感技术、机电一体化技术等,使机械制造技术取得了长足的发展。特别是计算机技术和人工智能技术在该领域的应用,更使机械制造技术产生了根本性的改变,使机械制造技术与系统的柔性化、集成化、智能化、精密化水平进一步得到提高。

一、制造装备的发展

目前,制造装备的发展趋势是高速化、高精度化、复合化、高科技含量化以及环保化。

(一) 机床的发展趋势

1. 高速化

高速化体现了高效率,这正是机械加工技术追求的目标之一。制造设备的高速化表现在主轴转速、各运动轴的快速移动以及刀具的快速更换上。如国外生产的高速立式加工中心,主轴转速可达 24 000 r/min 以上;国内生产的高速卧式加工中心,其主轴转速也已达 18 000 r/min,且 x 、 y 、 z 轴移动速度达 60 m/min;高速数控纵切车床的主轴最高转速可达 12 000 r/min。在换刀速度方面,国内产品也达到了 1.5 s 的较高水平。

2. 高精度化

为适应机械制造产品越来越精密的要求,制造设备的高精度化是其发展的必然趋势。近年来,制造设备的精度不断提高,如国内生产的高精度高速车削中心,在主轴转速高达 8 000 r/min 的情况下,主轴回转精度 $\leq 0.2 \mu\text{m}$ 。一些高精度卧式加工中心的定位精度可达 0.008 mm,重复定位精度达 0.005 mm。

3. 复合化

复合化是近几年机床发展的又一个重要趋势。复合化是将多种动力头集中在一台机床上,使工件在一次装夹中,完成多种工序的加工,从而减小了多次装夹误差,提高了工件的加工精度。如:德国生产的 SIF—3CNC 内外圆磨床,可以同时对外圆磨削,磨削内孔最大直径为 $\phi 120 \text{ mm}$,磨削外圆直径 $\phi 20 \sim \phi 120 \text{ mm}$;瑞士生产的 S21lean CNC 外圆磨床,机床采用回转砂

轮架结构,同时安装两个外圆磨头和一个内圆磨头,在一次装夹下可完成内、外圆和端面的磨削;国产的 MK2710 内、外圆复合磨床,工件在一次装夹中,可同时磨削内孔、外锥面或同时磨削内孔、端面,显著提高了磨削加工效率及各加工表面的相互位置精度;国产 TK6610 数控立、卧复合铣镗床,具有立、卧两个主轴箱,可进行铣平面、斜面、长槽、阶梯面及钻、镗、攻螺纹等工序,万能性好。

4. 高科技含量化

科学技术的进步极大地提高了现代制造装备的科技含量。目前,数控机床的应用越来越广泛。国内已制造出六轴五联动数控锥齿轮铣齿机、五轴联动龙门加工中心等,可加工大型空间曲面构件、涡轮发动机叶片、螺旋桨等复杂空间零件的机床。用于微细加工的机床也不断涌现出来,如国产的 ZK9301 型数控喷油钻床,其主轴转速高达 20 000 r/min,可钻 $\phi 0.1 \sim \phi 1.0$ mm 的小孔。

5. 环保化

减少机械加工对环境的污染,使操作者更加安全地工作已成为制造装备行业面临的又一新课题。目前,在数控机床上都装有全防护装置,以防止冷却液和铁屑飞溅,减轻油雾弥漫,降低噪声。在一些较先进的机床上,已采用了新型冷却技术,如采用低温空气代替传统的冷却液,通过废液、废气、废油的再回收利用等,减少对环境的污染;也有的机床采用干式加工技术、负压抽吸技术等新技术,从各方面减少对环境的污染。

(二) 柔性制造系统

柔性制造系统(FMS)是一种具有高自动化程度的制造系统,通常包括 4 台或更多台全自动数控机床,由集中的控制系统及物料搬运系统连接起来,可在不停机的情况下实现多品种、中小批量零件的加工。

随着社会对产品多样化、低制造成本及短制造周期等需求的日趋迫切,柔性制造系统发展将更加迅速,并且由于微电子技术、计算机技术、通信技术、机械与控制设备的发展以及人工智能技术在该领域的应用,柔性制造技术的水平得到了极大提高,它将成为 21 世纪制造业的主要生产模式。

