

JIXIE ZHIZAO GONGYIXUE YUANLI
YU JISHU YANJIU

机械制造工艺学原理 与技术研究

主 编 陈 星 李明辉 魏永辉
副主编 龚建春 吕德永 张玉梅 商顺强



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

JIXIE ZHIZAO GONGYIXUE YUANLI
YU JISHU YANJIU

机械制造工艺学原理 与技术研究

主 编 陈 星 李明辉 魏永辉
副主编 龚建春 吕德永 张玉梅 商顺强



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要包括金属切削原理与刀具、切削物理现象、机床及夹具,机械加工精度及控制、表面质量及控制和加工工艺规程等基础内容。另外还详细阐述了典型零件的工艺简介、机器装配工艺规程、先进制造技术与模式研究以及柔性制造系统技术等内容。本书适用于高等院校机械制造专业、自动化专业、数控技术专业、模具设计与制造专业以及机电一体化专业等机械类专业的学生及教师参考阅读,也可以供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺学原理与技术研究/陈星,李明辉,
魏永辉主编. —北京:中国水利水电出版社,2014.1
ISBN 978-7-5170-1748-6

I. ①机… II. ①陈…②李…③魏… III. ①机械制
造工艺 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 024088 号

策划编辑:杨庆川 责任编辑:杨元泓 封面设计:崔 蕾

书 名	机械制造工艺学原理与技术研究
作 者	主 编 陈 星 李明辉 魏永辉 副主编 龚建春 吕德永 张玉梅 商顺强
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址:www. waterpub. com. cn E-mail:mchannel@263. net(万水) sales@waterpub. com. cn 电话:(010)68367658(发行部)、82562819(万水)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京鑫海胜蓝数码科技有限公司
印 刷	三河市天润建兴印务有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 24.75 印张 633 千字
版 次	2014 年 6 月第 1 版 2014 年 6 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	86.00 元



凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

机械制造工业是国民经济最重要的部门之一。它不仅能直接提供人民生活所需的消费品,而且为国民经济各部门提供技术装备,是国民经济的重要基础和支柱产业,其发展规模和水平对国民经济的发展有很大的制约和直接的影响,是一个国家经济实力和科学技术发展水平的重要标志,因而世界各国均把发展机械制造工业作为振兴和发展国民经济的战略重点之一。

机械制造工业的发展和进步,在很大程度上取决于机械制造技术的水平和发展。在科学技术高度发展的今天,现代工业对机械制造技术提出了越来越高的要求,推动着机械制造技术向前不断发展,同时科学技术的发展也为机械制造技术的发展提供了机遇和条件。特别是计算机技术的发展,使得常规机械制造技术与精密检测技术、数控技术、传感技术等有机结合更易于进行,给机械制造领域带来许多新技术、新概念,使产品质量和生产效率大大提高。而机械制造技术的发展又为其他高新技术的发展打下了坚实的基础、提供了可靠的保证,两者互相促进,共同提高,为社会和经济的快速发展做出了极大的贡献。

本书在编写过程中,始终贯彻“实际、实用、实效”的原则,将机械制造的主干知识进行了有机的综合,打破了传统书籍的固有体系。全书共分 11 章,主要包括:绪论、金属切削原理与刀具、金属切削机床及其加工方法、机械加工工艺规程的制定、机械加工精度及其控制、机械加工表面质量及其控制、机床夹具的设计方法、典型零件的加工工艺、机器装配工艺规程设计、先进制造技术与模式研究、柔性制造系统技术等。此外,本书还体现出以下几个特点:

(1)综合性。本书对机械制造相关知识进行了有机的综合化处理,体现了多方位知识的相互交叉和融合。

(2)先进性。本书更多地吸收了当前新知识、新技术、新工艺的内容,体现了知识的先进性。

(3)广泛性。本书涵盖了机械制造所涉及的全部内容,具有一定的实用性和实效性。

本书在编写过程中,参考了大量有价值的文献与资料,吸取了许多人的宝贵经验,在此向这些文献的作者表示敬意。由于编者水平有限,加上编写时间仓促,书中难免有不妥与错误之处,恳请专家、同行及广大读者批评指正。

编者

2013 年 12 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 机械制造业的现状与发展	1
1.2 机械制造工艺学的研究对象	4
第 2 章 金属切削原理与刀具	5
2.1 刀具的结构	5
2.2 刀具材料	15
2.3 金属切削过程及其物理现象	19
2.4 切削力与切削功率	25
2.5 切削热和切削温度	27
2.6 刀具磨损与刀具寿命	31
2.7 切削用量的选择及工件材料加工性	34
第 3 章 金属切削机床及其加工方法	38
3.1 金属切削机床概述	38
3.2 车削加工	45
3.3 铣削加工	59
3.4 钻削、铰削和镗削加工	66
3.5 磨削加工	79
3.6 齿轮加工	85
3.7 刨削与拉削加工	88
第 4 章 机械加工工艺规程的制定	96
4.1 概述	96
4.2 零件的工艺性分析及毛坯的选择	103
4.3 定位基准的选择	109
4.4 工艺路线的拟订	114
4.5 加工余量的确定	118
4.6 工序设计	121
4.7 工艺尺寸链	124
4.8 机械加工生产率和技术经济分析	131
4.9 制定机械加工工艺规程的实例	137
第 5 章 机械加工精度及其控制	140
5.1 概述	140
5.2 工艺系统的几何误差对加工精度的影响	144
5.3 工艺系统的受力变形对加工精度的影响	147
5.4 工艺系统的热变形对加工精度的影响	151
5.5 加工误差的统计分析	155
5.6 提高和保证加工精度的措施	159

