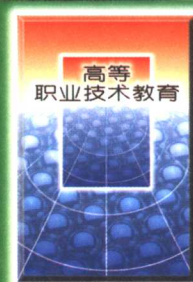




高等职业技术教育机电类专业规划教材

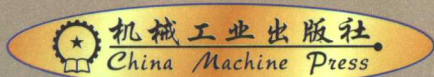


数控机床 加工工艺

高等职业技术教育机电类专业教材编委会 组编

华茂发 主 编

唐 健 副主编



本书是根据“97 机械工业部高等职业技术教育机电类专业教材建设研讨会”提出的写作大纲的要求组织编写的规划教材。

全书共分七章,内容包括:数控加工的切削基础、工件在数控机床上的装夹、数控加工的工艺基础、数控车削加工工艺、数控铣削加工工艺、加工中心加工工艺及数控线切割加工工艺。

全书以数控机床加工工艺为主体,以常规的制造技术为基础,系统地介绍了数控机床加工工艺的基础知识和基本理论。内容丰富,详简得当,实用性强。既有理论又有实例,并附有习题,内容体系符合教学规律。

本书可作为高等职业技术学院数控技术应用专业和机电专业的教学用书,也可供相近专业的师生和从事相关工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床加工工艺/华茂发主编. —北京:机械工业出版社, 2000
高等职业技术教育机电类专业规划教材
ISBN 7-111-08172-2

I. 数… II. 华 III. 数控机床-加工-高等教育-技术教育-教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 65181 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:高文龙 孙淑卿 版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000 年 10 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·13.25 印张·328 千字

0 001—4000 册

定价:18.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、68326677—2527

高等职业技术教育机电类专业教材编委会

名誉主任委员 严雪怡 刘际远

主任委员 上海电机技术高等专科学校 孙兴旺 副校长

副主任委员 福建高级工业专门学校 黄森彬 副校长

南京机械高等专科学校 左健民 副校长

陕西工业职业技术学院 翟 轰 校 长

湘潭机电高等专科学校 曾家驹 副校长

包头职业技术学院 李俊梅 副校长

无锡职业技术学院 韩亚平 调研员

浙江机电职工大学 管 平 副校长

机械工业出版社教材编辑室 林 松 副主任

(排名不分先后)

委员单位：邢台职业技术学院

湖南工业职业技术学院

(等 26 所院校)

序

职业教育指受教育者获得某种职业或生产劳动的职业道德、知识和技能的教育。机电行业的职业技术教育是培养在生产一线的技术、管理和运行人员。他们主要从事成熟的技术和管理规范的应用与运作。随着社会经济的发展和科学技术的进步,生产领域的技术含量在不断提高。用人单位要求生产一线的技术、管理和运行人员的知识与能力结构与之适应。行业发展的要求促使职业技术教育的高层次——高等职业教育蓬勃成长。

高职教育与高等工程专科、中专教育培养的人才属同一类型,都是技术型人才,毕业生将就业于技术含量不同的用人单位。高等职业教育的专业设置必须适应地区经济与行业的需求。高等职业教育是能力岗位教育,应以职业分析入手,按岗位群职业能力来确定课程设置与各种活动。

机械工业出版社出版了大量的本科、高工专、中专教材,其中有相当一批教材符合高等职业教育的需求,具有很强的职业教育特色,在此基础上这次又推出了机械类、电气类、数控类三个高职专业的高职教材。

专门课课程的开发应遵循适当综合化与适当实施化。综合化有利于破除原来各课程的学科化倾向,删除与岗位群职业能力关系不大的内容;有利于删除一些陈旧的内容,增添与岗位群能力所需要的新技术、新知识,如微电子技术、计算机技术等。实施化是课程内容要按培养工艺实施与运行人员的职业能力来阐述,将必要的知识支撑点溶于能力培养的过程中,注重实践性教学,注重探索教学模式以达到满意的教学效果。

本教材倾注了众多编写人员的心血,他们为探索我国机电行业高职教育作出了可贵的尝试。今后还要依靠广大教师在实践中不断改进,不断完善,为创建我国的职业技术教育体系而奋斗。

赵克松

前 言

本书是根据“97 机械工业部高等职业技术教育机电类专业教材建设研讨会”提出的编写大纲和“97 机械工业部高等职业教育四门数控类教材编写会议”审定的教材编写大纲组织编写的,并被确定为高等职业技术教育机电类规划教材之一。可供五年制初中毕业生或三年制高中毕业生使用。本书也适用于高等专科学校、职工大学、业余大学、中等专业学校师生,同时可供有关工程技术人员参考。

本书由金属切削刀具、机床夹具、常规机械加工工艺和数控机床加工工艺四部分组成。全书共分为七章,第一章为数控加工的切削基础,第二章为工件在数控机床上的装夹,第三章为数控加工的工艺基础,第四章为数控车削加工工艺,第五章为数控铣削加工工艺,第六章为加工中心的加工工艺,第七章为数控线切割加工工艺。全书以数控加工为主体,以常规的制造技术为基础,系统地介绍了数控机床加工工艺的基础知识和基本理论。内容丰富,详简得当,实用性强。既有理论又有实例,内容体系符合教学规律。各章均附有习题,供教学参考。

本书由华茂发任主编,唐健任副主编。其中绪论、第三章、第六章由南京工程学院华茂发编写,第一章由华茂发和重庆机器制造学校唐健编写,第二章由华茂发和福建高级工业专门学校陈益严编写,第四章由九江船舶工业学校刘越编写,第五章由唐健编写,第七章由陈益严编写。全书由华茂发负责统稿和定稿。

本书由南京航空航天大学陈绍廉教授主审,对原稿进行了详细审阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