二、机械制造工艺的发展

(一) 切削加工的发展

切削加工是制造技术的主要基础工艺,在未来发展中仍将是汽车、航空航天、能源、军事、模具、电子等制造业重要部门的主要加工手段。因此,随着制造技术的发展,切削加工也将进入以发展超高速切削、开发新的切削工艺和加工方法、提供成套技术为特征的新阶段。

1. 超高速切削

超高速切削加工所用切削速度高于常规 5~10 倍,甚至更多。例如,超高速切削铝合金时 $v = 1\,500 \sim 5\,500$ m/min;切削铸铁时 $v = 750 \sim 4\,500$ m/min,切削普通钢材时 $v = 600 \sim 800$ m/min;超高速切削加工的进给速度 $v_f = 20 \sim 40$ m/min。超高速切削可极大地提高加工效率,降低能源消耗,减少切削时间,从而降低生产成本。超高速切削的发展,要求制造技术的全面进步和进一步创新(包括数控机床、刀具材料、涂层、刀具结构等技术的重大进步),以满足切削速度和进给速度成倍提高的需要。

2. 硬切削

硬切削是用单刃或多刃刀具加工淬硬零件。与传统的磨削加工相比,硬切削具有效率高、柔性好、工艺简单、投资少等优点,目前已在一些生产领域中应用,并取得了较好的效果。如在汽车行业,用立方氮化硼(CBN)刀具加工 20CrMo5 淬硬齿轮(60 HRC)的内孔,代替原来的磨削加工,已成为国内、外汽车行业推广的新工艺;在模具行业用立方氮化硼刀具高速精铣淬硬钢模具,大大减少了模具抛光的工作量,使模具的开发周期显著缩短;在机床行业用立方氮化硼旋风铣刀精加工滚珠丝杠(64 HRC),代替螺纹磨削,用硬质合金滚刀加工淬硬齿轮等都显现出很强的生命力。

3. 干切削

当前,一个以降耗、节能、节材、减废、有利于环境保护和人身健康的、实行清洁安全生产的“绿色工程”已在工业发达国家兴起,实行“绿色工程”,开发“绿色制造技术”是新世纪切削加工发展的重要课题。干切削技术考虑了切削加工中切削液对环境的污染、对操作者健康的伤害,因此得到了迅速发展,目前已出现了微量润滑切削、冷风切削等准干切削新工艺。随着干切削技术的进一步发展,不仅切削加工中的切削液将彻底去掉,而且传统的切削工艺也将发生重大变革,促进刀具材料、涂层、结构等的创新。

(二) 快速成形技术

快速成形技术(Rapid Prototyping)是一种用材料逐层或逐点堆积出制件的新型制造方法。传统切削加工是通过切除多余材料得到所需形状的零件,而快速成形技术是通过材料的迁移和堆积,形成所需要的原型零件的。详细内容见本书第十三章。

三、切削加工刀具的发展

刀具是制造业发展的重要基础。美、德、日等世界制造业发达的国家无一例外都是刀具工业先进的国家。先进刀具不但是推动制造技术发展进步的重要动力,还是提高产品质量、降低加工成本的重要手段。金属切削刀具作为数控机床必不可少的配套工艺装备,在数控加工技术的带动下,已进入“数控刀具”的发展阶段,显示出“三高一专”(即高效率、高精度、高可靠性和专用化)的特点。

1. 刀具材料的发展

长期以来,难加工材料如奥氏体不锈钢、高锰钢、淬硬钢、复合材料、耐磨铸铁等一直是切削加工中的难题,不仅切削效率低,而且刀具寿命短。随着制造业的发展,21 世纪这些材料的用量将迅速增加,加工的矛盾将更加突出。同时,新工程材料的不断问世,也对切削加工提出了新的要求。如在切削加工比较集中的汽车工业,使用硅铝合金制造的发动机、传动器的比例在持续增加,并且已开始引入镁合金和新的高强度铸铁来制造汽车零件,以减轻汽车重量,节约能耗;又如在航空航天工业,钛合金、镍基合金以及超耐热合金、陶瓷等难加工材料的应用比例也呈增加趋势。能否高效加工这些材料,直接关系到我国汽车、航空航天、能源等重要工业部门的发展速度和制造业整体水平,也是对切削技术的最大挑战。