第6章 机械加工表面质量及其控制	163
6.1 概述	163
6.2 影响加工表面粗糙度的因素及控制	167
6.3 影响加工表面物理力学性能的因素及控制	171
6.4 机械加工中的振动	174
第7章 机床夹具的设计方法	180
7.1 概述	180
7.2 工件在夹具中的定位	183
7.3 定位误差的分析与计算	186
7.4 工件在夹具中的夹紧	192
7.5 夹具的其他元件和装置	193
7.6 各类机床夹具及其设计特点	195
7.7 专用夹具的设计方法和步骤	208
7.8 计算机辅助夹具设计	210
第8章 典型零件的加工工艺	213
8.1 轴类零件加工工艺	213
8.2 套筒零件加工工艺	223
8.3 箱体类零件加工工艺	229
8.4 圆柱齿轮加工工艺	240
8.5 其他典型零件加工工艺	251
第9章 机器装配工艺规程设计	283
9.1 概述	283
9.2 装配尺寸链	294
9.3 保证装配精度的方法	296
9.4 装配工艺规程的制定	304
9.5 常用装配工具	307
9.6 典型传动装置的装配案例	313
第10章 先进制造技术与模式研究	316
10.1 概述	316
10.2 精密与超精密加工技术	317
10.3 特种加工技术	328
10.4 自动化加工技术	338
10.5 先进制造生产模式	353
第11章 柔性制造系统技术	364
11.1 柔性制造系统概述	364
11.2 柔性制造系统的加工系统	366
11.3 柔性制造系统的物料运储系统	371
11.4 柔性制造系统的刀具自动运输系统	379
11.5 柔性制造系统的控制结构	384
11.6 开放式单元控制器的功能模型	385
11.7 柔性制造系统的计划与调度	387
参考文献	389

第 1 章 绪论

1.1 机械制造业的现状与发展

1.1.1 机械制造业的现状

我国正处于经济发展的关键时期,制造技术是我国的薄弱环节,只有跟上先进制造技术的世界潮流,将其放在战略优先地位,并以足够的力度予以实施,才能尽快缩小与发达国家的差距,才能在激烈的市场竞争中立于不败之地。

20 世纪 70 年代以前,产品的技术相对比较简单,一个新产品上市,很快就会有相同功能的产品跟着上市。20 世纪 80 年代以后,随着市场全球化的进一步发展,市场竞争变得越来越激烈。

20 世纪 90 年代初,随着 CIMS 技术的大力推广应用,包括有 CIMS 实验工程中心和 7 个开放实验室的研究环境已建成。在全国范围内,部署了 CIMS 的若干研究项目,诸如 CIMS 软件工程与标准化、开放式系统结构与发展战略,CIMS 总体与集成技术、产品设计自动化、工艺设计自动化、柔性制造技术、管理与决策信息系统、质量保证技术、网络与数据库技术以及系统理论和方法等均取得了丰硕成果,获得不同程度的进展。但因大部分大型机械制造企业和绝大部分中小型机械制造企业主要限于 CAD 和管理信息系统,底层基础自动化还十分薄弱,数控机床由于编程复杂,还没有真正发挥作用。因此,与工业发达国家相比,我国的制造业仍然存在一个阶段性的整体上的差距。

目前,我国已加入 WTO,机械制造业面临着巨大的挑战与新的机遇。因此,我国机械制造业不能单纯地沿着 20 世纪凸轮及其机构为基础采用专用机床、专用夹具、专用刀具组成的流水式生产线发展,而是要全面拓展,面向“五化”发展,即全球化、网络化、虚拟化、自动化、绿色化。

1.1.2 机械制造业的发展

机械制造工业的发展和进步主要取决于机械制造技术水平的发展与进步。制造技术是完成制造活动所施行的一切手段的总和。这些手段包括运用一定的知识、技能,操纵可以利用的物质、工具,采取各种有效的方法等。制造技术是制造企业的技术支柱,是制造企业可持续发展的根本动力。在科学技术飞速发展的今天,现代工业对机械制造技术的要求也越来越高,这也就推动了机械制造技术不断向前发展。所以制造技术作为当代科学技术发展最为重要的领域之一,各发达国家纷纷把先进制造技术列为国家的高新关键技术和优先发展项目,给予了极大的关注。

目前,我国机械制造工业还远远落后于世界工业发达国家,我国制造业的工业增加值仅为美国的 22.4%,日本的 35.34%。科技仍处于较低水平,附加值高和技术含量大的产品生产能力不足,需大量进口,缺乏能够支持结构调整和产业技术升级的技术能力。传统的机械制造技术与国际先进水平相比,差距在 15 年左右。

因此,从事机械制造的技术人员应该不断地进行知识更新、拓宽技能和掌握高新技术,勇于实践,为我国机械制造业的发展奠定基础。

1. 向精密超精密方向发展

精密和超精密加工是在 20 世纪 70 年代提出的,在西方工业发达国家得到了高度重视和快速发展,在尖端技术和现代武器制造中占有非常重要的地位,是机械制造业最主要发展的方向之一。在提高机电产品的性能、质量和发展高新技术中起着至关重要的作用,并且已成为在国际竞争中取得成功的关键技术。