限于编者的水平和经验,书中欠妥和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2000 年元月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 数控加工的切削基础	4
第一节 概述	4
第二节 金属切削过程基本规律及其应用	11
第三节 金属材料的切削加工性	20
第四节 刀具几何参数的合理选择	21
第五节 切削用量及切削液的选择	27
习 题	29
第二章 工件在数控机床上的装夹	31
第一节 机床夹具概述	31
第二节 工件的定位	32
第三节 定位基准的选择	34
第四节 常见定位方式及定位元件	38
第五节 定位误差	42
第六节 工件的夹紧	45
习 题	50
第三章 数控加工的工艺基础	53
第一节 基本概念	53
第二节 机械加工工艺规程的制订	56
第三节 加工余量的确定	70
第四节 工序尺寸及其公差的确 定	73
第五节 机械加工精度及表面质量	78
第六节 轴类零件的加工	82
第七节 箱体类零件的加工	90
习 题	97
第四章 数控车削加工工艺	100
第一节 数控车削的主要加工对象	100
第二节 数控车削加工工艺的制订	101
第三节 典型零件的数控车削加工工艺分析	112
习 题	121
第五章 数控铣削加工工艺	123
第一节 数控铣削的主要加工对象	123
第二节 数控铣削加工工艺的制订	124
第三节 典型零件的数控铣削加工工艺分析	140
习 题	147
第六章 加工中心的加工工艺	149
第一节 加工中心的工艺特点	149
第二节 加工中心的主要加工对象	149
第三节 加工中心加工工艺方案的制订	151
第四节 典型零件的加工中心加工工艺分析	173
习 题	186
第七章 数控线切割加工工艺	188
第一节 数控线切割加工原理、特点及应用	188
第二节 影响数控线切割加工工艺指标的主要因素	189
第三节 数控线切割加工工艺的制订	191
第四节 典型零件的数控线切割加工工艺分析	201
习 题	204
参考文献	206

绪 论

一、数控加工在机械制造业中的地位和作用

随着科学技术的发展,机械产品结构越来越合理,其性能、精度和效率日趋提高,更新换代频繁,生产类型由大批大量生产向多品种小批量生产转化。因此,对机械产品的加工相应地提出了高精度、高柔性 with 高度自动化的要求。

大批大量的产品,如汽车、拖拉机与家用电器的零件,为了解决高产、优质的问题,多采用专用的工艺装备、专用自动化机床或专用的自动生产线和自动车间进行生产。但是应用这些专用生产设备进行生产,生产准备周期长,产品改型不易,因而使产品的开发周期增长。在机械产品中,单件与小批量产品占到 70%~80%,这类产品一般都采用通用机床加工,当产品改变时,机床与工艺装备均需作相应的变换和调整,而且通用机床的自动化程度不高,基本上由人工操作,难以提高生产效率和保证产品质量。特别是一些曲线、曲面轮廓组成的复杂零件,只能借助靠模和仿形机床,或者借助划线和样板用手工操作的方法来加工,加工精度和生产效率受到很大的限制。

由于数控机床综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等方面的技术成果,具有高柔性、高精度与高度自动化的特点,因此,采用数控加工手段,解决了机械制造中常规加工技术难以解决甚至无法解决的单件、小批量、特别是复杂型面零件的加工。应用数控加工技术是机械制造业的一次技术革命,使机械制造业的发展进入了一个新的阶段,提高了机械制造业的制造水平,为社会提供了高质量、多品种及高可靠性的机械产品。目前应用数控加工技术的领域已从当初的航空工业部门逐步扩大到汽车、造船、机床、建筑等民用机械制造业,并已取得了巨大的经济效益。

二、数控加工的发展

1. 数控机床的发展 自 1952 年第一台数控铣床在美国诞生以来,随着电子技术、计算机技术、自动控制和精密测量技术的发展,数控机床得到迅速的发展和更新换代。

数控机床的发展先后经历了电子管(1952 年)、晶体管(1959 年)、小规模集成电路(1965 年)、大规模集成电路及小型计算机(1970 年)和微处理机或微型计算机(1974 年)等五代数控系统。前三代系统采用专用电子线路实现的硬件式数控系统,一般称为普通数控系统,简称 NC。第四代和第五代系统是采用微处理器及大规模或超大规模集成电路组成的软件式数控系统,称为现代数控系统,简称 CNC(第四代)和 MNC(第五代)。由于现代数控系统的控制功能大部分由软件技术来实现,因而使硬件进一步得到了简化,系统可靠性提高,功能更加灵活和完善。目前现代数控系统几乎完全取代了以往的普通数控系统。

随着数控系统的不断更新换代,数控机床的品种也得以不断地发展,产量也不断地提高。目前,世界数控机床的品种已超过 1500 种,几乎所有品种的机床都实现了数控化。数控机床的年产量近 15 万台,产值超过 200 亿美元,数控机床总拥有量达到 100 万台以上。

我国数控机床的研制始于 1958 年,由清华大学研制出了最早的样机。1966 年我国诞生了第一台用直线—圆弧插补的晶体管数控系统。1970 年初研制成功集成电路数控系统。1980

年以来,通过研究和引进技术,我国数控机床发展很快,现已掌握了5~6轴联动、螺距误差补偿、图形显示和高精度伺服系统等多项关键技术。目前已有几十个单位在从事不同层次的数控机床的生产和开发,形成了具有小批量生产能力的生产基地。数控机床的品种已超过500种,其中金属切削机床品种的数控化率达20%。

2. 自动编程系统的发展 在上世纪50年代后期,美国首先研制成功了APT (Automatically Programmed Tools) 系统。由于它具有语言直观易懂、制带快捷、加工精度高等优点,很快就成为广泛使用的自动编程系统。到了上世纪60年代和70年代,又先后发展了APTⅢ和APTⅣ系统,主要用于轮廓零件的编程,也可以用于点位加工和多坐标数控机床程序的编制。APT语言系统很庞大,需要大型通用计算机,不适用于中小用户。为此,还发展了一些比较灵活、针对性强的可用小型计算机的自动编程系统,如用于两坐标轮廓零件编程的ADAPT系统等。

