



21世纪 高等职业教育通用教材

数控加工工艺

SHUKONG JIAGONG GONGYI

李正峰\主编 高保真\主审

上海交通大学出版社

21 世纪高等职业教育通用教材

数 控 加 工 工 艺

主 编 李正峰
副主编 刘 江
 魏康民
主 审 高保真

上 海 交 通 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书以实际应用为目的,以理论必需、够用为度,精选教学内容,对“金属切削原理与刀具”、“机械制造工艺学”与“机床夹具设计”三门课程进行了整合。并以此为基础,系统地介绍了数控车削加工工艺、数控铣削加工工艺、加工中心加工工艺及电火花成形与数控线切割加工工艺。

本书内容丰富,详略得当,实用性强,可作为高等职业院校数控技术应用、机电一体化等专业的教材,也可作为从事数控加工的技术人员和操作人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺/李正峰主编. —上海:上海交通大学出版社,2004

21 世纪高等职业教育通用教材

ISBN7—313—03820—8

I. 数... II. 李... III. 数控机床—加工工艺—高等学校:技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 071173 号

数控加工工艺

李正峰 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

常熟市文化印刷有限公司 印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:23.75 字数:580 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—3 050

ISBN7—313—03820—8/TG·052 定价:33.00 元

版权所有 侵权必究

21 世纪高等职业教育通用教材

编 审 委 员 会

主 任 名 单

(以姓氏笔划为序)

编审委员会顾问

叶春生 詹平华

编审委员会名誉主任

李 进 李宗尧

编审委员会主任

闵光太 潘立本

编审委员会常务副主任

东鲁红

编审委员会副主任

孔宪思	王俊堂	王继东	白玉江
冯拾松	匡亦珍	朱懿心	吴惠荣
李 光	李坚利	陈 礼	赵祥大
洪申我	饶文涛	秦士嘉	黄 斌
董 刚	薛志信		

序

发展高等职业教育,是实施科教兴国战略、贯彻《高等教育法》与《职业教育法》、实现《中国教育改革与发展纲要》及其《实施意见》所确定的目标和任务的重要环节;也是建立健全职业教育体系、调整高等教育结构的重要举措。

近年来,年轻的高等职业教育以自己鲜明的特色,独树一帜,打破了高等教育界传统大学一统天下的局面,在适应现代社会人才的多样化需求、实施高等教育大众化等方面,做出了重大贡献。从而在世界范围内日益受到重视,得到迅速发展。

我国改革开放不久,从1980年开始,在一些经济发展较快的中心城市就先后开办了一批职业大学。1985年,中共中央、国务院在关于教育体制改革的决定中提出,要建立从初级到高级的职业教育体系,并与普通教育相沟通。1996年《中华人民共和国职业教育法》的颁布,从法律上规定了高等职业教育的地位和作用。目前,我国高等职业教育的发展与改革正面临着很好的形势和机遇:职业大学、高等专科学校和成人高校正在积极发展专科层次的高等职业教育;部分民办高校也在试办高等职业教育;一些本科院校也建立了高等职业技术学院,为发展本科层次的高等职业教育进行探索。国家学位委员会1997年会议决定,设立工程硕士、医疗专业硕士、教育专业硕士等学位,并指出,上述学位与工程学硕士、医学科学硕士、教育学硕士等学位是不同类型的同一层次。这就为培养更高层次的一线岗位人才开了先河。

高等职业教育本身具有鲜明的职业特征,这就要求我们在改革课程体系的基础上,认真研究和改革课程教学内容及教学方法,努力加强教材建设。但迄今为止,符合职业特点和需求的教材却还不多。由泰州职业技术学院、上海第二工业大学、金陵职业大学、扬州职业大学、彭城职业大学、沙洲职业工学院、上海交通高等职业技术学院、上海交通大学技术学院、上海汽车工业总公司职工大学、立信会计高等专科学校、江阴职工大学、江南学院、常州技术师范学院、苏州职业大学、锡山职业教育中心、上海商业职业技术学院、潍坊学院、上海工程技术大学等百余所院校长期从事高等职业教育、有丰富教学经验的资深教师共同编写的《21世纪高等职业教育通用教材》,将由上海交通大学出版社等陆续向读者朋友推出,这是一件值得庆贺的大好事,在此,我们表示衷心的祝贺。并向参加编写的全体教师表示敬意。

