

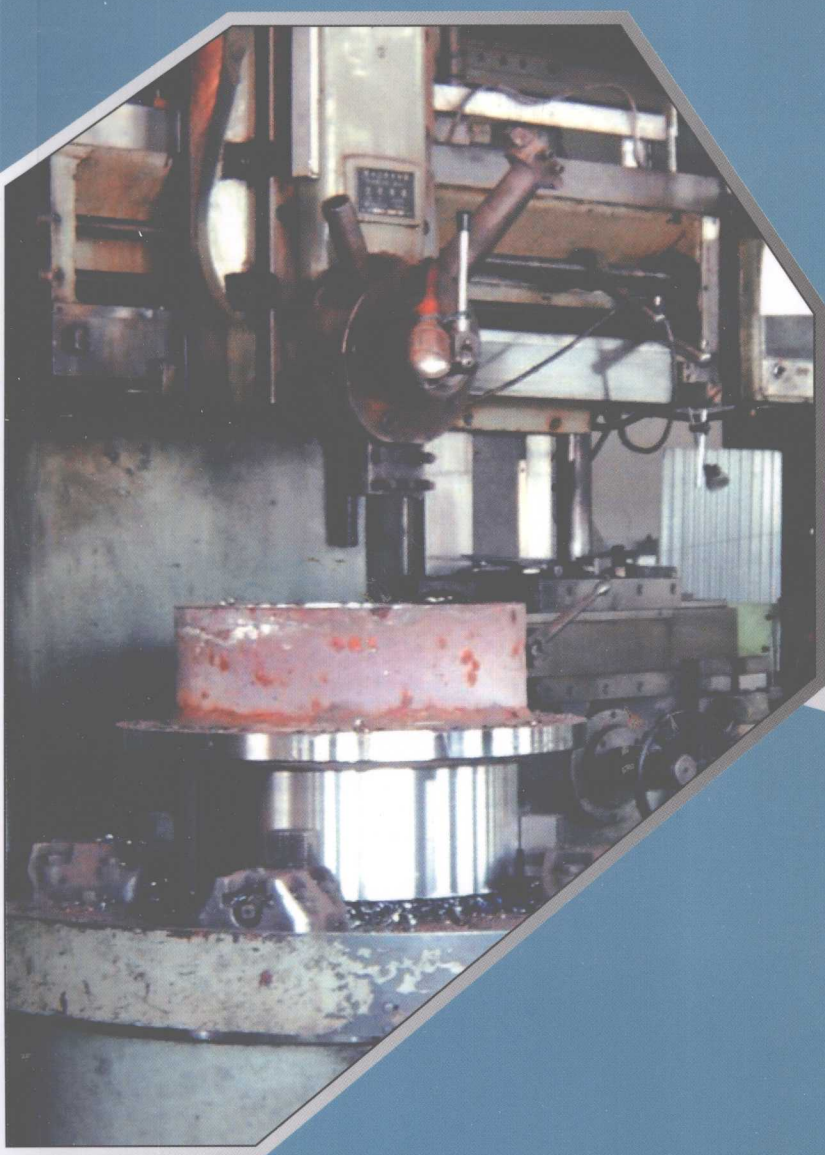


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

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

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

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

内容提要

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;尺寸链及其应用;机床夹具设计方法以及现代机床夹具简介;机械加工质量分析;先进制造技术等。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内容,重点介绍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。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院数控及相关专业的教学用书,也适用于五年制高职、中职相关专业,并可作为社会从业人士的业务参考书及培训用书,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,2008.9

ISBN 978-7-04-024590-5

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第120066号

策划编辑 罗德春 责任编辑 贺玲 封面设计 张申申 责任绘图 朱静
版式设计 余杨 责任校对 朱惠芳 责任印制 韩刚

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 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 廊坊市科通印业有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 27
字 数 660 000

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.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008年9月第1版
印 次 2008年9月第1次印刷
定 价 29.50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 24590-00

