



高等职业教育 **机械大类** 规划教材系列

机械制造技术

曾维林 吴连连 / 主 编
黄丽燕 刘文倩 胡 江 / 副主编



科学出版社
www.sciencep.com

高等职业教育机械大类规划教材系列

机械制造技术

曾维林 吴连连 主 编
黄丽燕 刘文倩 胡 江 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是为了满足高等职业学院机械类专业培养高素质技能型专门人才的教学需求而编写的。通过金属切削原理及刀具、机床夹具设计基础、金属切削机床及其加工方法、机械加工工艺规程设计、机械加工质量技术分析、典型零件加工工艺分析和机械装配工艺基础等7个章节系统地介绍了机械产品制造的加工原理、工艺过程和方法以及相应的加工机床、刀具、夹具等的基本知识及其应用技巧。

本书在内容的选择上以实际岗位的“必需和够用”为原则进行了针对性的调整，全书的结构编排则充分考虑了学科的综合性及体系的完整性。

本书可作为高职高专机械类专业教材，也可供广大从事机械制造工作的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术/曾维林, 吴连连主编. —北京: 科学出版社, 2009
(高等职业教育机械大类规划教材系列)
ISBN 978-7-03-024998-2

I. 机… II. ①曾…②吴… 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 (2009) 第 118047 号

责任编辑: 庞海龙 张雪梅/责任校对: 柏连海

责任印制: 吕春珉/封面设计: 天妹设计

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

张庄印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销 *

2009 年 9 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2009 年 9 月 第一次印刷 印张: 21 3/4

印数: 1—3 000 字数: 493 000

定价: 32.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62135793-8999 (VA03)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

机械制造技术是将原材料转变为产品的技术,是研究机械产品制造的加工原理、工艺过程和方法以及相应的加工机床、刀具、夹具的一门综合工程技术,是发展及应用现代先进制造技术的基础和前提,也是现代制造业赖以发展的关键基础技术。因此,“机械制造技术”已经成为高职高专机械类专业的主干专业课程之一。

机械制造技术包含了金属切削原理与刀具、金属切削机床、机床夹具设计、机械制造工艺等多个既各成体系又密切联系与相互渗透的领域,覆盖面广、综合性强,内容上也是既有理论研究又有实际应用,既重逻辑推理又有经验总结,其知识总量无论是在广度还是深度上均具有相当大的弹性和可裁减性。因此,如何立足高等职业教育教学方式和培养目标的实际,既要在内容上权衡取舍,又要充分考虑知识的完整性和学科自身的规律,是本书编写过程中始终贯彻的指导思想和基本原则。

本书共分7章,在结构上尽可能地做到紧凑和精炼;在内容上把握了基础理论“以必需和够用为度”,注重实例分析和应用技巧的介绍;在表达形式上尽可能地简化推导过程,侧重方法分析和结论引用,同时配有大量图表,充分保证学生易学、易懂。