高职教育的教材面广量大,花色品种甚多,是一项浩繁而艰巨的工程,除了高职院校和出版社的继续努力外,还要靠国家教育部和省(市)教委加强领导,并设立高等职业教育教材基金,以资助教材编写工作,促进高职教育的发展和改革。高职教育以培养一线人才岗位与岗位群能力为中心,理论教学与实践训练并重,二者密切结合。我们在这方面的改革实践还不充分。在肯定现已编写的高职教材所取得的成绩的同时,有关学校和教师要结合各校的实际情况和实训计划,加以灵活运用,并随着教学改革的深入,进行必要的充实、修改,使之日臻完善。

阳春三月,莺歌燕舞,百花齐放,愿我国高等职业教育及其教材建设如春天里的花园,群芳争妍,为我国的经济建设和社会发展作出应有的贡献!

叶春生

前 言

近年来,数控技术在制造业中的应用呈突飞猛进之势,据调查,我国目前需要数十万数控技术应用领域的操作人员、编程人员和维修人员。为适应社会对技能型数控人才的需求现状,国家决定优先在数控技术应用专业领域实施技能型紧缺人才培养培训工程,进行人才培养新模式的探索,计划在全国选定 500 多所职业院校作为技能型紧缺人才示范性培养培训基地。针对目前国内有关数控加工技术方面的书籍不多,特别是有关数控加工工艺方面的书籍更少,不能适应高职教育需要的现状,为此我们组织有关教学经验丰富、实践能力较强的教师编写了这本书。

本书按照“以实际应用为目的,以理论必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为教学重点”的原则,把传统的“金属切削原理与刀具”、“机床夹具设计”和“机械制造工艺学”三门课程进行了整合,作为讲授数控加工工艺的基础。在此基础上系统地介绍了数控加工工艺的基础理论和基本知识,包括数控车削加工工艺、数控铣削加工工艺、加工中心加工工艺、电火花成形和数控线切割加工工艺等内容。

本书绪论和第 2 章由江苏泰州职业技术学院李正峰编写,第 1 章由江苏泰州职业技术学院林红喜编写,第 3 章由江苏沙州工学院张福荣和泰州职业技术学院林红喜、吴萍、李正峰编写,第 4 章由陕西工业职业技术学院魏康民编写,第 5 章由江苏常州机电职业技术学院刘江编写,第 6 章由四川机电职业技术学院袁晓东编写,第 7 章由浙江温州职业技术学院何庆稀编写,第 8 章由江苏常州轻工职业技术学院王兰萍编写。全书由李正峰负责统稿和定稿。泰州职业技术学院吴萍、张亚萍审校和修改了本书部分章节,在编写过程中得到了烟台师范学院王亮申博士的指导和帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限和时间仓促,书中难免存在一些缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者

2004 年 8 月

目 录

0 绪论	1
0.1 数控加工的发展过程	1
0.2 数控机床的发展趋势	2
0.3 数控加工的特点	3
0.4 数控加工的适应性	4
0.5 数控加工工艺研究的内容及任务	5
0.6 本课程的学习方法	5
1 金属切削的基本理论	6
1.1 切削运动与切削用量	6
1.2 刀具切削部分的几何角度	9
1.3 金属切削过程的基本规律	14
1.4 切削力	20
1.5 切削热和切削温度	29
1.6 工件材料的切削加工性	31
1.7 刀具几何参数的合理选择	35
1.8 切削用量的选择	41
1.9 切削液的选择	44
习题一	47
2 金属切削刀具	48
2.1 刀具材料	48
2.2 车削刀具	52
2.3 孔加工刀具	65
2.4 铣削刀具	76
2.5 数控工具系统	87
2.6 刀具的磨损和失效	93
2.7 磨具	97
习题二	100
3 工件的装夹及夹具设计	102
3.1 工件的定位原则	102
3.2 常用定位方法及定位元件	106

3.3	定位基准的选择	118
3.4	定位误差的分析和计算	121
3.5	工件的夹紧	134
3.6	动力装置	149
3.7	专用夹具的设计	152
3.8	组合夹具	172
3.9	数控机床夹具	187
	习题三	196
4	机械加工工艺基础	200
4.1	基本概念	200
4.2	机械加工工艺规程的制订	205
4.3	工艺路线的拟订	211
4.4	加工余量的确定	216
4.5	工序尺寸及其公差的确 定	220
4.6	机械加工的生产率及技 术经济分析	227
4.7	机械加工精度	233
4.8	表面加工质量	242
4.9	轴类零件的加工	246
4.10	箱体类零件的加工	252
	习题四	255
5	数控车削加工工艺	258
5.1	数控车削加工概述	258
5.2	数控车削加工工艺的制 订	261
5.3	典型零件的数控车削加 工工艺分析	279
	习题五	283
6	数控铣削加工工艺	285
6.1	数控铣削加工的主要对 象	285
6.2	数控铣削加工工艺的制 订	286
6.3	典型零件的数控铣削加 工工艺分析	299
	习题六	305
7	加工中心的加工工艺	308
7.1	加工中心加工工艺概述	308
7.2	加工中心的主要加工对 象	312
7.3	加工中心加工工艺方案 的制订	314
7.4	典型零件的加工中心加 工工艺分析	326