发展新型刀具材料是解决上述问题的有效途径之一。刀具材料发展的主要方向是开发加入增强纤维的陶瓷材料,进一步提高陶瓷刀具材料的性能,以大幅度地提高切削用量;开发应用新的涂层材料,使新的涂层材料能用更韧的基体与更硬的刃口组合,采用更细颗粒,改进涂层与基体的粘合性,提高刀具的可靠性;进一步改进粉末冶金高速钢的制造工艺,扩大应用范围;推广应用金刚石涂层刀具,扩大超硬刀具材料在机械制造业中应用。

2. 新型高效刀具的发展

为批量生产的特定零件和特定加工开发高效专用刀具是刀具发展的又一个重要方向。例如,在汽车行业,已开发了缸孔镗刀、缸体铣刀、曲轴铣刀、曲轴车拉刀和各种组合镗刀等,这些刀具能满足加工特殊零件的需要,具有复合功能,往往能巧妙地实现刀具的附加运动,实现加工空刀槽、背面倒角、锪平面等功能,因此被称为智能化刀具。新型高效刀具的出现既满足了用户的特定要求,又可使产品质量提高,有效减少加工时间,使产品的开发周期大大缩短。

四、先进制造技术的发展现状

先进制造技术是顺应制造业的需求而发展起来的,它是面向工业应用的技术,侧重于对传统制造技术的更新和改造,旨在提高企业在多变的市场环境下的适应能力和竞争能力,且注重技术在工业企业中的推广应用并使其产生最好的实效。先进制造技术打破了传统制造系统中的生产过程的分割和各自为政的局面,目标从提高各个部门的局部效益转变到整体上适应市场需求和提高整体的综合效益。

随着现代制造技术的发展,出现了各种先进制造模式,如并行工程、敏捷制造、现代集成制造、网络化制造、虚拟制造、绿色制造等。这些制造模式有如下特征:具有以提高企业综合效益为目标的系统性;覆盖从产品市场研究到终结处理等制造活动的全过程性;设计与制造技术的集成、多种技术的有机集成、制造技术与管理的集成等多学科集成特性;先进制造技术应用的继承性。

应用先进制造可以实现设计、制造、管理和经营的一体化。例如,美国通用汽车公司应用现代集成制造系统技术,将轿车的开发周期由原来的 48 个月缩短到了 24 个月,碰撞试验的次数由原来的几百次降到几十次,应用电子商务技术降低销售成本 10%;美国 Exxon-Mobil 石油公司应用先进的综合自动化技术后,使企业的效益提高 5%~8%,劳动生产率提高 10%~15%。因此,先进制造已经成为带动制造业发展的重要推动力。

第二章 金属切削原理与刀具



导学

1. 了解常用刀具材料的种类及选用原则。
2. 熟悉掌握刀具在正交平面参考系中的角度,如前角、后角、刃倾角、主偏角的定义。
3. 了解金属切削过程中的各种因素对切削加工质量的影响,学会合理选择刀具结构参数。
4. 了解刀具磨损过程 and 标准,掌握改善刀具磨损的途径。

金属切削刀具是切削加工的重要工具。长期的生产实践表明,刀具是影响切削加工生产率、加工质量与成本的重要因素,特别是在现代制造技术中,刀具的性能对机床性能的发挥更具有决定性的作用。

刀具按设计制造特点可分为两类:一类是标准刀具,即专业厂按国家标准或行业标准生产的刀具,这类刀具具有可转位车刀、麻花钻、铰刀、铣刀、丝锥、板牙、插齿刀、齿轮滚刀等;另一类是非标准刀具,即用户专门设计制造的刀具,如成形车刀、成形铣刀、拉刀、蜗轮滚刀、组合刀具等。按不同的分类方法,刀具还可分为单刃刀具、多刃刀具、成形刀具;整体刀具、镶片刀具;机夹刀具、可转位刀具等。

2.1 刀具材料

刀具材料一般是指刀具切削部分的材料,其性能的优劣是影响加工表面质量、切削效率、刀具寿命的重要因素。因此,金属切削刀具的材料应具备一些独特的性能。

2.1.1 刀具材料的基本性能和种类

刀具切削时,在承受较大切削压力的同时,还与切屑、工件发生剧烈的摩擦,因而产生较大的切削热,使切削温度升高。此外,在切削余量不均匀的表面和断续表面时,刀具还会因受到冲击而产生振动。