本书由吴连连编写绪论和第4章,黄丽燕编写第1章,胡江编写第2章,曾维林编写第3章,刘文倩编写第5章,林娟编写第6章,黄爱华编写第7章。

由于编者水平有限,书中难免存在不足和疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

目 录

前言

绪论	1
----	---

第 1 章 金属切削原理及刀具	5
-----------------	---

1.1 概述	5
--------	---

1.1.1 切削运动	5
------------	---

1.1.2 切削过程中工件的表面	6
------------------	---

1.1.3 切削用量	6
------------	---

1.2 金属切削刀具	7
------------	---

1.2.1 刀具的组成	7
-------------	---

1.2.2 刀具静止角度参考系及其标注角度	8
-----------------------	---

1.2.3 刀具的工作角度	12
---------------	----

1.2.4 刀具材料	14
------------	----

1.2.5 刀具种类介绍	18
--------------	----

1.3 切削层参数与切削方式	20
----------------	----

1.3.1 切削层参数	20
-------------	----

1.3.2 切削方式	21
------------	----

1.4 金属切削过程中的物理现象及规律	22
---------------------	----

1.4.1 切屑的类型及其影响因素	22
-------------------	----

1.4.2 切削变形及其影响因素	25
------------------	----

1.4.3 切削力及其影响因素	30
-----------------	----

1.4.4 切削热和影响切削温度的因素	34
---------------------	----

1.4.5 刀具磨损与刀具的耐用度	36
-------------------	----

1.4.6 切削液的合理选择	40
----------------	----

1.4.7 刀具几何参数和切削用量的合理选择	44
------------------------	----

思考与练习	48
-------	----

第 2 章 机床夹具设计基础	51
----------------	----

2.1 机床夹具的作用、分类与组成	51
-------------------	----

2.1.1 机床夹具在机械加工中的作用	51
---------------------	----

2.1.2 机床夹具的分类	52
---------------	----

2.1.3 机床夹具的组成	53
---------------	----

2.2 工件在夹具中的定位	54
---------------	----

2.2.1 六点定位原理	54
--------------	----

2.2.2 限制工件自由度与加工要求的关系	58
-----------------------	----



2.2.3 基准及定位副	61
2.2.4 定位元件	62
2.2.5 定位误差的分析与计算	66
2.3 工件在夹具中的夹紧	71
2.3.1 夹紧装置的组成和基本要求	71
2.3.2 夹紧力三要素设计原则	72
2.3.3 减小夹紧变形的办法	75
2.3.4 常用的夹紧装置	75
2.4 机床夹具的基本要求和设计步骤	82
2.4.1 机床夹具的基本要求	82
2.4.2 机床夹具的设计步骤	83
思考与练习	84
第3章 金属切削机床及其加工方法	86
3.1 金属切削机床的基础知识	86
3.1.1 机床的分类与型号	86
3.1.2 机床的运动	89
3.1.3 机床的传动	91
3.1.4 数控机床	94
3.2 车削加工	97
3.2.1 车床	97
3.2.2 车床夹具及工件的装夹	109
3.2.3 车刀及其选用	114
3.2.4 典型车削方法	117
3.3 铣削加工	123
3.3.1 铣床	124
3.3.2 万能分度头	127
3.3.3 铣刀	130
3.3.4 铣削加工方式	132
3.4 钻削、铰削和镗削加工	134
3.4.1 钻削加工	135
3.4.2 铰削加工	141
3.4.3 镗削加工	142
3.5 磨削加工	148
3.5.1 磨削运动	148
3.5.2 磨床	149
3.5.3 砂轮的特性与选择	155
3.6 齿面加工	158



3.6.1 齿面切削加工原理·····	158
3.6.2 滚齿·····	160
3.6.3 插齿·····	162
思考与练习·····	164
第4章 机械加工工艺规程设计 ·····	166
4.1 概述·····	166
4.1.1 生产过程与工艺过程·····	166
4.1.2 生产纲领与生产类型·····	169
4.1.3 机械加工工艺规程·····	171
4.2 零件的工艺分析和毛坯的选择·····	175
4.2.1 零件的工艺分析·····	175
4.2.2 毛坯的选择·····	178
4.3 定位基准及其选取·····	181
4.3.1 基准的基本概念和分类·····	181
4.3.2 定位基准的选择·····	183
4.4 机械加工工艺路线的制订·····	186
4.4.1 表面加工方法的选择·····	187
4.4.2 加工阶段的划分·····	189
4.4.3 工序的划分·····	190
4.4.4 工序顺序的安排·····	191
4.4.5 加工余量的确定·····	193
4.4.6 工序尺寸及公差的确 定·····	196
4.4.7 机床及工艺装备的选择·····	197
4.4.8 切削用量的估算·····	198
4.5 工艺尺寸链·····	198
4.5.1 尺寸链的基本概念·····	198
4.5.2 尺寸链的计算·····	200
4.5.3 典型工艺尺寸链的分析计算·····	202
4.6 工艺过程技术经济分析·····	206
4.6.1 时间定额的估算·····	206
4.6.2 提高机械加工生产率的工艺措施·····	207
4.6.3 机械加工工艺过程的技术经济分析·····	209
思考与练习·····	211
第5章 机械加工质量技术分析 ·····	213
5.1 机械加工精度·····	213
5.1.1 简述·····	213
5.1.2 影响加工精度的因素·····	214