目前,精密和超精密加工已在光电一体化设备仪器、计算机、通信设备、航天航空等工业中得到广泛应用。在许多高新技术产品的设计中已大量提出微米级、亚微米级及纳米级加工精度的要求。当前超精密加工的最高精度已达到了纳米,出现了纳米加工。例如 1 nm 的加工精度已在光刻机透镜等零件的生产中实现。随着超大规模集成电路集成度的增加,生产这种电路光刻机透镜的形位误差加工精度将达到 0.3~0.5 nm。人造卫星仪表轴承的孔和轴的表面粗糙度要求达到 $Ra < 1$ nm。某些发动机的曲轴和连杆的加工精度要求也达到微米、亚微米。目前超精密切削技术和机床的研究也取得了许多重要成果。用金刚石刀具和专用超精密机床可实现 1 nm 切削厚度的稳定切削。中小型超精密机床达到的精度:主轴回转精度 $0.05\ \mu\text{m}$,加工表面粗糙度 $Ra\ 0.01\ \mu\text{m}$ 以下。

最近新发展的在线电解修整砂轮(ELID)精密镜面磨削是一项磨削新技术,可以加工出 $Ra\ 0.02\sim 0.002\ \mu\text{m}$ 的镜面。精密研磨抛光可以加工出 $Ra\ 0.01\sim 0.002\ \mu\text{m}$ 的镜面。目前,量块、光学平晶、集成电路的硅基片等,都是最后用精密研磨达到高质量表面的。

20 世纪 90 年代初,利用精密特种加工方法发展了微型机械,已广泛应用于生物工程、医疗卫生和国防军事等方面。出现了微型人造卫星、微型飞机、微型电机、微型泵和微型传感器等微型机械,微型电机外径为 $420\ \mu\text{m}$,转子直径为 $200\ \mu\text{m}$,微型齿轮的外径为 $120\ \mu\text{m}$ 。

精密和超精密加工将从亚微米级向纳米级发展,以纳米技术为代表的超精密加工技术和以微细加工为手段的微型机械技术代表了这一时期精密工程的方向。由于航天、航空、生物化学、地球物理等技术的发展,超精密加工已深入到物质的微观领域,从分子加工、原子加工向量子级加工迈进,制造出更多类型的微型机械。

2. 向高速超高速加工方向发展

切削加工是机械加工应用最广泛的方法之一,而高速是它的重要发展方向,其中包括高速软切削、高速硬切削、高速干切削、大进给切削等。高速切削能大幅度提高生产效率,改善加工表面质量,降低加工费用。高速超高速加工是伴随着高速主轴、高速加工机床结构、高速加工刀具及其润滑系统的不断改进而发展起来的。为了满足高速加工的需要,相继发展了陶瓷轴承主轴、静压轴承主轴、空气轴承主轴、磁浮轴承主轴,使主轴转速可高达 $100000\ \text{r/min}$ 。由于高速切削机床和刀具技术及相关技术的迅速进步,高速切削技术已应用于航空、航天、汽车、模具、机床等行业中。对于大多数工件材料而言,超高速加工是指高于常规加工速度 5 倍以上的加工。目前在工业发达国家采用的超高速切削速度一般为:车削为 $700\sim 7000\ \text{m/min}$,铣削为 $300\sim 6000\ \text{m/min}$,钻削为 $200\sim 1100\ \text{m/min}$,磨削为 $5000\sim 10000\ \text{m/min}$ 。高速切削还在进一步发展中,预计铣削加工铝的切削速度可达到 $10000\ \text{m/min}$,加工普通钢也将达到 $2500\ \text{m/min}$ 。这样切削速度大约超出目前普通机床常用切削速度的 10 倍左右。

3. 向自动化方向发展

自动化是先进制造技术的最重要部分之一,是机械制造业的发展方向。20世纪60年代以来,一些工业发达的国家,在达到高度工业化的水平以后,就开始了从工业社会向信息社会过渡的时期。对机械制造业来说,对它的发展影响最大的是电子计算机的应用,出现了所谓机电一体化新概念。出现了一系列新技术如:机床数字控制、计算机数字控制、计算机直接控制、计算机辅助制造、计算机辅助设计、成组技术、计算机辅助工艺规程编制、工业机器人等新技术。对这些技术的综合运用的结果,在20世纪80年代初已经得到广泛的生产应用,成为制造业中的重中之重,其应用范围在不断扩大。随着FMS技术的发展,现在FMS不仅能完成机械加工,而且还能完成钣金加工、锻造、焊接、铸造、装配、激光、电火花等特种加工。从整个制造业生产的产品看,现在FMS已不再局限于汽车、机床、飞机、坦克、船舶等,还可用于半导体、木制产品、服装、食品以及药品和化工产品等。FMS也是计算机集成制造系统的重要组成部分。计算机集成制造系统将使设计、制造、管理、供销、财务都用计算机统一管理,实现工厂的全盘计算机管理自动化。目前,柔性制造技术重点向快速可重组制造系统和组态式柔性制造单元两个方向发展。在上述系统或单元的基础上,分散在不同地域的企业动态联盟,可利用国际互联网建立制造资源信息网络,以订单为纽带进行资源重组,从而建立分散网络化制造系统。

CAD/CAM一体化技术的发展应用,大大地缩短了产品的研制开发周期,同时也促进了设计思想的变化。设计时考虑制造工艺的思想现已被更多的人接受,在保证产品性能要求的前提下大大减少了制造加工成本。在集成制造系统的基础上发展起来的并行工程,是将设计、工艺准备、加工制造、装配、调试工作从串联作业改成前后衔接的并行作业,大大缩短生产周期,降低了成本。最近提出的敏捷制造技术将柔性自动化技术发展到一个新高度,通过因特网将不同工厂的计算机管理和自动化技术有机地组织起来,发挥各单位的特长,利用计算机仿真和虚拟制造技术,实现异地新产品设计、异地制造和装配,达到产品的快速、高效、优质、低成本的生产。