前 言

结合职业教育理论的发展和职业教育新的需求,本书编写时本着以培养学生综合职业能力为宗旨,努力贯彻以工作过程为导向、以项目教学为主线、以情境设置为载体的编写方针,突出职业教育的特点,结合高职学生的培养目标,瞄准提高学生综合职业能力这一中心任务,对理论知识的广度和深度进行了合理控制,增加了生产实用知识的比例,删除了过旧过深的内容。

本书的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了整合,从而实现了多门专业课程内容的有机结合。本书的授课学时数为 90 学时。

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,因而有利于解决学生专业知识的综合应用问题。

本着以培养学生能力为本位的思想,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;机床夹具设计基础知识;机械加工工艺规程制定的基础知识。此部分内容为后续切削加工技术知识的学习奠定基础。

第二部分为切削加工技术知识,讲解轴类、套类、箱体零件以及圆柱齿轮的加工,其中包括车床、铣床、镗床、滚齿机、插齿机、磨床、钻床等机床结构特点、加工刀具的选择、机床调整、夹具设计等内容。并通过对不同复杂程度的典型零件的加工工艺分析,使学生由浅入深地学习,掌握各种零件的加工方法和工艺特点,是综合职业能力培养和训练的核心内容。此外,考虑到数控机床的应用日益广泛,特别增加了数控机床加工方法一章,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、新方法和现代制造技术,介绍最新制造技术,如快速成形技术、柔性制造、虚拟制造、绿色制造等,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。

本书由北京电子科技职业学院龚雯和陈则钧任主编,长治职业技术学院彭林中任副主编。具体编写分工如下:第一、二、三、四、六、七章由龚雯编写;第五章由陈则钧编写;第八、十章由彭林中编写;第九、十二章由北京电子科技职业学院戴文玉编写;第十一章由北京电子科技职业学院王勤编写。

哈尔滨理工大学司乃钧教授和哈尔滨工业大学施平教授审阅了本书,在此表示诚挚的谢意。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

2008 年 8 月

目 录

第一章 绪论	1	第六章 套筒类零件加工	215
第二章 金属切削原理与刀具	6	第一节 概述	215
第一节 刀具材料	6	第二节 钻床	216
第二节 刀具几何角度及其标注方法	12	第三节 常用孔加工刀具	218
第三节 切削运动与切削用量	18	第四节 钻床夹具设计	229
第四节 金属切削过程	20	第五节 套筒类零件加工工艺分析	236
第五节 切削基本理论的应用	31	复习思考题	242
第六节 刀具磨损与寿命	46	第七章 箱体零件加工	243
复习思考题	51	第一节 概述	243
第三章 机床夹具设计基础知识	53	第二节 铣床	246
第一节 概述	53	第三节 铣刀	255
第二节 工件在夹具中的定位	55	第四节 铣床夹具设计	262
第三节 工件的夹紧	72	第五节 铣削加工方法	266
第四节 专用夹具设计方法	83	第六节 镗削加工及镗刀	271
第五节 现代机床夹具	87	第七节 镗床夹具设计	278
复习思考题	95	第八节 箱体零件加工工艺分析	285
第四章 机械加工工艺规程的制定	99	复习思考题	290
第一节 机械加工工艺规程制定的准备 工作	99	第八章 圆柱齿轮加工	292
第二节 零件机械加工工艺规程的制定	109	第一节 齿轮零件的结构特点与技术要求	292
第三节 工艺尺寸链	124	第二节 齿轮齿形加工	293
第四节 提高劳动生产率的工艺途径	131	第三节 齿形精整加工方法	304
第五节 机械加工工艺规程制定实例	135	第四节 圆柱齿轮加工工艺过程分析	308
第六节 成组技术	141	复习思考题	313
复习思考题	152	第九章 数控机床加工	314
第五章 轴类零件加工	155	第一节 数控机床工具系统	314
第一节 概述	155	第二节 数控机床附件	320
第二节 车床	157	第三节 数控机床的加工工艺	323
第三节 车刀选择	175	第四节 典型零件数控加工工艺分析	337
第四节 车床夹具	181	复习思考题	342
第五节 车削加工方法	186	第十章 机械加工质量分析	343
第六节 磨床	192	第一节 概述	343
第七节 砂轮	199	第二节 机械加工精度	346
第八节 轴类零件加工工艺及其分析	202	第三节 机械加工表面质量	371
复习思考题	213	第四节 机械加工中的振动	375
		复习思考题	380