5.1.3	工艺系统的几何误差	215
5.1.4	工艺系统受力变形对加工精度的影响	220
5.1.5	工艺系统热变形对加工精度的影响	224
5.1.6	工件内应力对加工精度的影响	226
5.1.7	提高机械加工精度的途径	227
5.1.8	加工误差的综合分析	229
5.2	机械加工表面质量	233
5.2.1	机械加工表面质量的基本概念	234
5.2.2	影响表面质量的工艺因素	237
5.2.3	控制表面质量的工艺途径	239
5.2.4	机械加工过程中的振动及其控制	243
	思考与练习	248
第6章	典型零件加工工艺分析	249
6.1	轴类零件的加工	249
6.1.1	简述	249
6.1.2	轴类零件加工的主要工艺问题	251
6.1.3	轴类零件加工工艺分析实例	259
6.2	套类零件的加工	267
6.2.1	简述	267
6.2.2	套类零件加工的主要工艺问题	268
6.2.3	套类零件加工工艺分析实例	278
6.3	箱体类零件的加工	280
6.3.1	简述	280
6.3.2	箱体类零件加工的主要工艺问题	283
6.3.3	箱体类零件加工工艺分析实例	297
	思考与练习	301
第7章	机械装配工艺基础	305
7.1	概述	305
7.1.1	装配的概念	305
7.1.2	装配工作的基本内容和组织形式	305
7.1.3	装配精度及其与零件精度的关系	307
7.2	装配尺寸链	309
7.2.1	基本概念	309
7.2.2	装配尺寸链的建立	310
7.2.3	装配尺寸链的计算	313
7.3	保证装配精度的工艺方法	313
7.3.1	互换装配法	314



7.3.2 选配装配法.....	317
7.3.3 修配装配法.....	319
7.3.4 调整装配法.....	321
7.3.5 装配方法的选择.....	324
7.4 装配工艺规程的制订	324
7.4.1 制订装配工艺规程的基本原则及所需的原始资料.....	325
7.4.2 制订装配工艺规程的步骤、方法和内容.....	326
思考与练习	331
附录 常用机床组、系代号及主参数	333
参考文献	337

绪 论

1. 机械制造业在国民经济中的地位与作用

物质生产是人类社会生存和发展的基础。制造业是将可用资源、能源与信息通过制造过程转化为可供人们使用或利用的工业品或生活消费品的行业。制造业是人类财富的主要贡献者，没有制造业的发展就没有人类社会的现代物质文明。

机械制造业是制造业最重要的组成之一，是国民经济的基础产业和支柱，为人们的生产、生活提供各种设备，其他产业的发展也都有赖于机械制造业提供高水平的设备。从一定意义上讲，机械制造技术的发展水平决定着其他产业的发展水平。“经济的竞争归根到底是制造技术和制造能力的竞争”。同时，制造业对科学技术的发展，尤其是现代高新技术的发展起着重要的推动作用。美国于 1994 年提出的《21 世纪制造企业战略》报告，其核心就是要使美国的制造业在 2006 年以前处于世界领先地位。而日本自 20 世纪 50 年代以来经济的高速发展，在很大程度上也是得益于制造技术领域研究成果的支持。

建国 60 年来，我国的机械制造业取得了很大的成就。“八五”计划以来，我国机械工业努力追赶世界制造技术的先进水平，积极开发新产品，研究、推广先进制造技术，在引进、消化和吸收国外先进制造技术的基础上有了快速的发展。我国制造业从传统的普通机床到航空航天技术装备，从日常用具的生产到国防尖端产品的制造，特别是最近几年，伴随着神舟系列载人宇宙飞船和嫦娥探月工程及大飞机项目的实施，机械制造技术都提供了重要的装备保障。目前，高性能的数控机床和柔性制造系统、计算机集成制造系统、人工智能制造系统、虚拟制造与敏捷制造和网络制造工程等先进制造技术日新月异，为机械制造技术的发展提供了广阔的发展空间。

中国是制造业大国，但制造产品附加值和技术含量还较低，真正在全球市场上处于领先水平的制造业企业很少，从制造业的人均劳动生产率看，远远落后于发达国家。据统计，目前我国优质低耗工艺的普及率不足 10%，数控机床、精密设备不足 5%，90% 以上高档数控机床、100% 的光纤制造装备、85% 的集成电路制造设备、80% 的石化设备、70% 的轿车工业装备依赖进口。我国制造业“大而不强”的现状令人忧虑。“走自主创新的道路，建设创新型国家”是高屋建瓴的规划，更是残酷的国际竞争环境的产物。