先进制造技术广泛融合了各种高新技术,正朝着信息化、极限化、绿色化的方向发展。它的发展以及由它生产的产品除了上述特点外,还体现出以下特点:

①柔性化。其自身适应性强,变换灵活,能迅速满足外界变化要求,如柔性夹具、柔性基础、柔性制造系统。

②智能化。它又称傻瓜式,具有一定的“思维”能力,在场境、条件、参数变化时,能模仿人脑功能,自我分析、判断、学习,并能协调和处理发生的问题,自动适应变化,自律运动,因此它对操作人员的要求较低,如智能导航仪、智能机器人等。

③个性化。社会市场正从大众化市场向小众化市场发展,因此产品也必须根据不同的市场和用户需求,敏捷地生产出贴合用户要求、富有个性化的产品,满足用户对产品求新求异的心理。

④人性化。人性化的产品应是技术和艺术、文化的高度完美统一,实现人机和谐。它使用安全、卫生、可靠、舒适、得心应手,能满足人们日益增长的生活、消费和审美情趣的要求。

⑤绿色环保化。产品具有绿色、环保、清洁、节能和可持续发展的理念,它在生产、使用阶段,以及寿命周期后的处理,都突出低污染、低消耗、减量化、再利用、再循环等特点,如资源循环型制造、再制造技术等。

⑥模块化。它综合了功能分割技术、接口技术和可重构技术,科学地将系列产品划分成模块,再选用相应的模块,迅速地重构能满足用户不同需求的产品。模块化能较好解决多品种、低成本、短周期之间的矛盾;也是在“小批量、多品种”要求下,组织集约型生产的有效途径。

⑦网络化。利用信息网络技术平台,进行异地信息联网,实现资源共享。充分调动各自的积极因素,优势互补,并行作业,远程调控,发挥个体在群体中的协同作用。

1.2 机械制造工艺学的研究对象

一个机械产品的制造过程包括零件制造、整机装配等一系列的工作,零件的加工实质是零件表面的成形过程,这些成形过程是由不同的加工方法来完成的。在一个零件上,被加工表面类型不同,所采用的加工方法也就不同;同一个被加工表面,精度要求和表面质量要求不同,所采用的加工方法和加工方法的组合也不同。因而机械制造技术的主要内容包括:

①各种加工方法和由这些方法构成的加工工艺。

②在机械加工中,由机床、刀具、夹具与被加工工件一起构成了一个实现某种加工方法的整体系统,这一系统称为机械加工工艺系统。工艺系统的构成是加工方法选择和加工工艺设计时必须考虑的问题。

③为了保证加工精度和加工表面质量,需要对加工工艺过程的有关技术参数进行优化选择,实现对加工过程的质量控制。

因而工艺系统、表面成形和切削加工的基本知识是本课程的主体。这部分内容是机械类学生的专业知识结构中机械制造技术知识的重要组成部分。通过本课程的学习,使学生掌握机械制造技术的基本加工技术和基本理论,再通过后续课程的学习,进一步掌握先进制造技术的有关知识,从而为将来胜任不同岗位的专业技术工作、掌握先进制造技术手段应用、具备突出的工程实践能力奠定良好的基础。为实现这一目的,本课程的学习要求主要有以下几方面:

①掌握机械制造过程中工艺系统、表面成形和切削加工的基本知识,掌握常用加工方法及其工艺装备的基本知识。

②掌握常用加工方法的综合应用和机械加工工艺、装配工艺设计的方法,掌握工艺装备选用与设计的方法。

③初步具备解决机械制造过程中工艺技术问题的能力和产品质量控制的能力。

机械制造技术是实践性、实用性、综合性、经验性、专业性、工程性很强的学科。因此,在注意掌握基本概念和基本方法的同时,要注重联系实际,注重积累实际经验和知识;做到学、想、练、做结合,在学习机械制造专业知识、专业技能和职业素质中,不断提升分析、处理、解决实际问题的能力。

第2章 金属切削原理与刀具

2.1 刀具的结构

金属切削刀具的种类很多,形状也各不相同,但它们切削部分的几何形状与参数方面却有着共同的内容,因而不论刀具构造多么复杂,也不论是单齿刀具或多齿刀具,就它们单个齿的切削部分而言,可以视为从外圆车刀的切削部分演变而来的。

图 2-1 所示为一把常见的外圆车刀,它由刀杆和刀头两部分组成。刀杆是车刀的夹持部分,刀头是车刀的切削部分,承担切削作用,它由以下几部分组成:

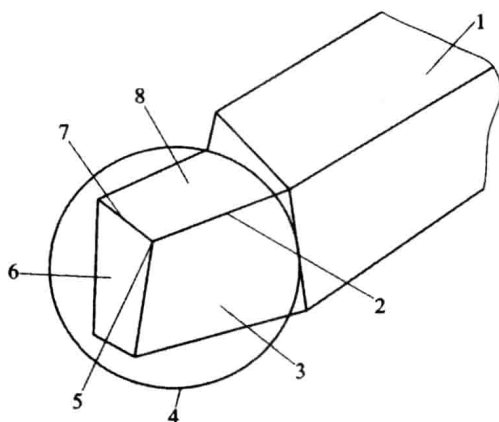


图 2-1 外圆车刀

1—刀杆;2—主切削刃;3—主后刀面;4—切削部分
5—刀尖;6—副后刀面;7—副切削刃;8—前刀面

①前刀面 A_f : 刀具上切屑流出经过的表面,称为前刀面。

②主后刀面 A_a : 与工件上过渡表面相对的表面,称为主后刀面。

③副后刀面 A'_a : 与工件上的已加工表面相对的表面,称副后刀面。

④主切削刃 S : 前刀面与主后刀面的交线称为主切削刃,在切削过程中,它承担主要切削工作。

⑤副切削刃 S' : 前刀面与副后刀面的交线,称为副切削刃。它配合主切削刃完成切削工作,并形成工件上的已加工表面。

⑥刀尖: 主切削刃和副切削刃的连接部分,或者是主切削刃和副切削刃的交点。但在实际应用中,为了增强刀尖的强度和耐磨性,大多数情况下是在刀尖处磨成一小段直线或圆弧的过渡刀刃。具体可见图 2-2 所示的刀尖的形状。