第十一章 机械装配工艺基础	382	第二节 精密与超精密加工	407
第一节 概述	382	第三节 快速成形制造技术	411
第二节 装配工艺规程设计	387	第四节 柔性制造系统	415
第三节 装配尺寸链	389	第五节 虚拟制造	418
第四节 装配自动化	397	第六节 绿色制造	419
复习思考题	399	复习思考题	421
第十二章 先进制造技术	401	参考文献	422
第一节 特种加工	401		

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,而机械制造技术是现代化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技水平的最重要标志,成为一个国家在竞争激烈的国际市场上获胜的关键因素。

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了提高。

一、制造装备的发展

(一) 机床的发展趋势

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。

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。如美国 CINCINNATI 公司的 HyperMach 机床最大进给速度可达 60 m/min,快速时为 100 m/min,主轴转速可达 60 000 r/min,加工一薄壁飞机零件,只需 30 min。而同样的零件用一般高速铣床加工需 3 h,用普通铣床加工需 8 h。国内生产的高速卧式加工中心,其主轴转速也达到了 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,普通级数控机床的加工精度已由 10 μm 提高到 5 μm ,精密级加工中心的加工精度则从 3 ~ 5 μm 提高到 1 ~ 1.5 μm ,并且超精密加工精度已开始进入纳米级 (0.001 μm)。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 8 μm ,重复定位精度达 5 μm 。

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 $\phi 120$ mm,磨削外圆 $\phi 20 \sim \phi 120$ mm。瑞士生产的 S21lean CNC 外圆磨床,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,在一次装夹中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;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,万能性强。

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、五轴联动的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,主轴转速高达 20 000 r/min,可钻 $\phi 0.1 \sim \phi 1.0$ mm 的小孔。

数控装备的智能化程度不断提高,主要体现在:追求加工效率和加工质量方面的智能化,如加工过程的自适应控制、工艺参数自动生成;提高驱动性能及使用连接方便的智能化,如前馈控制、电机参数的自适应运算、自动识别负载自动选定模型、自整定等;简化编程、简化操作方面的智能化,如智能化的自动编程、智能化的人机界面等;还有智能诊断、智能监控方面的内容,方便系统的诊断及维修等。

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、负压抽吸等新技术,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 世纪机械制造业的主要生产模式。

二、机械制造工艺的发展

(一) 切削加工技术的发展

切削加工是制造技术的主要基础工艺,在未来发展中它仍将是汽车、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。如超高速切削普通钢和铸铁时, $v = 500 \sim 2\,000$ m/min(钻、铰削时, $v = 100 \sim 400$ m/min;攻螺纹时, $v = 100$ m/min;滚齿时, $v = 300 \sim 600$ m/min);切削淬硬钢(55 ~ 65 HRC)时, $v = 100 \sim 400$ m/min;切削铝合金时, $v = 3\,000 \sim 4\,000$ m/min;切削高硅铝合金时, $v = 500 \sim 1\,500$ m/min;切削镍基、钴基、铁基和钛合金等超级合金时, $v = 90 \sim 500$ m/min。

超高速加工追求的切削速度目标如下。

铣削加工:铝及其合金为 10 000 m/min,铸铁为 5 000 m/min,普通钢为 2 500 m/min;