一、刀具材料应具备的基本性能

1. 耐磨性和硬度

耐磨性表示材料抗机械摩擦和抗磨料磨损的能力。材料的硬度越高,耐磨性就越好,刀具切削部分抗磨损的能力也就越强。耐磨性取决于材料的化学成分、显微组织。材料组织中硬质点的硬度越高,数量越多,晶粒越细,分布越均匀,耐磨性就越好。此外,刀具材料对工件材料的抗粘附能力越强,耐磨性也越好。一般情况下,刀具材料的硬度应大于工件材料的硬度,刀具材料在室温下硬度应在 60 HRC 以上。

2. 强度和韧性

由于刀具在切削过程中承受较大的切削力、冲击和振动等的作用,因此刀具材料必须具有足够的抗弯强度(σ_{bb})和冲击韧度(a_K),以避免刀具材料在切削过程中产生断裂和崩刃。

3. 耐热性与化学稳定性

耐热性是指刀具材料在高温下保持其硬度、耐磨性、强度和韧性的能力,通常用高温硬度值来衡量,也可用刀具切削时允许的耐热温度值来衡量。耐热性越好的材料允许的切削速度越高。

此外,刀具材料还应具有良好的工艺性和经济性。工具钢应有较好的热处理工艺性,淬火变形小,脱碳层浅及淬透性好;热轧成形刀具应具有较好的高温塑性;需焊接的材料,应有较好的导热性和焊接工艺性;高硬度刀具材料应有较好的磨削加工性能。从经济性角度考虑,刀具材料还应具备资源丰富、价格低廉的特点。

二、刀具材料的类型

当前使用的刀具材料分为四大类:工具钢(包括碳素工具钢、合金工具钢、高速钢)、硬质合金、陶瓷、超硬刀具材料。机械加工中使用最多的是高速钢与硬质合金。

工具钢耐热性差,但抗弯强度高,价格便宜,焊接与刃磨性能好,故广泛用于中、低速切削的成形刀具制造。硬质合金耐热性好,切削效率高,但刀片强度、韧性不及工具钢,焊接刃磨工艺性也比工具钢差,故多用于制作车刀、铣刀及各种高效切削刀具。

各类刀具材料的主要性能如表 2-1 所示。

表 2-1 各类刀具材料的物理力学性能

材料种类		相对密度 /(g/cm ³)	硬度/HRC (HRA) 〔HV〕	抗弯强度 σ_{bb} /GPa	冲击韧度 a_K /(MJ·m ⁻²)	热导率 k /(W·m ⁻¹ · K ⁻¹)	耐热性 /℃	切削速度 大致比值
工具钢	碳素工具钢	7.6~7.8	60~65 (81.2~84)	2.16	—	≈41.87	200~250	0.32~0.4
	合金工具钢	7.7~7.9	60~65 (81.2~84)	2.35	—	≈41.87	300~400	0.48~0.6
	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	1~1.2
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	3.2~4.8
	钨钛钴类	9.35~13.2	(89~92.5)	0.882~1.37	0.002 9~0.006 8	20.9~62.8	900	4~4.8
	含有碳化钨、铌类	—	(~92)	~1.47	—	—	1 000~1 100	6~10
	碳化钛基类	5.56~6.3	(92~93.3)	0.78~1.08	—	—	1 100	6~10
陶瓷	氧化铝陶瓷	3.6~4.7	(91~95)	0.44~0.686	0.004 9~ 0.011 7	4.19~20.93	1 200	8~12
	氧化铝碳化物混合陶瓷			0.71~0.88			1 100	6~10
	氮化硅陶瓷	3.26	〔5 000〕	0.735~0.83	—	37.68	1 300	—

续表

材料种类		相对密度 $/(g/cm^3)$	硬度/HRC (HRA) [HV]	抗弯强度 σ_{bb} /GPa	冲击韧度 a_K $/(MJ \cdot m^{-2})$	热导率 k $/(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$	耐热性 $/^{\circ}C$	切削速度 大致比值
超硬材料	立方氮化硼	3.44~3.49	[8 000~9 000]	≈ 0.294	—	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	≈ 25