应该注意: 刀具每条切削刃都可以有自己的前刀面和后刀面,但为了制造和刃磨方便。往往是几条切削刃处在同一个前刀面上。

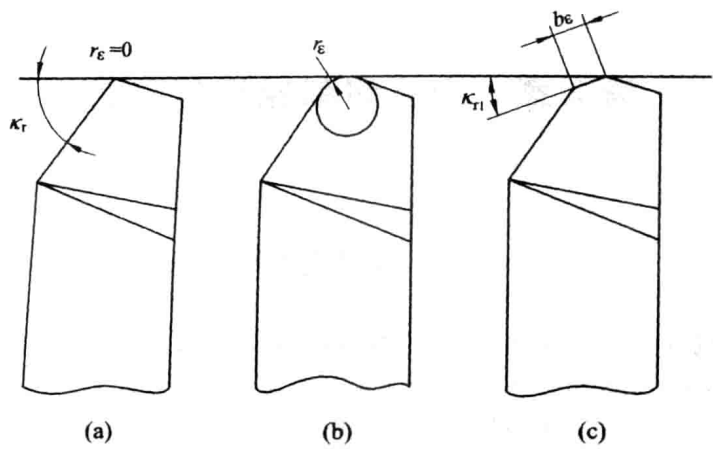


图 2-2 刀尖的形状

2.1.1 刀具几何角度

金属切削加工的刀具种类繁多,尽管有的刀具的结构相差很大,但刀具切削部分却具有相同的几何特征。

(1) 刀具角度参考平面

切削平面:通过切削刃选定点与切削刃相切并垂直于基面的平面。

主切削平面:通过切削刃选定点与主切削刃相切并垂直于基面的平面。它切于过渡表面,也就是说它是由切削速度方向与切削刃切线组成的平面。

副切削平面:通过切削刃选定点与副切削刃相切并垂直于基面的平面。

基面:通过切削刃选定点垂直于合成切削速度方向的平面。在刀具静止参考系中,它是过切削刃选定点的平面,平行或垂直于刀具在制造、刃磨和测量时适合于安装或定位的一个平面或轴线,一般说来其方位要垂直于假定的主运动方向。

假定工作平面:在刀具静止参考系中,它是过切削刃选定点并垂直于基面,平行或垂直于刀具在制造、刃磨和测量时适合于安装或定位的一个平面或轴线,一般说来,其方位要平行于假定的主运动方向。

法平面:通过切削刃选定点并垂直于切削刃的平面。

(2) 刀具角度参考系

刀具角度参考系包括正交平面参考系和法平面参考系。

1. 刀具标注角度

用于定义和规定刀具角度的各基准坐标平面称为参考系。参考系有两类:

① 刀具标注角度参考系或静止参考系:刀具设计、刃磨和测量的基准,用此定义的刀具角度称刀具标注角度。

② 刀具工作参考系:确定刀具切削工作时角度的基准,用此定义的刀具角度称刀具工作角度。

为了便于测量车刀,在建立刀具静止参考系时,特作以下假设:

① 不考虑进给运动的影响,即 $f=0$ 。

② 安装车刀时,刀柄底面水平放置,且刀柄与进给方向垂直;刀尖与工件回转中心等高。

由此可见,静止参考系是在简化了切削运动和设立标准刀具位置的条件下建立的参考系。

(1) 正交平面参考系中刀具标注角度

正交平面参考系由三个平面组成:基面 P_r 、切削平面 P_s 和正交平面 P_o ,组成一个空间直角坐标系,如图 2-3 所示。

①基面 P_r :指过主切削刃选定点,并垂直于该点切削速度方向的平面。车刀的基面可理解为平行刀具底面的平面。

②切削平面 P_s :指过主切削刃选定点,与主切削刃相切,并垂直于该点基面的平面。

③正交平面 P_o :指过主切削刃选定点,同时垂直于基面与切削平面的平面。

如图 2-4 所示,在正交平面参考系内标注角度如下。

在基面内定义的角度有:

①主偏角 κ_r :主切削刃与进给运动方向之间的夹角。主偏角一般在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。

②副偏角 κ'_r :是指副切削刃在基面上的投影与假定进给反方向之间的夹角。

在切削平面内定义的角度有刃倾角 λ_s ,是指主切削刃与基面之间的夹角。切削刃与基面平行时,刃倾角为零;刀尖位于刀刃最高点时,刃倾角为正;刀尖位于刀刃最低点时,刃倾角为负。

过副切削刃上选定点且垂直于副切削刃在基面上投影的平面称为副正交平面。过副切削刃上选定点的切线且垂直于基面的平面称为副切削平面。副正交平面、副切削平面与基面组成副正交平面参考系。