钻削加工(机床主轴转速):铝及其合金为 30 000 r/min,铸铁为 20 000 r/min,普通钢为 10 000 r/min;

大进给目标:进给速度 $v_f = 20 \sim 50$ m/min,每齿进给量为 $1.0 \sim 1.5$ mm/z。

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求。

2. 硬态切削

硬态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,硬态切削具有效率高、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(60 HRC)齿轮的内孔,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. 干式切削

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。干式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。随着干式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,形成所需的原型零件。其详细内容见本书第十二章。

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技术先进的国家。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”(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、传动箱的比例在持续增加,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,降低能耗;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。当前刀具材料的发展有两个重要的趋势:一是硬质合金刀具应用范围继续扩大,碳氮化钛基硬质合金(金属陶瓷)、超细颗粒硬质合金、梯度结构硬质合金及硬质合金与高速钢两种粉末复合的材料等将代替相当一部分高速钢刀具,包括钻头、立铣刀、丝锥等简单通用刀具和齿轮滚刀、拉刀等精密复杂刀具,使这一类刀具的切削速度有很大的提高。硬质合金将在刀具材料中占主导地位,覆盖大部分常规的加工领域。二是超硬刀具材料的使用将明显增加,随着立方氮化硼(CBN)韧性的进一步改善,它在切削刀具中的比例将有显著的提高。聚晶金刚石(PCD)和单晶金刚石是精密加工有色金属、陶瓷、玻璃、石墨等非金属材料最佳的刀具。随着汽车、航空航天、电子、军工等部门对这些材料需求的增加,PCD 的应用也将更加广泛。

2. 涂层技术的开发应用

刀具涂层技术自从问世以来,对刀具性能的改善和加工技术的进步起着非常重要的作用,涂层刀具已经成为现代刀具的标志,在刀具中的比例已超过 50%。在 21 世纪初,涂层刀具的比例将进一步增加,有望在技术上突破立方氮化硼(CBN)涂层技术,并且实用化,使 CBN 的优良性能在精密复杂刀具和成形刀具等更多的刀具中得到应用,全面提高加工黑色金属的切削水平。此外,纳米级超薄、超多层涂层和氮化碳等新型涂层材料的开发应用速度将加快,涂层将成为改善刀具性能的主要途径。

3. 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、总平面等功能。

带有光电传感、测量和伺服补偿机构的智能化刀具,可根据测量结果自动调节刀具尺寸,分辨率达 0.002 mm。如一种在刀具里集成三个加速度传感器的铣刀,可实时采集切削过程信息,经数控系统处理后,使机床始终保持在最佳状态。这些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,其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。

应用先进制造技术可以实现设计、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 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,先进制造技术已经成为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. 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。

第一节 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。

一、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。

1. 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。刀具材料对工件材料的抗粘附能力越强,耐磨性也越好。一般刀具材料的硬度应大于工件材料的硬度,其室温下硬度应在 60 HRC 以上。

(2) 强度和韧度

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,脱炭层浅及淬透性好;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。

2. 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 /[$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]	耐热性 /℃
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	0.002 9 ~ 0.006 8	20.9 ~ 62.8	900
	含有碳化钨、铌类	—	(~92)	~1.47	—	—	1 000 ~ 1 100
	碳化钛基类	5.56 ~ 6.3	(92 ~ 93.3)	0.78 ~ 1.08	—	—	1 100
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
	氧化铝碳化物混合陶瓷			0.71 ~ 0.88			1 100
	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/m ²)	热导率 k /[W/(m·K)]	耐热性 /℃
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

注：法定计量单位与旧单位换算关系如下：

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

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

$$1 \text{ cal}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}) = 4.1868 \times 10^2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})。$$

3. 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、铰刀，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。

二、常用刀具材料介绍

1. 高速钢

高速钢是含有钨、钼、铬、钒(W、Mo、Cr、V)等合金元素较多的合金工具钢，它具有热处理变形小、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，其使用量占刀具材料总量的 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。