在西欧和日本,也在引进美国技术的基础上发展了各自的自动编程系统,如德国的EXAPT系统、法国的IFAPT系统、英国的2CL系统以及日本的FAPT和HAPT系统等。

我国的自动编程系统发展较晚,但进步很快,目前主要有用于航空零件加工的SKC系统以及ZCK、ZBC和用于线切割加工的SKG等系统。

3. 自动化生产系统的发展 随着CNC技术、信息技术、网络技术以及系统工程学的发展,为单机数控化向计算机控制的多机制造系统自动化发展创造了必要的条件,在上世纪60年代末期出现了由一台计算机直接管理和控制一群数控机床的计算机群控系统,即直接数控系统DNC (Direct NC),1967年出现了由多台数控机床联接成可调加工系统,这就是最初的柔性制造系统FMS (Flexible Manufacturing System)。上世纪80年代初又出现以1~3台加工中心或车削中心为主体,再配上工件自动装卸的可交换工作台及监控检验装置的柔性制造单元FMC (Flexible Manufacturing Cell)。近10多年来FMC、FMS发展迅速,在1989年第八届欧洲国际机床展览会上,展出的FMS超过200条。目前,已经出现了包括生产决策、产品设计及制造和管理等全过程均由计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统CIMS (Computer Integrated Manufacturing System),以实现工厂自动化。自动化生产系统的发展,使加工技术跨入了一个新的里程,建立了一种全新的生产模式。我国已开始在这方面进行了探索与研制,并取得可喜的成果,已有一些FMS和CIMS成功地用于生产。

三、数控加工的特点

同常规加工相比,数控加工具有如下的特点:

(1) 自动化程度高 在数控机床上加工零件时,除了手工装卸工件外,全部加工过程都由机床自动完成。在柔性制造系统上,上下料、检测、诊断、对刀、传输、调度、管理等也都由机床自动完成,这样减轻了操作者的劳动强度,改善了劳动条件。

(2) 加工精度高,加工质量稳定 数控加工的尺寸精度通常在0.005~0.1mm之间,目前最高的尺寸精度可达 $\pm 0.0015\text{mm}$,不受零件形状复杂程度的影响,加工中消除了操作者的人为误差,提高了同批零件尺寸的一致性,使产品质量保持稳定。

(3) 对加工对象的适应性强 数控机床上实现自动加工的控制信息是加工程序。当加工对象改变时,除了相应更换刀具和解决工件装夹方式外,只要重新编写并输入该零件的加工程序,便可自动加工出新的零件,不必对机床作任何复杂的调整,这样缩短了生产准备周期,给新产品的研制开发以及产品的改进、改型提供了捷径。

(4) 生产效率高 数控机床的加工效率高,一方面是自动化程度高,在一次装夹中能完成较多表面的加工,省去了划线、多次装夹、检测等工序;另一方面是数控机床的运动速度高,空行程时间短。目前,数控车床的主轴转速已达到 $5000 \sim 7000 \text{r/min}$,数控高速磨削的砂轮线速度达到 $100 \sim 200 \text{m/s}$,加工中心的主轴转速已达到 $20000 \sim 50000 \text{r/min}$,各轴的快速移动速度达到 $18 \sim 24 \text{m/min}$ 。

(5) 易于建立计算机通信网络 由于数控机床是使用数字信息,易于与计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)系统联接,形成计算机辅助设计和制造与数控机床紧密结合的一体化系统。

当然,数控加工在某些方面也有不足之处,这就是数控机床价格昂贵,加工成本高,技术复杂,对工艺和编程要求较高,加工中难以调整,维修困难。为了提高数控机床的利用率,取得良好的经济效益,需要切实解决好加工工艺与程序编制、刀具的供应、编程与操作人员的培训等问题。

四、数控机床加工工艺研究的内容及任务

数控机床加工工艺是以数控机床加工中的工艺问题为研究对象的一门加工技术。它以机械制造中的工艺基本理论为基础,结合数控机床的特点,综合运用多方面的知识解决面临的数控加工中的工艺问题。

数控机床加工工艺的内容包括金属切削和加工工艺的基本知识和基本理论、金属切削刀具、典型零件加工及工艺分析等。数控机床加工工艺研究的宗旨是,如何科学地、最优地设计加工工艺,充分发挥数控机床的特点,实现在数控加工中的优质、高产、低耗。

数控机床加工工艺是数控技术应用专业和机电类专业的主要专业课之一。通过本课程的学习,应基本掌握数控加工的金属切削及加工工艺的基本知识和基本理论;学会选择机床、刀具、夹具及零件表面的加工方法;掌握数控加工工艺设计方法;通过有关教学环节的配合,初步具有制订中等复杂程度零件的数控机床加工工艺和分析解决生产中一般工艺问题的能力。

五、数控机床加工工艺的特点及学习方法

数控机床加工工艺是一门综合性、实践性、灵活性强的专业技术课程。学习本课程应注意下列几点:

(1) 本课程包含面广、内容丰富、综合性强。不仅包含金属切削原理、刀具、夹具和加工工艺等,还涉及毛坯制造、金属材料、热处理、公差配合、零件表面加工方法和加工设备等多方面知识。因此,在学习时,要善于将已学过的《数控加工基础》和《数控机床》等知识同本课程的知识结合起来,合理地综合运用。

(2) 数控机床加工工艺同生产实际密切相关,其理论源于生产实际,是长期生产实践的总结。因此,学习本课程必须注意同生产实际的结合。只有通过实践教学环节(实验、课程设计及实习)的配合,通过深入生产实际,才能掌握本课程的知识,提高工艺设计和解决问题的能力。

(3) 数控机床加工工艺的应用有很大的灵活性。对同一个问题,在工艺设计上可能有多种方案,必须针对具体问题进行具体分析,在不同的现场条件下,灵活运用理论知识,优选最佳方案。