2. 机械制造系统的概念

机械制造技术是机械制造企业实现产品设计、完成产品生产、保证产品质量、提高



经济效益的基础技术。

机械制造企业作为一个生产单位，它的生产过程和生产活动十分复杂，包括从原材料到成品所经过的毛坯制造、机械加工、装配、涂漆、运输、仓储等所有的生产过程及开发设计、计划管理、经营决策等所有的生产活动，是一个有机的、集成的生产系统，如图 0.1 所示。图 0.1 中双点划线框内为生产系统，即由原材料进厂到产品出厂的整个生产、经营、管理过程；双点划线框外表示企业外部环境（社会环境和市场环境）。

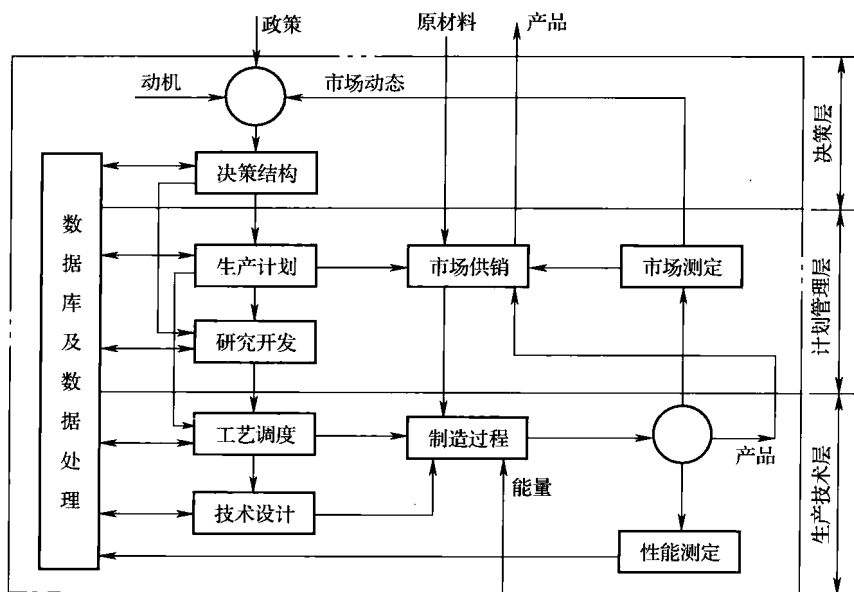


图 0.1 机械制造企业的生产系统

整个生产系统由三个层次组成：决策层为企业的最高领导机构，他们根据国家的政策、市场信息和企业自身的条件进行分析、研究，就产品的类型、产量及生产方式等作出决策；计划管理层根据企业的决策，结合市场信息和本部门实际情况进行产品开发、研究，制订生产计划并进行经营管理；生产技术层是直接制造产品的部门，根据有关计划和图样进行生产，将原材料直接变成产品。制造系统是生产系统中的一个重要组成部分，完成由原材料变为产品的整个生产过程，包括毛坯制造、机械加工、装配、检验和物料的储存、运输等所有工作。在制造系统中，存在着以生产对象和工艺装备为主体的“物质流”、以生产管理和工艺指导等信息为主体的“信息流”以及为了保证生产活动正常进行而必需的“能量流”，如图 0.2 所示。

机械制造系统中，机械加工所使用的机床、刀具、夹具和工件组成了一个相对独立的系统，称为工艺系统。工艺系统各个环节之间互相关联、互相依赖、共同配合，实现预定的机械加工功能。