注：法定计量单位与旧单位换算关系如下：

$1\text{ kgf/mm}^2 = 9.8 \times 10^6\text{ Pa} = 9.8 \times 10^{-3}\text{ GPa}。$

$1\text{ kg} \cdot \text{m/cm}^2 = 9.8 \times 10^4\text{ J/m}^2 = 9.8 \times 10^{-2}\text{ MJ/m}^2。$

$1\text{ cal}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}) = 4.186\ 8 \times 10^2\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})。$

三、刀体材料

一般刀体均采用普通碳钢或合金钢制作，如焊接车、镗刀的刀杆，钻头、铰刀的刀体等常用 45 钢或 40Cr 制造。尺寸较小的刀具或切削负荷较大的刀具一般宜选用合金工具钢或整体高速钢制作，如螺纹刀具、成形铣刀、拉刀等。

机夹可转位硬质合金刀具、镶硬质合金钻头、可转位铣刀等可用合金工具钢制作，如 9CrSi 或 GCr15 等。对于一些尺寸较小的精密孔加工刀具，如小直径镗、绞刀，为保证刀体有足够的刚度，应选用整体硬质合金制作，以提高刀具的切削用量。

2.1.2 常用刀具材料介绍

一、高速钢

高速钢是含有 W、Mo、Cr、V 等合金元素较多的合金工具钢。高速钢热处理后硬度为 62~66 HRC，抗弯强度约为 33 GPa，耐热性为 600℃左右。它有热处理变形小、能锻造、易磨出较锋利刃口等优点。因其切削性能比碳素工具钢、合金钢有很大的改善，故亦称锋钢，有些磨光的高速钢刀条俗称白钢。高速钢的应用范围很广，使用量约占刀具材料总量的 60%~70%，特别适合于制造各种形状复杂的刀具和精加工刀具，例如各类孔加工刀具、铣刀、拉刀、螺纹刀具、切齿刀具等。

高速钢按基本化学成分分为钨系和钨钼系两大类；按性能可分为普通高速钢（通用型高速钢）和高性能高速钢；按制造工艺方法的不同可分为熔炼高速钢和粉末冶金高速钢。

1. 普通高速钢

这类高速钢应用最为广泛，约占高速钢总量的 75%。碳的质量分数约为 0.7%~0.9%，热稳定性为 615~620℃。

W18Cr4V（钨系高速钢）具有较好的综合性能，刃磨工艺性较好。但是，刀具耐用度、强度和韧性较差，故不宜用来制作大截面的刀具和热轧刀具。此外，由于钨的价格较高，该材料的使用已逐渐减少。

W6Mo5Cr4V2（钨钼系高速钢）是应用最为普通的一种刀具材料。这种材料用一份 Mo 可代替两份 W，减少了钢中的合金元素，使钢中碳化物的数量及分布的不均匀性得到改善。与 W18Cr4V 相比，抗弯强度约提高 30%，冲击韧度约提高 70%，且热塑性及韧性更好，故可用于制

造热轧刀具,如扭槽麻花钻等。

W9Mo3Cr4V(钨钼系高速钢)是根据我国资源状况研制的牌号,高温热塑性好,淬火过热、脱碳敏感性小,有良好的切削性能,而且抗弯强度与韧性均比 W6Mo5Cr4V2 好。

2. 高性能高速钢

高性能高速钢是指在通用型高速钢中添加碳、钒、钴或铝等合金元素的新钢种。常温硬度可达 67~70 HRC,与通用型相比,耐磨性与耐热性都有显著的提高,可用于不锈钢、耐热钢和高强度钢的加工。各类高性能高速钢的典型牌号如表 2-2 所示。