第一章 数控加工的切削基础

第一节 概 述

一、切削运动和加工中的工件表面

(一) 切削运动

金属切削加工就是用金属切削刀具把工件毛坯上预留的金属材料（统称余量）切除，获得图样所要求的零件。在切削过程中，刀具和工件之间必须有相对运动，这种相对运动就称为切削运动。按切削运动在切削加工中的功用不同分为主运动和进给运动。

1. 主运动 主运动是由机床提供的主要运动，它使刀具和工件之间产生相对运动，从而使刀具前刀面接近工件并切除切削层。它可以是旋转运动，如车削时工件的旋转运动（图 1-1），铣削时铣刀的旋转运动；也可以是直线运动，如刨削时刀具或工件的往复直线运动。其特点是切削速度最高，消耗的机床功率也最大。

2. 进给运动 进给运动是由机床提供的使刀具与工件之间产生附加的相对运动，加上主运动即可不断地或连续地切除切削层，并得出具有所需几何特性的已加工表面。它可以是连续的运动，如车削外圆时车刀平行于工件轴线的纵向运动（图 1-1）；也可以是间断运动，如刨削时刀具的横向移动，其特点是消耗的功率比主运动小得多。

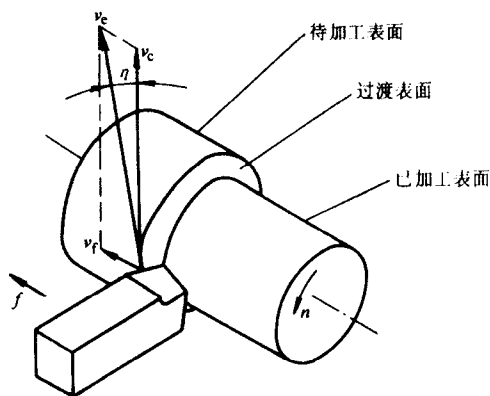


图 1-1 车削时的运动和工件上的三个表面

主运动可以由工件完成（如车削、龙门刨削等），也可以由刀具完成（如钻削、铣削等）。进给运动也同样可以由工件完成（如铣削、磨削等）或刀具完成（车削、钻削等）。

在各类切削加工中，主运动只有一个，而进给运动可以有一个（如车削）、两个（如圆磨削）或多个，甚至没有（如拉削）。

当主运动和进给运动同时进行时，由主运动和进给运动合成的运动称为合成切削运动（图 1-1）。刀具切削刃上选定点相对工件的瞬时合成运动方向称为合成切削运动方向，其速度称为合成切削速度。合成切削速度 v_c 为同一选定点的主运动速度 v_c 与进给运动速度 v_f 的矢量和，即：

$$v_c = v_c + v_f$$

(二) 加工中的工件表面

切削过程中，工件上多余的材料不断地被刀具切除而转变为切屑，因此，工件在切削过程中形成了三个不断变化着的表面（图 1-1）：

1. 已加工表面 工件上经刀具切削后产生的表面称为已加工表面。
2. 待加工表面 工件上有待切除切削层的表面称为待加工表面。
3. 过渡表面 过渡表面就是工件上由切削刃形成的那部分表面，它在下一切削行程（如刨削）、刀具或工件的下一转里（如单刃镗削或车削）将被切除，或者由下一切削刃（如铣削）切除。

二、切削要素

（一）切削用量

切削用量是用来表示切削运动，调整机床用的参量，并且可用它对主运动和进给运动进行定量的表述。它包括以下三个要素：

1. 切削速度 (v_c) 切削刃选定点相对于工件主运动的瞬时速度称为切削速度。大多数切削加工的主运动是回转运动，其切削速度 v_c (单位为 m/min) 的计算公式如下：

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

式中 d ——切削刃选定点处所对应的工件或刀具的回转直径，单位为 mm ；

n ——工件或刀具的转速，单位为 r/min 。

2. 进给量 (f) 刀具在进给方向上相对于工件的位移量称为进给量，可用刀具或工件每转或每行程的位移量来表达或度量 (图 1-2)。其单位用 mm/r 或 mm/行程 (如刨削等) 表示。车削时的进给速度 v_f (单位为 mm/min) 是指切削刃上选定点相对于工件的进给运动的瞬时速度，它与进给量之间的关系为：

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

对于铰刀、铣刀等多齿刀具，常要规定出每齿进给量 (f_z) (单位为 mm/z)，其含义为多齿刀具每转或每行程中每齿相对于工件在进给运动方向上的位移量，即

$$f_z = \frac{f}{z} \quad (1-3)$$

式中 z ——刀齿数。

3. 背吃刀量 (a_p) 背吃刀量是已加工表面和待加工表面之间的垂直距离，其单位为 mm 。外圆车削时：

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1-4)$$

式中 d_w ——待加工表面直径，单位为 mm ；

d_m ——已加工表面直径，单位为 mm 。

镗孔时，则上式中的 d_w 与 d_m 互换一下位置。

（二）切削层参数

在切削加工中，刀具或工件沿进给运动方向每移动 f 或 f_z 后，由一个刀齿正在切除的金属层称为切削层。切削层的尺寸称为切削层参数。为简化计算，切削层的剖面形状和尺寸，在垂直于切削速度 v_c 的基面上度量。图 1-3 表示车削时的切削层，当工件旋转一转时，车