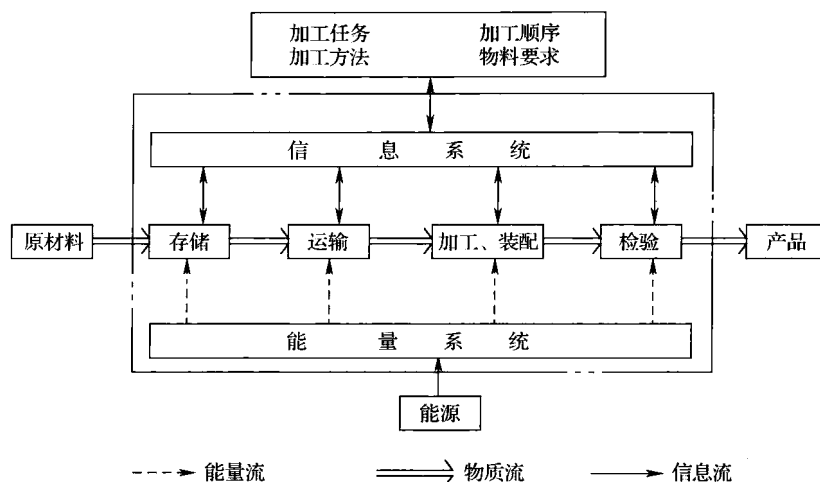


图 0.2 机械制造系统

3. 机械制造技术的发展前景

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。当前，面临激烈市场竞争的机械制造工业，要想增强企业的竞争力，企业制造的产品必须做到以下几点：一要设计、制造周期短，产品更新快；二要产品质量高、价格廉；三要及时交货，并提供良好的售后服务。为此，21 世纪的机械制造技术发展的总趋势有以下几个方面。

(1) 向柔性化方向发展

柔性制造系统（FMS）是一种具有高度自动化水平的制造系统，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。

(2) 向高精度方向发展

随着机械制造技术的发展，对产品精度的要求越来越高，精密加工和超精密加工已成为必然。加工设备采用的是高精度的、通用可调的数控专用机床，夹具是高精度的、可调的组合夹具以及高精度的刀具、量具。

(3) 向高速度方向发展

高速度切削可极大地提高加工效率，降低能源消耗，从而降低生产成本，但是高速切削必须要求加工设备、刀具材料、刀具涂层、刀具结构等方面的进步来配合。

(4) 向绿色化方向发展

减少机械加工对环境的污染，是国民经济可持续发展的需要，也是机械制造工业面临的课题。目前，在数控机床装上全防护装置，可防止冷却液和切屑飞溅，并具有回收冷却液和排屑装置；在一些先进的数控机床上采用了新型冷却技术（低温空气、负压抽吸等），通过废液、废气、废油再回收利用等减少对环境的污染。



4. “机械制造技术”课程的主要特点和学习要求

“机械制造技术”是高职高专机械类的一门主干专业课，它是一门实践性、综合性和灵活性都很强的专用课程。通过本课程的学习，学生应了解和掌握机械制造技术的有关基本理论、基本知识和基本技能，为进一步学习和掌握先进制造技术打下必要的基础。

对本课程学习的要求是：

1) 以金属切削理论为基础，要求掌握金属切削的基本原理和知识，初步具备合理选择刀具几何参数和切削用量的能力。

2) 以金属切削机床为出发点，要求掌握常用的金属切削加工工艺装备的基本结构和工作原理，并具备根据具体加工要求合理确定加工设备及加工方法的能力。

3) 以机械制造工艺为主线，通过对不同类型的零件进行工艺分析设计，掌握机械加工工艺的基本概念和设计思想，初步具备对零件的加工工艺分析及制订零件工艺路线的能力。

4) 能够对金属切削加工中出现的常见质量问题进行分析解决，并能将质量控制的概念贯彻到工艺过程设计与实施之中。

5) 掌握产品装配的基本概念和工艺方法，并具备一般机械产品的装配工艺设计能力。

第 1 章 金属切削原理及刀具

金属切削过程是指在机床上通过刀具与工件按一定的规律作相对运动，从工件上切除多余的金属层，形成切屑和已加工表面，并使已加工零件的尺寸、形状、相互位置精度和表面质量达到设计要求的过程。在这个过程中会产生切削变形、切削力、切削热与切削温度、刀具磨损等许多物理现象，这些物理现象都是以切削过程的基本理论为基础的；生产中出现的许多影响加工表面质量的问题，如鳞刺、振动、卷屑等都同切削过程有关。本章主要研究金属切削的基本理论，切削过程中出现上述物理现象的原因、它们的作用及变化规律，从而控制和改善金属的切削过程，保证加工精度和表面质量，提高切削效率，降低生产成本。

1.1 概 述

1.1.1 切削运动

切削过程中刀具和工件之间存在相对运动，即切削运动。切削运动按其作用可以分为主运动和进给运动，由主运动和进给运动合成的运动简称合成切削运动。刀具切削刃上选定点相对工件的瞬时合成运动方向称合成切削运动方向，其速度称合成切削速度。