高速钢按其基本化学成分分为钨系和钨钼系两大类；按其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。

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

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，其耐磨性与耐热性均比普通高速钢有显著提高，可用于不锈钢、耐热钢和高强度钢的加工。

用粉末冶金方法制造高速钢，可消除碳化物偏析，提高钢的硬度和韧度，钒含量高时亦能较好地刃磨。粉末高速钢的切削性能优于熔炼高速钢，主要用来制造精密螺纹车刀、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。

在高速钢的基体上，用物理气相沉积(PVD)法涂覆耐磨材料薄层（如 TiN、TiAlN 等），可显著提高刀具寿命和加工表面质量，降低切削力。这种涂层高速钢刀具已得到广泛应用。涂层高速

钢刀具的切削力、切削温度约下降 25%，切削速度、进给量可提高 1 倍左右，刀具寿命显著提高。

常用高速钢的牌号及其物理力学性能如表 2-2 所示。

表 2-2 常用高速钢的性能及用途

类 型	牌 号			硬度/HRC			抗弯强度 σ_{bb} /GPa	冲击韧度 α_K /(J/cm ²)	用 途	刃磨性能
	YB12-7 7 牌号	美国 AISI 代号	国内有 关厂代号	室温	500 °C	600 °C				
普通高速钢	W18Cr4V(T1)(18-4-1)			63~66	56	48.5	2.94~3.33	17.6~31.4	各种铣刀	好
	W6Mo5Cr4V2(M2)(6-5-4-2)			63~66	55~56	47~48	3.43~3.92	29.4~39.2	热轧刀具及尖齿铣刀	较好
	W14Cr4VMnRE			64~66	—	50.5	≈3.92	≈24.5	热轧刀具	较好
高性能高速钢	高钒	W12Cr4V4Mo(EV4)(12-4-4-1)		65~67	—	51.7	≈3.136	≈24.5	对耐磨性要求高但形状简单的铣刀	较差
		W6Mo5Cr4V3(M3)(6-5-4-3)		65~67	—	51.7	≈3.136	≈24.5	对耐磨性要求高但形状简单的铣刀	
	含钴	W6Mo5Cr4V2Co8(M36)		66~68	—	54	≈2.92	≈29.4	加工高温合金、不锈钢等难加工材料的铣刀	较好
		W2Mo9Cr4VCo8(M42)(2-9-4-1-8)		67~70	60	55	2.65~3.72	22.5~29.4		
	含铝	W6Mo5Cr4V2Al(M2Al)(501)		67~69	60	55	2.84~3.82	22.5~29.4	可进行渗氮，以提高硬度，用于耐磨性要求高但形状简单的铣刀	较差
		W10Mo4Cr4V3Al(5F6)		67~69	60	54	3.04~3.43	19.6~27.4		
		W6Mo5Cr4V5SiNbAl(B201)		66~68	57.7	50.9	3.53~3.82	25.5~26.5		
	含氮	W12Mo3Cr4V3N(V3N)		67~70	61	55	1.96~3.43	14.7~39.2	对耐磨性要求高但形状简单的铣刀	差

2. 硬质合金

(1) 普通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。

硬质合金分为四类:钨钴系列(K 类,YG 类)、钨钛钴系列(P 类,YT 类)、通用系列(M 类,YW 类)及碳化钛基系列(TiC + WC + Ni + Mo)。常用的硬质合金牌号与性能见表 2-3。