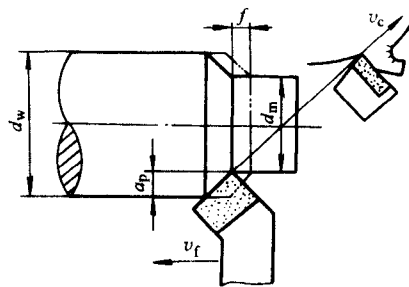


图 1-2 切削用量三要素

刀切削刃由过渡表面Ⅰ的位置移到过渡表面Ⅱ的位置,在这两圈过渡表面(圆柱螺旋面)之间所包含的工件材料层在车刀前刀面挤压下被切除,这层工件材料即是车削时的切削层。

1. 切削厚度 (h_D) 它是指在垂直于切削刃的方向上度量的切削层截面的尺寸。当主切削刃为直线刃时,直线切削刃上各点的切削层厚度相等(图 1-3)并有以下近似关系:

$$h_D \approx f \sin \kappa_r \quad (1-5)$$

图 1-4 表示主切削刃为曲线刃时,切削层局部厚度的变化情况。

2. 切削宽度 (b_D) 它是指沿切削刃方向度量的切削层截面尺寸。它大致反映了工作主切削刃参加切削工作的长度,对于直线主切削刃有以下近似关系(图 1-3)。

$$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad (1-6)$$

3. 切削面积 (A_D) 它是指在给定瞬间,切削层在切削层尺寸平面里的横截面积,即图 1-5 中的 $ABCD$ 所包围的面积。由于刀具副偏角的存在,经切削加工后的已加工表面上常留下有规则的刀纹,这些刀纹在切削层尺寸平面里的横截面积(图 1-5 中 ABE 所包围的面积)称为残留面积 ΔA_D ,它构成了已加工表面理论表面粗糙度的几何基形。

车削时切削面积 A_D 可按下式计算:

$$A_D = a_p f = b_D h_D \quad (1-7)$$

实际切削面积 A_{De} 等于切削面积 A_D 减去残留面积 ΔA_D , 即

$$A_{De} = A_D - \Delta A_D \quad (1-8)$$

残留面积的高度称为轮廓最大高度,用 R_y 表示(图 1-6)。它直接影响已加工表面的粗糙度,其计算公式如下:

$$R_y = \frac{f}{\cot \kappa_r + \cot \kappa'_r} \quad (1-9)$$

若刀尖呈圆弧形,则轮廓最大高度 R_y 为:

$$R_y \approx \frac{f^2}{8r_\epsilon} \quad (1-10)$$

式中 r_ϵ ——刀尖圆弧半径,单位为 mm。

三、刀具几何角度

(一) 刀具切削部分组成要素

刀具种类繁多,结构各异,但其切削部分的几何形状和参

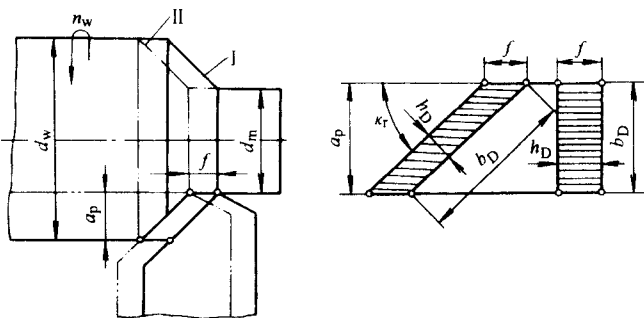


图 1-3 外圆纵车时切削层的参数

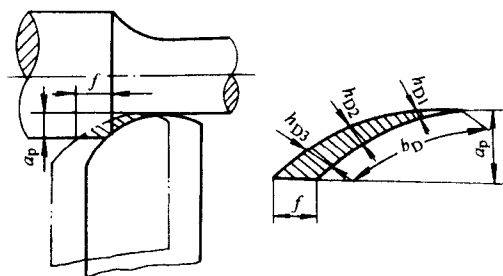


图 1-4 曲线切削刃工作时的 h_D 和 b_D

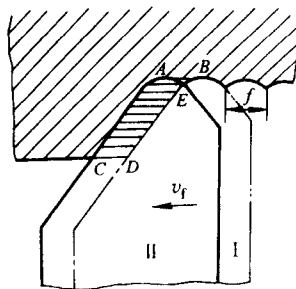


图 1-5 残留面积

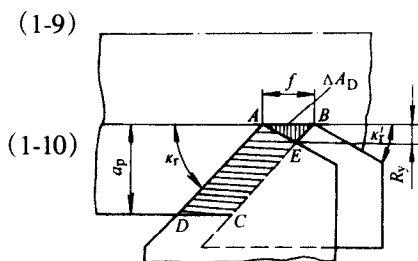


图 1-6 残留面积及其高度

数都有共性,总是近似地以普通外圆车刀的切削部分为基础,确定刀具一般性定义,分析刀具切削部分的几何参数。

普通外圆车刀的构造如图 1-7 所示。其组成包括刀柄部分和切削部分。刀柄是车刀在车床上定位和夹持的部分。切削部分的组成要素如下:

1. 前刀面 (A_f) 刀具上切屑流过的表面。
2. 主后刀面 (A_a) 刀具上与过渡表面相对的表面。
3. 副后刀面 (A'_a) 刀具上与已加工表面相对的表面。

面。

4. 主切削刃 (S) 前刀面与主后刀面相交而得到的刃边 (或棱边),用于切出工件上的过渡表面,完成主要的金属切除工作。

5. 副切削刃 (S') 前刀面与副后刀面相交而得到的刃边,它配合主切削刃完成金属切除工作,负责最终形成工件已加工表面。

6. 刀尖 主切削刃与副切削刃的连接处的一小部分切削刃。它分为修圆刀尖和倒角刀尖两类 (图 1-8)。

(二) 刀具切削部分的几何角度

刀具几何参数的确定需要以一定的参考坐标系和参考坐标平面为基准。刀具静止参考系是用于定义刀具设计、制造、刃磨和测量时刀具几何参数的参考系,在刀具静止参考系中定义的角度称为刀具标注角度。下面主要介绍刀具静止参考系中常用的正交平面参考系。

1. 正交平面参考系 (图 1-9)