1. 主运动

使工件与刀具产生相对运动，从而进行切削的最基本的运动，称为主运动。该运动为切去金属所需的运动，其切削速度最高，消耗功率也最大。如图 1.1(a) 所示的外圆车削时工件的旋转运动、图 1.1(b) 所示的平面刨削时工件或刀具的往复运动等均为主运动。其他切削加工方法中的主运动也同样是由工件或刀具来完成的，其形式可以是旋转运动或直线运动，但每种切削加工方法的主运动通常只有一个。

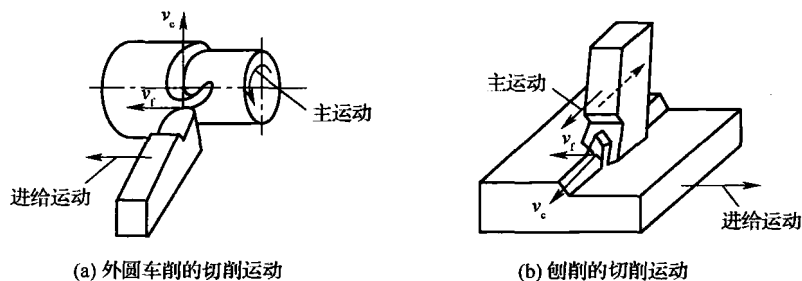


图 1.1 各种切削加工的切削运动



2. 进给运动

使主运动能够持续切除工件上多余的金属,以便形成工件表面所需的运动,称为进给运动。如图 1.1(a) 所示的外圆车削时车刀的纵向连续水平运动、图 1.1(b) 所示的平面刨削时工件的间歇直线运动等均为进给运动。其他切削加工方法中的进给运动也同样是由工件或刀具来完成的。进给运动可能不止一个,其形式可以是旋转运动、直线运动或两者的组合,但无论哪种形式的进给运动,它消耗的功率都比主运动小。

1.1.2 切削过程中工件的表面

刀具和工件相对运动过程中,在主运动和进给运动作用下,工件表面的一层金属不断被刀具切下,转变为切屑,从而加工出所需要的工件新表面,因此被加工的工件上有三个依次变化着的表面,如图 1.2 所示。

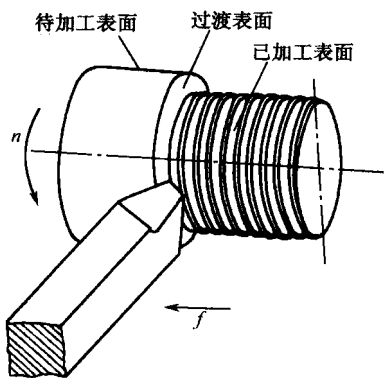


图 1.2 外圆车削的工件表面

1) 待加工表面:加工时即将切除的工件表面。

2) 已加工表面:已被切去多余金属而形成符合要求的工件的新表面。

3) 过渡表面:加工时切削刃在工件上正在形成的那部分表面,也是切削过程中不断变化着的表面,它在待加工表面和已加工表面之间。

上述定义也适用于其他类型的切削加工。

1.1.3 切削用量

切削用量是切削加工过程中切削速度、进给量、背吃刀量的总称,也称为切削用量三要素,它们的定义如下。

1. 切削速度 v_c

它是切削加工时刀刃上选定点相对于工件的主运动速度。刀刃上各点的切削速度可能是不同的。

当主运动为旋转运动时,刀具或工件最大直径处的切削速度由下式确定,即

$$v_c = \frac{\pi n d}{1000} \text{ (m/s 或 m/min)} \quad (1.1)$$

式中, d ——作主运动的回转体上某一点的最大直径 (mm);

n ——作主运动的回转体的转速 (r/s 或 r/min)。

当转速值 n 一定时,选定点不同,其切削速度也不同,计算时取最大切削速度,如车削外圆时计算待加工表面的切削速度,钻削时计算钻头外径处的切削速度。当主运动为直线运动时,切削速度是刀具相对于工件的直线运动速度。