在副正交平面内定义的角度有副后角 α'_o ,是指副后刀面与副切削平面之间的夹角。

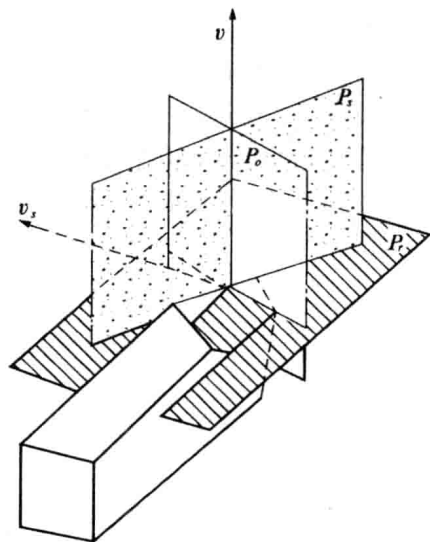


图 2-3 正交平面参考系

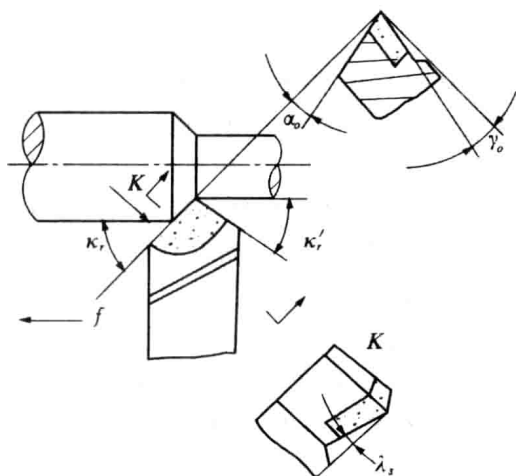


图 2-4 正交平面参考系标注角度

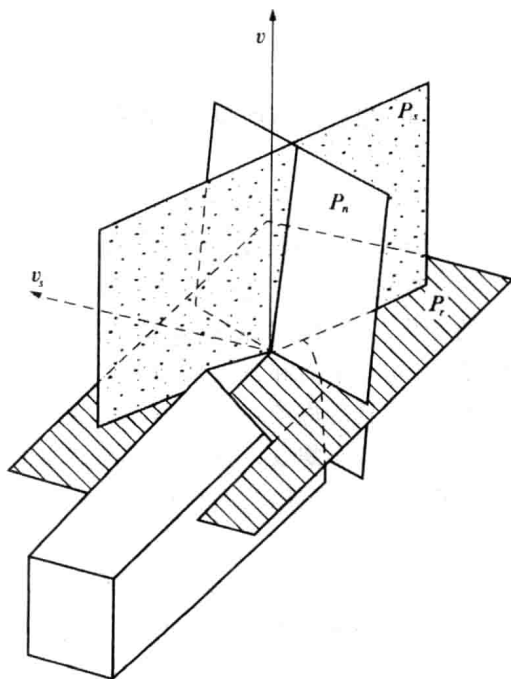


图 2-5 法平面参考系

(2) 其他参考系刀具标注角度

在标注可转位刀具或大刃倾角刀具时,常用法平面参考系。如图 2-5 所示,法平面参考系由 P_r 、 P_s 、 P_n (法平面) 三个平面组成。法平面 P_n 是过主切削刃某选定点并垂直于切削刃的平面。

如图 2-6 所示,在法平面参考系内的标注角度有:

- ① 法前角 γ_n : 是指在法平面内测量的前刀面与基面之间的夹角。
- ② 法后角 α_n : 是指在法平面内测量的后刀面与切削平面之间的夹角。

其余角度与正交平面参考系的相同。

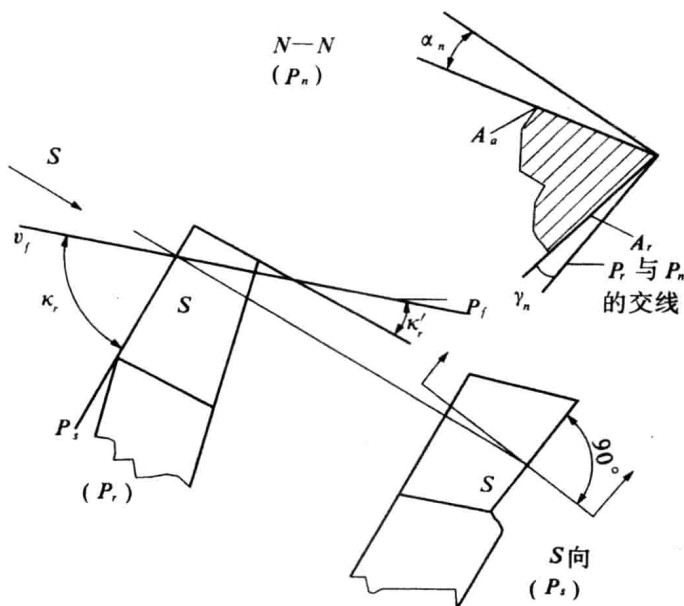


图 2-6 法平面参考系标注角度

法前角、法后角与前角、后角可由下列公式进行换算:

$$\tan \gamma_n = \tan \gamma_o \cos \lambda_s$$

$$\cot \alpha_n = \cot \alpha_o \cos \lambda_s$$

2. 刀具工作角度

在实际的切削加工中,由于车刀的安装位置和进给运动的影响,上述车刀的标注角度会发生一定的变化。角度变化的根本原因是基面、切削平面和正交平面位置的影响。以切削过程中实际的基面、切削平面和正交平面为参考系所确定的刀具角度称为刀具的工作角度,又称实际角度。通常,刀具的进给速度很小,因此在正常的安装条件下,刀具的工作角度与标注角度基本相等。但在切断、车螺纹以及加工非圆柱表面等情况下,进给运动的影响就不能不考虑。为保证刀具具有合理的切削条件,这时应根据刀具的工作角度来换算出刀具的标注角度。