习题七.....	333
8 电火花成形加工和数控线切割加工工艺	335
8.1 电火花成形加工的加工工艺	335
8.2 数控线切割加工的加工工艺	354
习题八.....	366
参考文献.....	368

0 绪 论

随着社会生产和科学技术的不断发展,对机械产品的质量和机床的加工能力等提出了越来越高的要求,尤其在航空航天、军事、造船等领域所需求的零件,其精度要求高,形状复杂,用普通机床难以加工,而机械加工设备和机械加工工艺过程的自动化、柔性化与智能化则为解决上述问题提供了有效的途径。正是在这种情况下,一种具有高精度、高效率、适应性强的“柔性”自动化加工设备——数字程序控制机床(简称数控机床)应运而生。它是机械加工工艺过程自动化与智能化的基础。

0.1 数控加工的发展过程

0.1.1 数控机床的发展过程

美国麻省理工学院于1952年成功地研制出世界上第一台数控机床。1955年用于制造航空零件的数控铣床正式问世。此后其他一些工业国家,如德国、日本、英国、俄罗斯等相继开始开发、研制和应用数控机床。

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%以上。

0.1.2 自动编程系统的发展过程

在20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,不适用于中小型用户。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。

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起步较晚,但发展很快,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SKC系统等。

0.1.3 自动化生产系统的发展过程

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 20 世纪 60 年代末期出现了由一台计算机直接管理和控制多台数控机床的计算机群控系统,即直接数控系统 DNC(Direct NC),1967 年出现由多台数控机床连接成可调加工系统,这就是最初的柔性制造系统 FMS(Flexible Manufacturing System)。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 和 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。

0.2 数控机床的发展趋势

数控机床总的发展趋势是工序集中、高速、高效、高精度、高可靠性以及方便使用。

1) 工序集中

加工中心使工序集中在一台机床上完成,减少了由于工序分散、工件多次装夹引起的定位误差,提高了加工精度,减少了工序间的辅助时间,同时也减少了机床的台数和占地面积,有效提高了数控机床的生产效率和数控加工的经济效益。

2) 高速化

由于数控装置及伺服系统功能的改进,其主轴转速和进给速度大大提高,减少了切削时间。加工中心的主轴转速现已达到 8000~12000r/min,最高的可达 100000r/min 以上,磨床的砂轮线速度提高到 100~200m/s。正在开发的采用 64 位 CPU 的新型数控系统,可实现快速进给、高速加工、多轴控制功能,控制轴数最多可达到 24 个,同时联动轴数可达 3~6 轴,进给速度为 20~24m/min,最快可达 60m/min。

3) 高效

数控机床的自动换刀和自动交换工作台时间大大缩短,现在数控车床刀架的转位时间可达 0.4~0.6s,加工中心自动交换刀具时间可达 3s,最快能达到 1s 以内,交换工作台时间也可达到 6~10s,个别可达到 2.5s,提高了机床的加工效率。

4) 高精度化

用户对产品精度要求的日益提高,促使数控机床的精度不断提高。工件的加工精度主要取决于:机床精度、编程精度、插补精度和伺服精度。目前,数控机床配置了新型、高速、多功能的数控系统,其分辨率可达到 0.1 μ m,有的可达到 0.01 μ m,实现了高精度加工。伺服系统采用前馈控制技术高分辨率的位置检测元件、计算机数控的补偿功能等,保证了数控机床的高加工精度。

5) 多功能化

CNC 装置功能的不断扩大,促进了数控机床的高度自动化及多功能化。数控机床的数控系统大多采用 CRT 显示,可实现二维图形的轨迹显示,有的还可以实现三维彩色动态图形显示,有的系统具有自适应控制系统,能在加工条件下改变机床的切削用量,以适应任一瞬间实际发生的加工情况,实现无人化管理。