(1) 基面 (P_r) 通过切削刃选定点,垂直于主运动方向的平面。通常它平行或垂直于刀具在制造、刃磨及测量时适合于安装或定位的一个平面或轴线。对车刀、刨刀而言,就是过切削刃选定点和刀柄安装平面平行的平面。对钻头、铣刀等旋转刀具来说,即是过切削刃选定点并通过刀具轴线的平面。

(2) 切削平面 (P_s) 通过切削刃选定点与切削刃相切并垂直于基面的平面。当切削刃为直线刃时,过切削刃选定点的切削平面,即是包含切削刃并垂直于基面的平面。

(3) 正交平面 (P_o) 正交平面是指通过切削刃选定点并同时垂直于基面和切削平面的平面。也可以看成是通过切削刃选定点并垂直于切削刃在基面上投影的平面。

2. 刀具的标注角度 (图 1-10)

(1) 在正交平面中测量的角度

- 1) 前角 (γ_o) 前刀面与基面间的夹角。

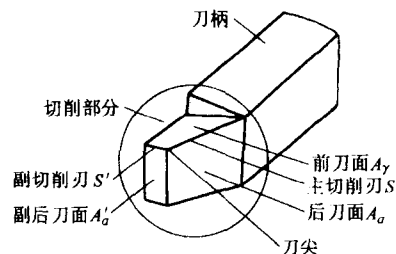


图 1-7 车刀的组成

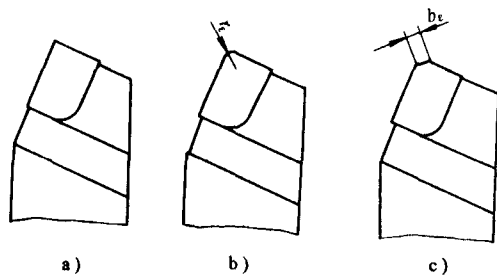


图 1-8 刀尖的类型

- a) 切削刃的实际交点
b) 修圆刀尖 c) 倒角刀尖

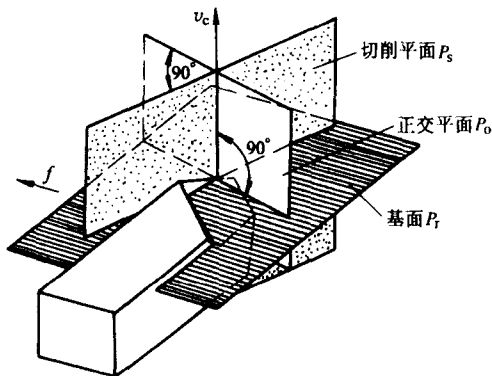


图 1-9 正交平面参考系

当前刀面与切削平面夹角小于 90° 时, 前角为正值; 大于 90° 时, 前角为负值。它对刀具切削性能有很大的影响。

2) 后角 (α_o) 后刀面与切削平面间的夹角。当后刀面与基面夹角小于 90° 时, 后角为正值; 大于 90° 时, 后角为负值。它的主要作用是减小后刀面和过渡表面之间的摩擦。

3) 楔角 (β_o) 前刀面与后刀面的夹角。它是由前角和后角得到的派生角度。

$$\beta_o = 90^\circ - (\gamma_o + \alpha_o) \quad (1-11)$$

(2) 在基面中测量的角度

1) 主偏角 (κ_r) 主切削平面与假定进给运动方向间的夹角, 它总是为正值。

2) 副偏角 (κ_r') 副切削平面与假定进给运动反方向间的夹角。

3) 刀尖角 (ϵ_r) 刀尖角是主切削平面与副切削平面间的夹角。它是由主偏角和副偏角得到的派生角度。

$$\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa_r') \quad (1-12)$$

(3) 在切削平面中测量的角度

刃倾角 (λ_s), 即主切削刃与基面间的夹角。当刀尖相对于车刀刀柄安装面处于最高点时, 刃倾角为正值; 当刀尖处于最低点时, 刃倾角为负值; 当切削刃平行于刀柄安装面时, 刃倾角为 0° , 这时, 切削刃在基面内。

(4) 在副正交平面中测量的角度

参照主切削刃的研究方法, 在副切削刃上同样可定义一副正交平面 (P_o') 和副切削平面 (P_s')。在副正交平面中测量的角度有副后角 (α_o'), 它是副后刀面与副切削平面间的夹角。当副后刀面与基面夹角小于 90° 时, 副后角为正值; 大于 90° 时, 副后角为负值。它决定了副后刀面的位置。

3. 刀具的工作角度

以上讨论的刀具角度是在刀具静止参考系中定义的角度, 即在不考虑刀具的具体安装情况和运动影响的条件下而定义的刀具标注角度。实际上, 在切削加工中, 由于进给运动的影响或刀具相对于工件安装位置发生变化时, 常常使刀具实际的切削角度发生变化。这种在实际切削过程中起作用的刀具角度, 称为工作角度。

在大多数场合 (如车削、镗削、铣削等), 进给速度远小于主运动速度, 因而在一般安装条件下, 刀具的工作角度近似等于标注角度, 所以不必进行工作角度的计算。只有在车螺纹、车丝杠、车凸轮或有意将刀具位置装高、装低、左右倾斜等特殊情况下, 角度变化值较大, 才考虑工作角度。现以横车为例说明刀具的工作角度。

如图 1-11 所示, 在车床上切断和切槽加工时, 刀具沿横向进给, 这时刀具相对于工件的运动轨迹是一阿基米德圆柱螺旋面, 各瞬时刀具相对于工件的合成切削运动方向是阿基米德圆柱螺旋面的切线方向, 它与主运动方向的夹角为 μ , 这时工作基面 P_{re} 和工作切削平面 P_{se} 分别相对于基面 P_r 和切削平面 P_s 转过 μ 角。刀具的工作前角 γ_{oe} 和工作后角 α_{oe} 分别为:

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu \quad \alpha_{oe} = \alpha_o - \mu \quad (1-13)$$