表 2-3 常用硬质合金的牌号与性能

类 型	牌 号	GB/T 2075—87	抗弯强度 /GPa	抗压强度 /MPa	硬 度 /HRA	主 要 用 途
钨钴类 (K 类)	YG3	K01	1 100	5.4 ~ 5.63	91.5	用于铸铁、有色金属及其合金的精加工和半精加工,要求无冲击
	YG6X	K05	1 400	4.7 ~ 5.1	91	用于铸铁、冷硬铸铁、高温合金精加工和半精加工
	YG6	K10	1 450	4.6	89.5	用于铸铁、有色金属及其合金的精加工和半精加工
	YG8	K20	1 500	4.47	89	用于铸铁、有色金属及其合金的粗加工
	YG10H	K30	2 200	—	91.5	用于高强度钢、耐热钢等难加工材料的加工
钨钛钴类 (P 类)	YT30	P01	900	—	92.5	用于碳素钢、合金钢的精加工
	YT15	P10	1 150	3.9	91	用于碳素钢、合金钢的粗加工和半精加工,也可用于精加工
	YT14	P20	1 200	4.2	90.5	
	YT5	P30	1 400	4.6	89.5	用于碳素钢、合金钢的粗加工
添加钼 (钼)类 (KM 类)	YG6A (YA6)	K10	1 400	—	91.5	用于冷硬铸铁、有色金属及其合金的半精加工,也可用于高锰钢、淬火钢的半精加工和精加工

续表

类 型	牌 号	GB/T 2075—87	抗弯强度 /GPa	抗压强度 /MPa	硬 度 /HRA	主 要 用 途
添加钼 (钨)类 (KM类)	YG8A	K25	1 500	—	89.5	用于铸铁、有色金属及其合金的精加工和半精加工
	YW1	M10	1 200	—	91.5	用于不锈钢、高强度钢、铸铁的半精加工和精加工
	YW2	M20	1 350	—	90.5	用于不锈钢、高强度钢、铸铁的半精加工和粗加工
碳化钛基 类 (P类)	YN05	P01.1	950	—	93.3	用于低碳钢、中碳钢、合金钢的高速切削,要求无冲击
	YN10	P01	1 100	—	92	用于碳钢、合金钢、工具钢、淬硬钢精加工,要求无冲击

注: 1. 牌号含义: Y—硬质合金; G—钴; T—钛; W—通用合金; N—不含钴, 用镍作粘结剂的合金。

2. 牌号后的字母 C 表示粗颗粒合金; X 表示细颗粒(1.5 μm 左右)合金; H 表示超细颗粒(0.1~1 μm)合金。

3. 牌号中 A 表示含 TaC(NbC)的 YG 类合金。

4. K 类硬质合金牌号中的数字表示 Co 的质量分数; P 类硬质合金牌号中的数字表示 TiC 的质量分数。

(2) 涂层硬质合金

涂层硬质合金是在硬质合金上涂覆一层或多层(5~13 μm)的难溶金属碳化物。涂层硬质合金有较好的综合性能,基体强度韧性好,表面耐磨、耐高温,但其锋利程度与抗崩刃性不及普通硬质合金,因此多用于普通钢材的精加工或半精加工。

涂层材料主要有 TiC、TiN 及其复合材料。

TiC 涂层呈银白色,具有很高的硬度与耐磨性,切削时很少产生积屑瘤, TiC 涂层硬质合金刀具的切削速度比不涂层刀具可提高 40% 左右,适合于精车。其缺点是线膨胀系数与基体差别较大,易与基体形成脆弱的脱碳层,降低了刀具的抗弯强度。在重切削、加工带夹杂物的工件时,涂层易崩裂。

TiN 涂层在高温时能形成氧化膜,刀片抗月牙洼和抗后刀面磨损能力比 TiC 涂层刀片强,切削钢和易粘刀的材料时可获得小的表面粗糙度值,刀具寿命较高。缺点是与基体结合强度不及 TiC 涂层,而且涂层厚时易剥落。

TiC - TiN 复合涂层: 第一层涂 TiC, 与基体粘结牢固不易脱落; 第二层涂 TiN, 减少刀具与工件的摩擦。

TiC - Al_2O_3 - TiN 复合涂层: 第一层涂 TiC, 与基体粘结牢固不易脱落; 第二层涂 TiN 起到隔