(1) 横向进给运动对工作角度的影响

如图 2-7 所示为切断车刀加工的情况。加工时,切断车刀作横向直线进给运动,即工件转一转,车刀横向移动距离 f 。因此切削速度由 v_c 变至合成切削速度 v_e ,因而基面 P_r 由水平位置变至工作基面 P_{re} ,切削平面 P_s 由铅垂位置变至工作切削平面 P_{se} 。从而引起刀具的前角和后角发生变化:

$$r_{0e} = r_0 + \mu \quad (2-1)$$

$$\alpha_{0e} = \alpha_0 - \mu \quad (2-2)$$

$$\mu = \arctan \frac{f}{\pi d} \quad (2-3)$$

式中, r_{0e} 、 α_{0e} ——工作前角和工作后角。

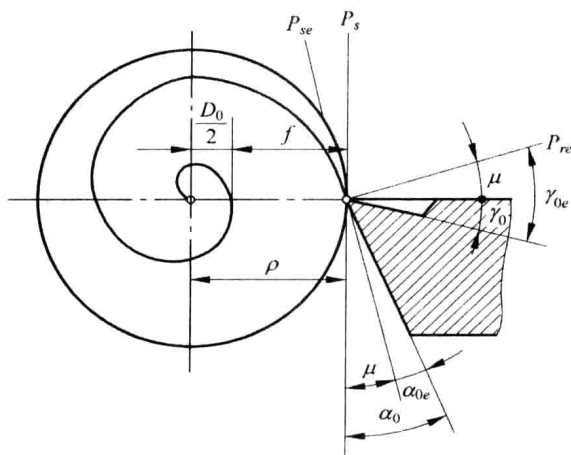


图 2-7 横向进给运动对工作角度的影响

由式(2-3)可知,当进给量 f 增大,则 μ 值增大;当瞬时直径 d 减小, μ 值也增大。

因此,车削至接近工件中心时, μ 值增大很快,工作后角将由正变负,致使工件最后被挤断。

(2) 轴向进给运动对工作角度的影响

如图 2-8 所示,车削外圆时,假定车刀 $\lambda_s = 0$,如不考虑进给运动,则基面 P_r 平行于刀杆底面,切削平面 P_s 垂直于刀杆底面。若考虑进给运动,则过切削刃上选定点的相对速度是合成切削速度 v_e ,而不是主运动 v_c ,故刀刃上选定点相对于工作表面的运动就是螺旋线。这时基面 P_r 和切削平面 P_s 就会在空间偏转一定的角度 μ ,从而使刀具的工作前角 r_{0e} 增大,工作后角 α_{0e} 减小:

$$r_{0e} = r_0 + \mu \quad (2-4)$$

$$\alpha_{0e} = \alpha_0 - \mu \quad (2-5)$$

$$\tan \mu = \frac{f \sin \kappa_r}{\pi d_w} \quad (2-6)$$

由式(2-6)可知,进给量 f 越大,工件直径 d_w 越小,则工作角度值的变化就越大。一般车削时,由进给运动所引起的 μ 值不超过 $30' \sim 1^\circ$,故其影响常可忽略。但是在车削大螺距螺纹或蜗杆时,进给量 f 很大,故 μ 值较大,此时就必须考虑它对刀具工作角度的影响。

(3) 刀具安装高低对工作角度的影响

车削外圆时,车刀的刀尖一般与工件轴线是等高的。若车刀的刃倾角为 $\lambda_s = 0$,则此时刀具的工作前角和工作后角与标注前角和标注后角相等。如果刀尖高于或低于工件轴线,则此时的切削速度方向发生变化,引起基面和切削平面的位置改变,从而使车刀的实际车削角度发生变化。具体可见图 2-9 所示,刀尖高于工件轴线时,工作切削平面变为 P_w 工作基面变为 P_{re} ,则工作前角 r_{0e} 增大,工作后角 α_{0e} 减小;刀尖低于工件轴线时,则工作角度的变化正好相反:

$$r_{0e} = r_0 \pm \theta$$

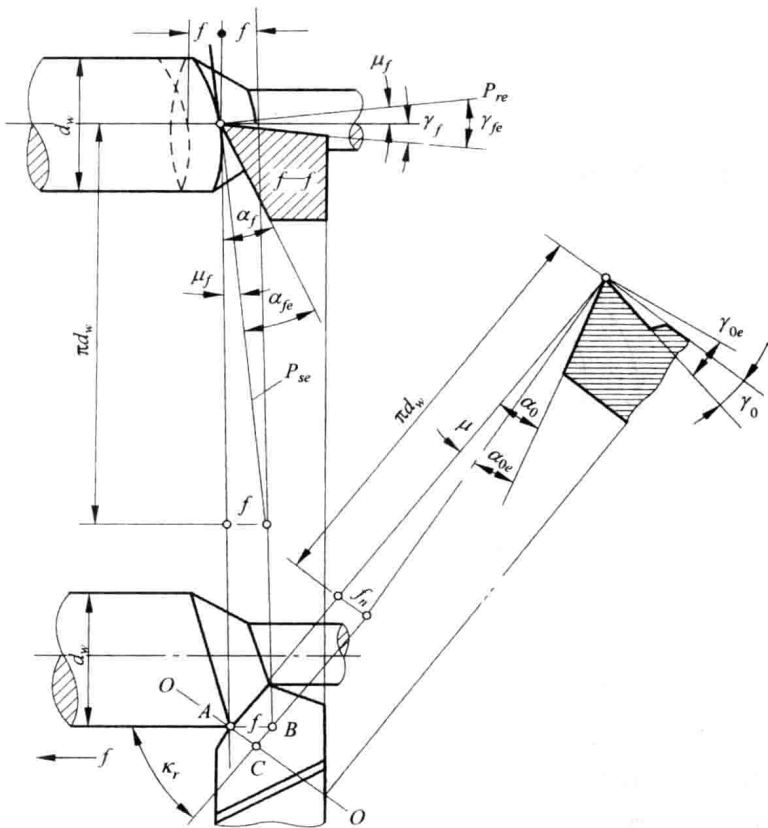


图 2-8 轴向进给运动对工作角度的影响

$$\alpha_{0e} = \alpha_0 \mp \theta$$
$$\tan \theta = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{d_w}{2}\right)^2 - h^2}} \cos \kappa_r$$