6) 结构新型化

一种完全不同于原来数控机床结构的新兴数控机床,近几年被开发成功,这种被称为“6 条腿的加工中心”或虚轴机床的数控机床,没有任何导轨和滑台,采用能够伸缩的“6 条腿”支撑并联,并与安装主轴头的上平台和安装工件的下平台相连。它可以实现多坐标联动加工,其控制系统结构复杂,加工精度、加工效率较普通加工中心提高 2~10 倍。

7) 编程技术自动化

随着数控加工技术的迅速发展,设备类型的增多,零件品种的增加以及形状的日益复杂,迫切需求速度快、精度高的编程,以便于直观检查。为弥补手工编程和 NC 语言编程的不足,近几年开发出多种自动编程系统,如图形交互式编程系统、数字化自动编程系统、语言数控编程系统等,其中图形交互式编程系统的应用越来越广泛。“图形交互自动编程”是一种计算机辅助编程技术,以计算机辅助设计(CAD)软件为基础。其特点是速度快、精度高、直观性好、使用简便,已成为国内外先进的 CAD/CAM 软件所采用的编程方法。目前常用的图形交互式自动编程软件有 UG、PRO/E、MasterCAM 等。

0.3 数控加工的特点

数控加工与通用机床加工相比,在许多方面遵循基本一致的原则,在使用方法上也有很多相似之处。但由于数控机床本身自动化程度较高,设备费用较高,设备功能较强,使数控加工相应形成了如下几个特点。

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、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) 柔性加工程度高

在数控机床上加工工件,主要取决于加工程序。它与普通机床不同,不必制造更换许多工具、夹具等,一般不需要很复杂的工艺装备,也不需要经常重新调整机床就可以通过编程把形状复杂和精度要求较高的工件加工出来。因此,能大大缩短产品研制周期,给产品的改型、改进和新产品研制开发提供了捷径。

3) 加工精度高,加工质量稳定

数控机床本身具有很高的定位精度,机床的传动系统与机床的结构具有很高的刚度和热稳定性。在设计传动结构时采取了减少误差的措施,并由数控机床进行补偿,所以数控机床具有较高的加工精度。通常数控加工的尺寸精度控制在 0.005~0.01mm 之间,目前最高的尺寸精度可达 $\pm 0.0015\text{mm}$ 。一般数控加工不受零件复杂程度的影响,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。

4) 生产效率高

由于数控机床自动化程度高,在一次装夹中能完成较多表面的加工,因此省去了划线、多次装夹、检测等工序,另外数控机床可以达到较高的运动速度,如数控车床的主轴转速已达到 $5\,000\sim 7\,000\text{r/min}$,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 $20\,000\sim 50\,000\text{r/min}$,各轴的快速移动速度达到 $18\sim 24\text{m/min}$,提高了生产效率。

5) 有利于生产管理的现代化

利用数控机床加工,可预先准确计算加工工时,所使用的工具、夹具、刀具可进行规范化、现代化管理。数控机床使用数字信息,易于与计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)系统相结合,并可与通信传输连接,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。

6) 良好的经济效益

改变数控机床加工对象时,只需重新编写加工程序,不需要制造、更换许多工具、夹具和模具,更不需要更新机床,节省了工艺装备费用。又因为加工精度高、质量稳定、废品率低,使生产成本下降、生产率提高,所以能够获得良好的经济效益。

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。

0.4 数控加工的适应性

数控机床是一种高度自动化的机床,有一般机床所不具备的许多优点,所以数控机床加工技术的应用范围在不断扩大,但数控机床是高度机电一体化产品,技术含量高,成本高,因此对使用与维修都有较高的要求。根据数控加工的优缺点及国内外大量应用实践,一般可按适应程度将加工零件分为下列三类。

0.4.1 最适应数控加工零件类

(1) 形状复杂,加工精度要求高,用通用机床很难加工或虽然能加工但很难保证加工质量的零件。

(2) 用数学模型描述的复杂曲线或曲面轮廓零件。

(3) 具有难测量,难控制进给,难控制尺寸的不开敞内腔的壳体或盒形零件。

(4) 必须在一次装夹中完成铣、镗、铰、钻或攻螺纹等多工序的零件。

0.4.2 较适应数控加工零件类

(1) 在通用机床上加工时极易受人为因素干扰,零件价值又高,一旦失控便造成重大经济损失的零件。

(2) 在通用机床上加工时必须制造复杂的专用工装的零件。

(3) 需要多次更改设计后才能定型的零件。

(4) 在通用机床上加工需要做长时间调整的零件。

(5) 在通用机床上加工时,生产率很低或劳动强度很大的零件。

0.4.3 不适应数控加工零件类

- (1) 生产批量大的零件(当然不排除其中个别工序用数控机床加工)。
- (2) 装夹困难或完全靠找正定位来保证加工精度的零件。
- (3) 加工余量很不稳定,且在数控机床上无在线检测系统用于自动调整零件坐标位置的零件。
- (4) 必须用特定的工艺装备协调加工的零件。