高钒高速钢是将钢中的钒增加到 3%~5%。碳化钒的硬度较高,可达 2 800 HV,材料的耐磨性得到了提高,但同时也使刃磨难度增加了。

钴高速钢的高温硬度和抗氧化能力较好,可使用较高的切削速度;钴的热导率较高,可提高刀具的切削性能。此外,钢中加入钴还可降低摩擦系数,改善磨削加工性。

钴高速钢刀具在加工切削加工性较差的材料时,使用效果显著。如采用 M42 钢加工高温合金和不锈钢时,刀具的耐用度可提高 4~6 倍。

铝高速钢是我国独创的超硬高速钢,典型的牌号是 W6Mo5Cr4V2Al(501)。铝不是碳化物的形成元素,但它能提高 W、Mo 等元素在钢中的溶解度,并可阻止晶粒长大,因此铝高速钢的高温硬度、热塑性与韧性都较好。切削过程中,在切削温度的作用下铝高速钢刀具表面可形成氧化铝薄膜,减轻了与切屑的粘结。501 高速钢的力学性能与切削性能与美国 M42 钴超硬高速钢相当,且价格较低廉。铝高速钢的主要缺点是对热处理工艺要求较高,磨削性能较差。

常用高速钢的牌号及其物理力学性能如表 2-2。

表 2-2 常用高速钢牌号及其物理力学性能

类型	牌 号			硬度/HRC			抗弯强度 σ_{bb}/GPa	冲击韧度 $a_K/(\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2})$
	YB12-77 牌号	美国 AISI 代号	国内有关 厂代号	室温	500 ℃	600 ℃		
普通 高速 钢	W18Cr4V (T1)			63~66	56	48.5	2.94~3.33	0.176~0.314
	W6Mo5Cr4V2 (M2)			63~66	55~56	47~48	3.43~3.92	0.294~0.392
	W9Mo3Cr4V			65~66.5	—	—	4~4.5	0.343~0.392
高 性 能 高 速 钢	高钒	W12Cr4V4Mo (EV4)		65~67	—	51.7	≈ 3.136	≈ 0.245
		W6Mo5Cr4V (M3)		65~67	—	51.7	≈ 3.136	≈ 0.245
	含钴	W6Mo5Cr4V2Co8 (M36)		66~68	—	54	≈ 2.92	≈ 0.294
		W2Mo9Cr4VCo8 (M42)		67~70	60	55	2.65~3.72	0.225~0.294
	含铝	W6Mo5Cr4V2Al (M2Al)(501)		67~69	60	55	2.84~3.82	0.225~0.294
		W10Mo4Cr4V3Al (5F6)		67~69	60	54	3.04~3.43	0.196~0.274
		W6Mo5Cr4V5SiNbAl (B201)		66~68	57.7	50.9	3.53~3.82	0.255~0.265

注:牌号中化学元素后面的数字表示含量的大致百分比,未注者约在 1% 左右。

3. 粉末冶金高速钢

粉末冶金高速钢是通过高压氩气或纯氮气使融熔的高速钢水雾化直接得到细小的高速钢粉末,在高温、高压下压制成形,再经烧结而成的高速钢。粉末冶金高速钢在 20 世纪 60 年代由瑞典首先研制成功,70 年代国产的粉末冶金高速钢开始应用。粉末冶金高速钢具有细小均匀的结晶组织和良好的力学性能,抗弯强度、冲击韧度分别是熔炼高速钢的 2 倍和 2.5~3 倍;热处理变形与应力小,磨制加工时可获得较小的表面粗糙度值和较高的生产率。它主要用来制造精密螺旋车刀、拉刀、切齿刀具以及加工高强度钢、镍基合金、钛合金等难加工材料用的刨刀、钻头、铣刀等刀具。

4. 高速钢刀具的表面涂层

高速钢刀具的表面涂层是采用物理气相沉积(PVD)方法,在刀具表面涂覆 TiN 等硬膜,以提高刀具性能的新工艺。涂层高速钢是一种复合材料,基体是强度、韧性较好的高速钢,表层是高硬度、高耐磨的材料。常用的高速钢刀具的表面涂层材料是 TiN,该材料有较高的热稳定性,与钢的摩擦系数较低,与高速钢基体结合牢固,表面硬度可达 2 200 HV,颜色为金黄色。

除 TiN 涂层外,TiCN、TiAlN 涂层的应用也日益增多,这两种材料特别适用于切削不锈钢、铸铁。

涂层高速钢刀具的切削力、切削温度约下降 25%,切削速度、进给量约可提高 1 倍左右,刀具寿命显著提高。刀具重磨后性能仍优于普通高速钢。目前已在钻头、丝锥成形铣刀、切齿刀具上广泛应用。