2. 进给速度 v_f 、进给量 f 和每齿进给量 f_z

刀具上选定点相对于工件进给运动时的瞬时速度，称为进给速度（mm/min 或 mm/s）。

进给量是工件或刀具每回转一周时刀具沿进给方向的相对位移量（mm/r）。当主运动是直线往复运动时，进给量是每一往复行程沿进给方向的相对位移量（mm/行程）。对于铣刀、拉刀等多齿刀具，在每转或每行程中每个刀齿相对于工件在进给方向上的位移量，称为每齿进给量 f_z ，即后一个刀齿相对于前一个刀齿的进给量（mm/z）。各进给量有如下关系，即

$$v_f = nf = nf_z z \quad (1.2)$$

3. 背吃刀量 a_p

背吃刀量是在与主运动和进给运动方向所组成的平面相垂直的方向上测得的工件已加工表面和待加工表面间的距离（mm）。

主运动是回转运动时，车外圆

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1.3)$$

钻孔

$$a_p = \frac{d_m}{2} \quad (1.4)$$

主运动是直线运动时，有

$$a_p = H_w - H_m \quad (1.5)$$

上几式中， d_w ——工件待加工表面的直径；

d_m ——工件已加工表面的直径；

H_w ——工件待加工表面的厚度；

H_m ——工件已加工表面的厚度。

1.2 金属切削刀具

用于不同切削加工方法的刀具种类很多，但是它们参加切削的部分在几何特征上却具有共性。外圆车刀的切削部分可以看作是各类刀具切削部分的基本形态，其他各类刀具，包括复杂的刀具，根据它们的工作要求，都是在这个基本形态上演变出各自的特点。所以，本节将以外圆车刀切削部分为例，给出刀具几何参数方面的有关定义。

1.2.1 刀具的组成

车刀由刀柄和刀头组成，如图 1.3 所示，刀柄是刀具上的夹持部位，刀头则用于切削。刀具切削部分包括以下几个部分。

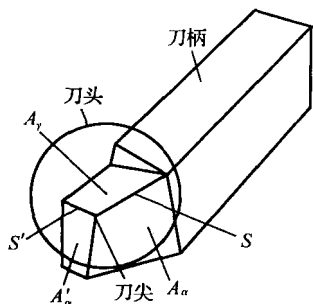


图 1.3 典型外圆车刀切削部分的组成

1. 前(刀)面 A_f

前(刀)面是指切屑流经的表面。

2. 主后(刀)面 A_a

主后(刀)面是指与工件过渡表面相对的面。

3. 副后(刀)面 A'_a

副后(刀)面是指与工件已加工表面相对的面。

4. 切削刃

切削刃是指刀具前面上拟作切削用的刃。切削刃有主切削刃和副切削刃之分。

(1) 主切削刃 S

主切削刃担任主要切削工作, 由前面和主后面的交线形成。

(2) 副切削刃 S'

副切削刃担任少量切削工作, 由前面和副后面的交线形成。

5. 刀尖

刀尖是指主切削刃与副切削刃的连接处相当少的一部分切削刃。如图 1.4(a~c)所示, 有切削刃的实际交点即刀尖圆弧半径 $r_e = 0$, 修圆刀尖即 $r_e > 0$, 倒角刀尖即直线过渡刃。

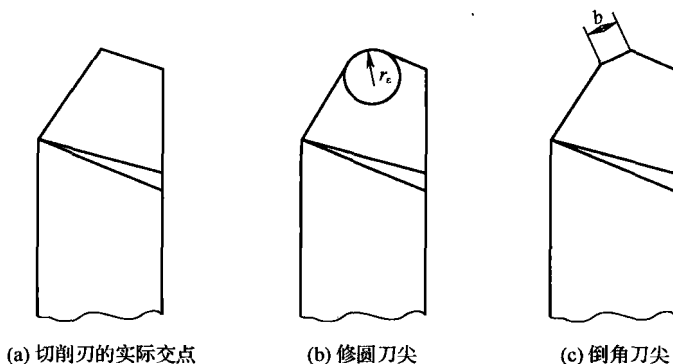


图 1.4 刀尖在基面上的视图

1.2.2 刀具静止角度参考系及其标注角度

刀具静止角度参考系是指用于定义刀具设计、制造、刃磨和测量几何参数的参考系。由于刀具几何角度是在切削过程中起作用的角度, 即刀具同工件和切削运动联系在