综上所述,建议:对于多品种小批量零件、结构较复杂、精度要求较高的零件,需要频繁改型的零件,价格昂贵、不允许报废的关键零件和需要最小生产周期的急需零件采用数控加工。

0.5 数控加工工艺研究的内容及任务

数控加工工艺是以数控机床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,综合多方面的知识以解决数控加工中的工艺问题。

数控加工工艺的内容包括金属切削和加工工艺的基本知识、基本理论以及工件的定位和夹紧等。数控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。

数控加工工艺是数控技术应用专业和机电一体化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工艺的基本知识和基本理论,学会针对某一具体工件,选择机床、刀具和设计夹具,掌握数控加工工艺设计方法;初步具有制订中等复杂程度零件的数控加工工艺和分析解决生产中一般工艺问题的能力。

0.6 本课程的学习方法

数控加工工艺是一门以机械加工基本理论为基础,并与数控加工紧密结合的专业技术课。在学习方法上应当注意以下几点:

- (1) 本课程与“机械制造基础”、“数控机床”、“公差与技术测量”等机械类专业课程关系密切,应在巩固复习好这些课程的基础上,学懂弄通基本理论、基本知识。
- (2) 数控加工工艺同生产实际密切相关,是长期生产实践的经验总结。因此,学习本课程必须注意同生产实际的结合。要注意通过金工实习、生产实践,理解和应用本课程的知识,提高工艺分析和工艺设计的能力。
- (3) 对同一个加工零件,可能会有几种不同的加工方案,必须针对具体问题进行具体分析,在不同的现场条件下,灵活运用有关知识,优选最佳方案。

1 金属切削的基本理论

金属切削加工是指在金属切削机床上利用刀具与工件之间的相对运动,从工件上切除多余金属层,使其尺寸、形状和相互位置精度以及表面质量达到设计要求的一种加工方法。本章主要阐述切削加工过程中的切削运动,刀具切削部分的几何角度,切削变形,切削力,切削热,刀具几何参数以及切削用量的合理选择等内容。掌握好这些基本理论可以解决生产中的许多实际问题,从而提高产品的质量,降低生产成本,提高生产效率。

1.1 切削运动与切削用量

1.1.1 切削运动

在金属切削加工过程中,刀具与工件之间必须具有相对运动,才能从工件上切除多余的金属层,这种相对运动称为切削运动。按其功用可分为主运动和进给运动。

1.1.1.1 主运动

从工件上直接切除多余的金属层所必需的,具有速度最高与消耗功率最大这一特点的运动称为主运动。在一种切削加工方法中,主运动只有一个,由工件或刀具来完成。它既可以是回转运动(如图1-1所示,车削时工件的回转运动),也可以是直线运动(如图1-2所示,刨削时刀具的直线往复运动)。

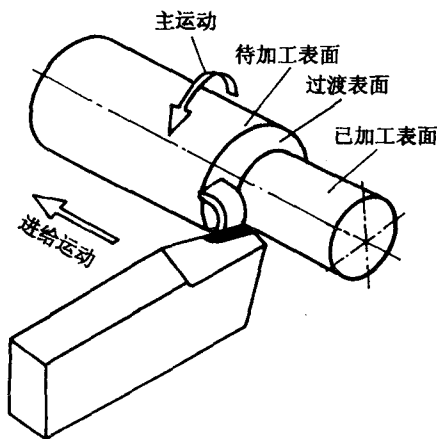


图 1-1 车削运动和工件上的表面

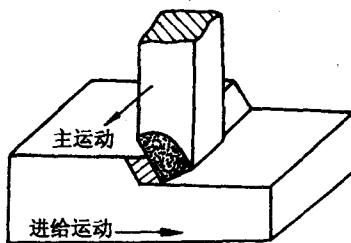


图 1-2 刨削

1.1.1.2 进给运动

不断地将多余金属层投入切削,以保证切削连续进行的运动称为进给运动。进给运动的速度较低,消耗功率较小。进给运动可以是一个,也可以是几个;进给运动可以是工件的运动,如刨削加工;也可以是刀具的运动,如车削加工。