上式中, h ——刀尖高于或低于工件轴线的距离(mm)。

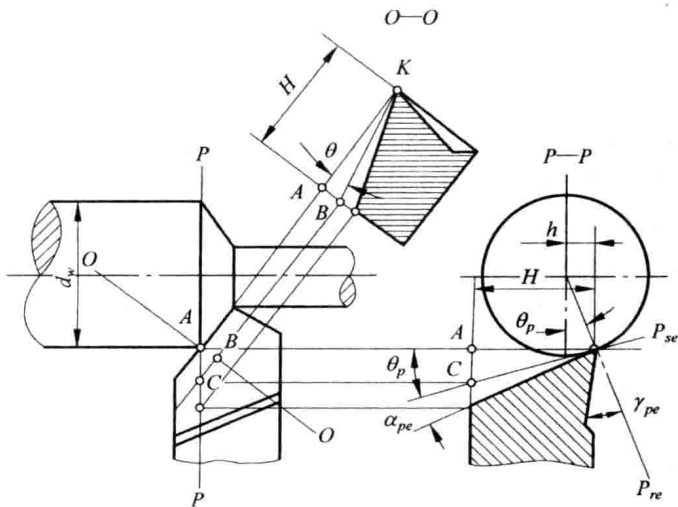


图 2-9 刀具安装高低对工作角度的影响

(4) 刀杆中心线偏斜对工作角度的影响

当车刀刀杆的中心线与进给方向不垂直时,车刀的主偏角 κ_r 和副偏角 κ'_r 将发生变化。刀杆右斜,如图 2-10 所示,将使工作主偏角 κ_{re} 增大,工作副偏角 κ'_{re} 减小;如果刀杆左斜,则 κ_{re} 减小, κ'_{re} 增大:

$$\kappa_{re} = \kappa_r \pm \varphi$$

$$\kappa'_{re} = \kappa'_r \mp \varphi$$

式中, φ ——进给方向的垂线与刀杆中心线间的夹角。

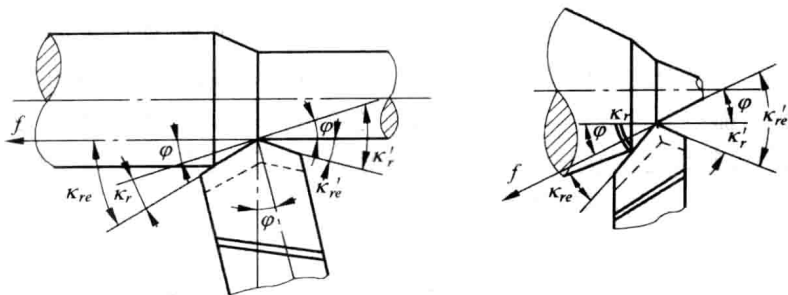


图 2-10 刀杆中心线与进给方向不垂直对工作角度的影响

2.1.2 刀具几何参数的选择

刀具几何参数主要包括刃形、刀面形式、刃口形式和刀具角度等。刀具合理几何参数是指在保证加工质量和刀具寿命的前提下,能达到提高生产效率,降低制造、刃磨和使用成本的刀具几何参数。

1. 刃形、刀面形式与刃口形式

(1) 刃形与刀面形式

刃形是指切削刃的形状,有直线刃和空间曲线刃等刃形。合理的刃形能强化切削刃、刀尖,减小单位刃长上的切削负荷,降低切削热,提高抗振性,提高刀具寿命,改变切屑形态,方便排屑,改善加工表面质量等。

刀面形式主要是前刀面上的断屑槽、卷屑槽等。

(2) 刃口形式

刃口形式是切削刃的剖面形式。刀具或刀片在精磨之后,有时需对刃口进行钝化,以获得好的刃口形式,经钝化后的刀具能有效提高刃口强度、提高刀具寿命和切削过程的稳定性。有一个好的刃口形式和刃口钝化质量是刀具优质高效地进行切削加工的前提之一。从国外引进数控机床和生产线所用刀具,其刃口已全部经钝化处理。研究表明,刀具刃口钝化可有效延长刀具寿命 200% 或更多,大大降低刀具成本,给用户带来巨大的经济效益。图 2-11 所示为几种常用的刃口形式。

① 锋刃。锋刃刃磨简便、刃口锋利、切入阻力小,特别适于精加工刀具。锋刃的锋利程度与刀具材料有关,与楔角的大小有关。

② 倒棱刃。又称负倒棱,能增强切削刃,提高刀具寿命。加工各种钢材的硬质合金刀具、陶瓷刀具,除了微量切削加工外,都需磨出倒棱刃。一般加工条件下,取 $b_r = (0.3 \sim 0.8)f$, f 为进给量; $r_{o1} = -10^\circ \sim -15^\circ$; 粗加工锻件、铸钢件或断续切削时, $b_r = (1.3 \sim 2)f$, $r_{o1} = -10^\circ \sim -15^\circ$ 。