二、硬质合金

1. 硬质合金的组成与性能

硬质合金是由硬度和熔点很高的碳化物(硬质相,如 WC、TiC、TaC、NbC 等)和金属(粘结相,如 Co、Ni、Mo 等)通过粉末冶金工艺制成的。

硬质合金的常温硬度达 89~94 HRA,耐热性达 800~1 000 ℃。硬质合金刀具允许的切削速度比高速钢刀具高 5~10 倍,但它的抗弯强度是高速钢的 1/2~1/4,冲击韧度比高速钢低数倍。目前,在我国机械制造企业中,绝大多数的车刀、面铣刀、深孔钻等均已采用硬质合金,但在一些复杂的刀具上硬质合金的应用仍不多。

2. 普通硬质合金的分类、牌号与使用性能

硬质合金按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)。根据 GB 2075—87《切削加工用硬质合金分类、分组代号》的规定,硬质合金按加工对象和切削时排出切屑的形状分为三类:

K 类:适用于加工短切屑的黑色金属(铸铁)、有色金属及非金属材料,以红色为标志。

P 类:适用于加工长切屑的黑色金属(钢),以蓝色为标志。

M 类:适用于加工长切屑或短切屑的黑色金属和有色金属,以黄色为标志。

(1) 钨钴类合金(代号为 YG,属 K 类)

YG 类合金抗弯强度与韧性较高,切削时可减少崩刃现象,但耐热性稍差,因此主要用于加工铸铁、有色金属与非金属材料及加工中有冲击载荷的表面。牌号中的数字表示 Co 的质量分数,Co 含量越高,材料的冲击韧性越好,因此含钴量高的硬质合金适用于粗加工,含钴量低的硬

质合金适用于精加工。

(2) 钨钛钴类合金(代号 YT,属 P 类)

YT 类硬质合金有较高的硬度,特别是有较高的耐热性、较好的抗粘结和抗氧化能力,主要用于加工以钢为代表的塑性材料。牌号中的数字表示 TiC 的质量分数。含 TiC 较多的硬质合金,耐磨性、耐热性好,但强度和韧性差,故适用于精加工。但是,TiC 含量增多,会使合金导热性变差,焊接与刃磨时容易产生裂纹。

(3) 添加钼(钨)类合金(代号 YW,属 M 类)

YW 类硬质合金是在上述两种硬质合金中添加少量其他碳化物,如 TaC 或 NbC 而派生出一类硬质合金。TaC 和 NbC 在合金中主要作用是提高合金的高温硬度与高温强度。该类硬质合金属通用型硬质合金,既适用于加工脆性材料,又适用于加工塑性材料。常用的牌号为 YW1 和 YW2,前者用于半精加工和精加工,后者用于半精加工和粗加工。

常用的各类硬质合金牌号与性能见表 2-3。

表 2-3 常用硬质合金牌号与性能

类型	牌号	质量分数/%					物理力学性能				使用性能			相当于 GB 2075 —87 牌号	
		ω_{WC}	ω_{TiC}	ω_{TaC} (ω_{NbC})	ω_{Co}	其他	相对密 度/(g /cm ³)	热导率/ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	硬度 HRA (HRC)	抗弯强 度/GPa	加工材料 类别	耐 磨 性	韧 性		
钨钴类	YG3	97	—	—	3	—	14.9~ 15.3	87	91(78)	1.08	短切屑 的黑色 金属、有 色金属、 非金属 材料	↑ ↓ ↑ ↓	K 类	K01	
	YG6X	93.5	—	0.5	6	—	14.6~ 15.0	75.55	91(78)	1.37				K05	
	YG6	94	—	—	6	—	14.6~ 15.0	75.55	89.5 (75)	1.42				K10	
	YG8	92	—	—	8	—	14.5~ 14.9	75.36	89(74)	1.47				K20	
	YG8C	92	—	—	8	—	14.5~ 14.9	75.36	88(72)	1.72				K30	
钨钛 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	↑ ↓ ↑ ↓	P 类	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)	1.17				P20	
	YT5	85	5	—	10	—	12.5~ 13.2	62.80	89(74)	1.37				P30	