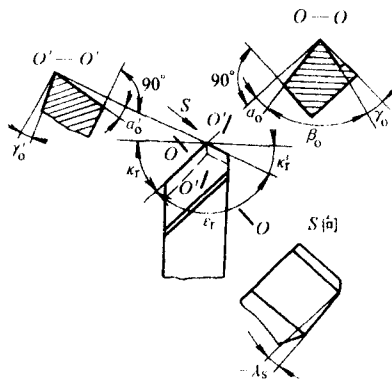


图 1-10 正交平面参考系内的
刀具标注角度

$$\tan \mu = \frac{v_f}{v_c} = \frac{f}{\pi d} \quad (1-14)$$

式中 μ ——合成切削速度角，是同一瞬间主运动方向与合成切削运动方向间的夹角，在工作平面中测量；

d ——工件在切削刃选定点处的瞬时过渡表面直径，单位为 mm；

f ——工件每转一转刀具的横向进给量，单位为 mm/r。

显然，在横向进给切削时，由于进给运动的影响，刀具的工作前角增大一个 μ 值，工作后角减小一个 μ 值。而且随着进给量的增大和刀具向工件中心接近， μ 值还在增大。因此在横向车削时，应适当增大 α_0 ，以补偿进给运动的影响。

纵向进给运动及刀尖安装高于或低于工件中心线、刀杆中心线与进给方向不垂直对工作角度的影响，留请读者分析。

四、刀具材料

刀具材料主要是指刀具切削部分的材料。刀具切削性能的优劣，首先决定于切削部分的材料；其次取决于切削部分的几何参数及刀具结构的选择和设计是否合理。

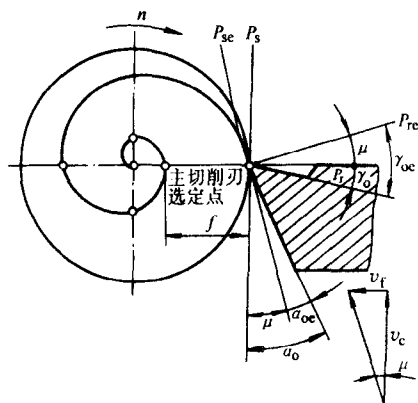


图 1-11 横向进给运动对工作角度的影响

(一) 刀具材料应具备的性能

切削时，刀具切削部分不仅要承受很大的切削力，而且要承受切屑变形和摩擦所产生的高温。要使刀具能在这样的条件下工作而不致很快地变钝或损坏，保持其切削能力，就必须使刀具材料具有如下的性能：

1. 高的硬度和耐磨性 刀具材料的硬度必须更高于被加工材料的硬度，否则在高温高压下，就不能保持刀具锋利的几何形状。通常刀具材料的硬度都在 60HRC 以上。

刀具材料的耐磨性是指抵抗磨损的能力。一般说来，刀具材料硬度越高，耐磨性也越好。此外，刀具材料组织中碳化物越多、颗粒越细、分布越均匀，其耐磨性也越高。

2. 足够的强度与韧性 刀具切削部分的材料在切削时要承受很大的切削力和冲击力。因此，刀具材料必须要有足够的强度和韧性。一般用刀具材料的抗弯强度表示它的强度大小；用冲击韧度表示其韧性的大小，它反映刀具材料抗脆性断裂和崩刃的能力。

3. 良好的耐热性和导热性 刀具材料的耐热性是指刀具材料在高温下保持其切削性能的能力。耐热性越好，刀具材料在高温时抗塑性变形的能力、抗磨损的能力也越强。

刀具材料的导热性越好，切削时产生的热量越容易传导出去，从而降低切削部分的温度，减轻刀具磨损。

4. 良好的工艺性 为了便于制造、要求刀具材料有较好的可加工性，包括锻压、焊接、切削加工、热处理、可磨性等。

5. 经济性 选择刀具材料时，应注意经济效益，力求价格低廉。

(二) 刀具材料的种类

目前最常用的刀具材料有高速钢和硬质合金。陶瓷材料和超硬刀具材料（金刚石和立方

氮化硼)仅应用于有限场合,但它们的硬度很高,具有优良的抗磨损性能,刀具耐用度高,能保证高的加工精度。

1. 高速钢 高速钢是含有较多的钨、铬、钼、钒等合金元素的高合金工具钢。

高速钢按用途不同分为通用型高速钢和高性能高速钢。

(1) 通用型高速钢 通用型高速钢具有一定的硬度(63~66HRC)和耐磨性、高的强度和韧性,切削速度(加工钢料)一般不高于50~60m/min,不适合高速切削和硬的材料切削。常用牌号有W18Cr4V和W6Mo5Cr4V2。其中,W18Cr4V具有较好的综合性能,W6Mo5Cr4V2的强度和韧性高于W18Cr4V,并具有热塑性好和磨削性能好的优点,但热稳定性低于W18Cr4V。

(2) 高性能高速钢 高性能高速钢是在通用型高速钢的基础上,通过增加碳、钒的含量或添加钴、铝等合金元素而得到的耐热性、耐磨性更高的新钢种。在630~650℃时仍可保持60HRC的硬度,其耐用度是通用型高速钢的1.5~3倍。适用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。但这类钢种的综合性能不如通用型高速钢,不同的牌号只有在各自规定的切削条件下,才能达到良好的加工效果。因此其使用范围受到限制。常用牌号有:9W18Cr4V、9W6Mo5Cr4V2、W6Mo5Cr4V3、W6Mo5Cr4V2Co8、及W6Mo5Cr4V2Al等。

2. 硬质合金 硬质合金是由硬度和熔点都很高的碳化物(WC、TiC、TaC、NbC等),用Co、Mo、Ni作粘结剂制成的粉末冶金制品。其常温硬度可达78~82HRC,能耐800~1000℃高温,允许的切削速度是高速钢的4~10倍。但其冲击韧性与抗弯强度远比高速钢低,因此很少做成整体式刀具。在实际使用中,一般将硬质合金刀块用焊接或机械夹固的方式固定在刀体上。