1.1.1.3 合成切削运动

合成切削运动是主运动和进给运动的组合。

1.1.2 切削过程中的工件表面

在切削加工过程中,工件上始终有三个不断变化着的表面,如图 1-1 所示。

待加工表面:工件上待切除的表面。

已加工表面:工件上经刀具切削后产生的表面。

过渡表面:切削刃正在切削的表面。该表面的位置始终在待加工表面与已加工表面之间不断变化。

1.1.3 切削用量三要素

切削用量三要素由切削速度 v_c 、进给量 f (或进给速度 v_f)和背吃刀量 a_p 组成,是调整机床,计算切削力、切削功率和工时定额的重要参数。

1.1.3.1 切削速度 v_c

指刀具切削刃上选定点相对于工件的主运动的瞬时速度,如图1-3所示。其公式为

$$v_c = \pi d_w n / 1000 \quad (1-1)$$

式中: v_c —— 切削速度(m/min);

d_w —— 工件待加工表面直径(mm);

n —— 主运动的转速(r/min)。

1.1.3.2 进给量 f

指刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量,可用刀具或工件每转或每行程的位移量来表述,如图1-4所示。

1.1.3.3 进给速度 v_f

指刀具切削刃上选定点相对于工件进给运动的瞬时速度,如图1-3所示。其计算公式为

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

式中: v_f —— 进给速度(mm/min);

f —— 进给量(mm/r)。

对于铣刀、铰刀等多齿刀具还规定每个刀齿的进给量 f_z 。每齿进给量是指刀具在每转或每行程中,每个刀齿相对工件在进给运动方向上的位移量。其单位为mm/齿。它与进给量的关系为

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

式中： z ——刀齿数。

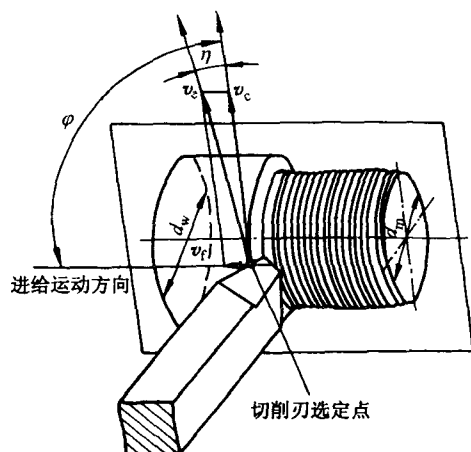


图 1-3 车削的切削速度和进给速度

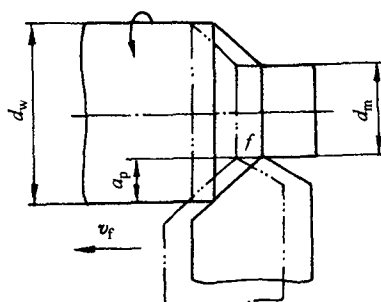


图 1-4 车削进给量和背吃刀量

1.1.3.4 背吃刀量 a_p

一般指工件上待加工表面与已加工表面之间的垂直距离,如图 1-4 所示。其计算公式为

$$a_p = (d_w - d_m)/2 \quad (1-4)$$

式中： a_p ——背吃刀量(mm)；

d_m ——工件已加工表面直径(mm)。

1.1.4 切削层横截面要素

切削层是指刀具切削部分的一个单一动作所切除的工件材料层。它的形状和尺寸规定在刀具的基面中度量。在车削加工中,工件每转一圈,刀具移动 f 距离,主切削刃相邻两个位置间的一层金属成为切削层,切削层在基面的横截面上的形状近似地等于平行四边形,如图 1-5 所示。

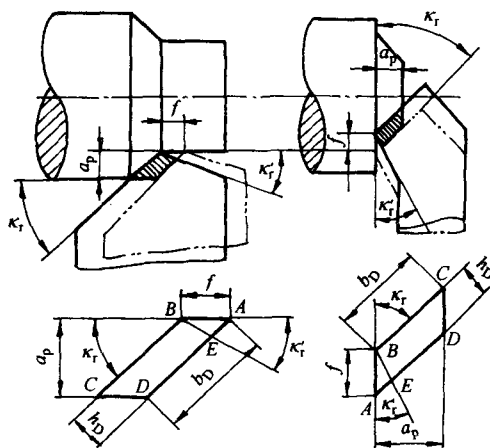


图 1-5 切削层要素

(a) 车外圆；(b) 车端面