常用的硬质合金有三大类:

(1) 钨钴类硬质合金(YG) 由碳化钨和钴组成。这类硬质合金韧性较好,但硬度和耐磨性较差,适用于加工脆性材料(铸铁等)。钨钴类硬质合金中含Co越多,则韧性越好。常用的牌号有:YG8、YG6、YG3,它们制造的刀具依次适用于粗加工、半精加工和精加工。

(2) 钨钛钴类硬质合金(YT) 由碳化钨、碳化钛和钴组成。这类硬质合金耐热性和耐磨性较好,但抗冲击韧性较差,适用于切屑呈带状的钢料等塑性材料。常用的牌号有YT5、YT15、YT30等,其中的数字表示碳化钛的含量。碳化钛的含量越高,则耐磨性越好、韧性越低。这三种牌号的钨钛钴类硬质合金制造的刀具分别适用于粗加工、半精加工和精加工。

(3) 钨钛钽(铌)类硬质合金(YW) 由在钨钛钴类硬质合金中加入少量的碳化钽(TaC)或碳化铌(NbC)组成。它具有上述两类硬质合金的优点,用其制造的刀具既能加工钢、铸铁、有色金属,也能加工高温合金、耐热合金及合金铸铁等难加工材料。常用牌号有YW1和YW2。

3. 其他刀具材料

(1) 涂层刀具材料 这种材料是在韧性较好的硬质合金基体上或高速钢基体上,采用化学气相沉积(CVD)法或物理气相沉积(PVD)法涂覆一薄层硬质和耐磨性极高的难熔金属化合物而得到的刀具材料。通过这种方法,使刀具既具有基体材料的强度和韧性,又具有很高的耐磨性。常用的涂层材料有TiC、TiN、Al₂O₃等。TiC的硬度和耐磨性好;TiN的抗氧

化、抗粘结性好； Al_2O_3 耐热性好。使用时可根据不同的需要选择涂层材料。

(2) 陶瓷 其主要成分是 Al_2O_3 ，刀片硬度可达 78HRC 以上，能耐 1200 ~ 1450℃ 高温，故能承受较高的切削速度。但抗弯强度低，怕冲击，易崩刃。主要用于钢、铸铁、高硬度材料及高精度零件的精加工。

(3) 金刚石 金刚石分人造和天然两种。做切削刀具材料者，大多是人造金刚石，其硬度极高，可达 10000HV（硬质合金仅为 1300 ~ 1800HV），其耐磨性是硬质合金的 80 ~ 120 倍。但韧性差，对铁族材料亲和力大。因此一般不适宜加工黑色金属，主要用于有色金属以及非金属材料的高速精加工。

(4) 立方氮化硼 (CNB) 这是人工合成的一种高硬度材料，其硬度可达 7300 ~ 9000HV，可耐 1300 ~ 1500℃ 高温，与铁族元素亲和力小。但其强度低，焊接性差。目前主要用于加工淬硬钢、冷硬铸铁、高温合金和一些难加工材料。

第二节 金属切削过程基本规律及其应用

一、切屑的形成及种类

(一) 切屑的形成过程

从实践中可知，切屑的形成过程就是切削层变形的过程。为了进一步揭示金属切削的变形过程和便于认识其实用意义，把切削区域划分为三个变形区，如图 1-12 所示。

1. 第 I 变形区 即剪切滑移区，如图 1-13 所示。在剪切面 OM 附近的切削层金属，在刀具的作用下，在 OA 到 OM 之间由许多切应力曲面构成的剪切滑移区，其宽度很窄，只有 0.02 ~ 0.2mm。

当前刀面以切削速度挤压切削层时，其中某一质点 P 便进入剪切滑移区，由位置 1 移至位置 2，2—2' 之间的距离就是它的滑移量。此后， P 点的滑移依次为 3—3'、4—4'，滑移量也相应依次增加，切应力应变也逐渐增大。当 P 点移至 OM 面（终剪切面）上，切应力达到屈服点 (σ_s) 时，滑移变形基本结束，切削层变形为切屑且沿前刀面流出。

2. 第 II 变形区 切屑沿前刀面流出时，受到前刀面的挤压和摩擦，使靠近前面处的金属再次产生剪切变形，使其切屑底层薄薄的一层金属流动滞缓。这一层滞缓流动的金属层称为滞流层。滞流层的变形程度比切屑上层大几倍到几十倍。

3. 第 III 变形区 是刀具后刀面和工件的接触区。切屑底层和前刀面之间的挤压摩擦，使切屑底层的金属晶粒纤维化而拉长，在带有钝圆半径 r_n 的切削刃口处被分为两部分：一部分随切屑沿前刀面流出；另一部分沿后刀面流出，形成已加工表面，它受到切削刃钝圆半径和后刀面的挤压、摩擦与回弹，造成已加工表面金属的纤

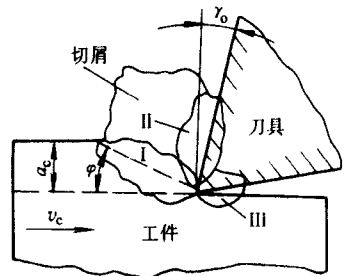


图 1-12 三个变形区的划分

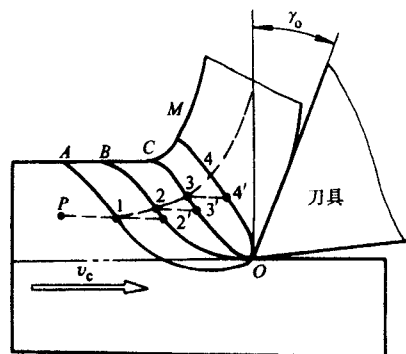


图 1-13 第一变形区金属的剪切滑移