



绪 论

0.1 制造业和机械制造技术

1. 制造业和机械制造技术的概念

所谓制造,是指人类运用自己掌握的知识和技能,通过手工或工具,采用有效的方法,按照所需的目的,将原材料加工成具有使用价值的物质产品并投放市场的过程。随着社会的进步和制造活动的发展,制造的内涵也在不断地深化和扩展,因此制造的概念是不断发展进化的。

机械制造是指各种机械、仪器、仪表制造过程的总称,也就是说,要获得一个合格的零件和产品,必然要经过一系列从原材料到成品的制造过程,这种制造过程称为机械制造。

所谓制造业是所有与制造有关的行业的总称,制造业是将各种原材料加工制造成可使用的工业制成品的工业,制造业不仅为广大消费者直接提供商品,满足人民群众日益增长的物质需求,还担负着为国民经济各部门以及科技、国防等提供各种技术装备的重任。

制造业在众多国家尤其是发达国家的国民经济中占有十分重要的位置,是国民经济的支柱产业和物质基础,是国家综合竞争力的重要标志和社会进步的象征,是国家安全的基本保证。据报道,美国 68% 的财富来源于制造业,日本国民总产值的 49% 是由制造业提供的。中国的制造业在国民生产总值中也占有 40% 的比例。另外,中国的制造业还创造了一半的财政收入,吸引了一半的城市就业人口和农村剩余劳动力,创造了接近 3/4 的外汇收入。可以说,没有发达的制造业就不可能有国家真正的繁荣和富强。

机械制造技术是机械制造过程中所涉及的各种技术的总称,是完成机械制造活动所施行的一切手段的总和,是国民经济得以发展的基础,也是制造业本身赖以生存的关键技术。

2. 机械制造技术的发展历史

人类文明的发展与制造业的进步密切相关。早在石器时代,人类就开始利用天然石料制作工具,用其猎取自然资源为生。到了青铜器和铁器时代,人们开始采矿、冶金、铸锻工具,并开始制作纺织机械、水力机械、运输车辆等,以满足以农业为主的自然经济的需要。那时,采用的是作坊式的以手工劳动为主的生产方式。

机械制造作为一门系统的科学和技术,主要还是近 200 多年的事。18 世纪中叶,随着

蒸汽机的发明和以瓦特改进蒸汽机及其大量的应用,机械和蒸汽动力技术相结合,出现了以动力驱动为特征的制造方式,引发了第一次工业革命。1775年,英国人约翰·威尔金森(J. Wilkinson)为加工瓦特蒸汽机的汽缸,研制成功了第一台卧式镗床。到1860年,车、铣、刨、插以及齿轮和螺纹加工机床相继出现,形成了较为完整的金属切削机床产品系列,为机械制造技术的发展提供了有利条件。

19世纪中叶,电磁场理论的建立为发电机和电动机的产生奠定了基础,从而迎来了以电气化为特征的第二次工业革命。以电能作为新的动力源,不仅改变了机器的结构,而且提高了生产效率。与此同时,互换性原理和公差配合制度应运而生,所有这些使机械制造业发生了重大变革,从而使机械制造技术进入了快速发展时期。

随着冶金技术的发展,钢铁及其合金材料得到大量使用,对切削加工的精度和效率的要求则越来越高。1898年美国机械工程师泰勒(F. W. Taylor)和冶金工程师怀特(M. White)发明了高速钢刀具,使切削速度提高了3~5倍,1927年德国人首先研制出硬质合金刀具,切削速度比高速钢刀具又提高了3~5倍。为了适应硬质合金刀具高速切削的需求,金属切削机床的结构发生了较明显的改进,从带传动改为齿轮传动,机床的速度、功率、刚度和精度也随之提高。后来又出现了陶瓷、立方氮化硼、金刚石等超硬(现代)刀具材料,这些新型刀具材料的优越性能,促进了加工方法的改进与工艺的进步,也再次推动了机床的改进与发展,使机床的性能,尤其是在控制方面,有了极大的改进和提高。

20世纪初,内燃机的发明使汽车开始进入欧美家庭,引发了机械制造业的又一次革命。制造业进入了以汽车制造为代表的流水式、大批量生产模式的时代,相继出现了流水生产线、装配线、自动化机床与自动生产线。制造业追求的目标是大批量、高效率、低成本。同时,随着科学管理理论体系的不断建立和完善,发展成了制造技术的过细分工和制造系统的功能细化。

第二次世界大战后,电子计算机和集成电路的出现,以及运筹学、现代控制论、系统工程等软科学的产生和发展,使机械制造业产生了一次新的飞跃。传统的大批量生产方式难以满足市场多变的需要,多品种、中小批量生产逐渐成为制造业的主流生产方式。传统的自动化生产方式只有在大批量生产的条件下才能实现,而数控机床的出现使中、小批量生产自动化成为可能。科学技术的高速发展,促进了生产力的进一步提高。

0.2 先进制造技术的特点及发展趋势

1. 先进制造技术的特点

随着以信息技术为代表的高新技术的不断发展,个性化和多样化将是未来制造业发展的显著特征,与此相适应,先进制造技术的主要特点可归纳为以下6个方面。

(1) 先进制造技术贯穿了从产品设计、加工制造到产品销售及使用维修等全过程,成为“市场—产品设计—制造—市场”的大系统,而传统制造工程一般单指加工过程。

(2) 先进制造技术充分应用计算机技术、传感技术、自动化技术、新材料技术、管理技术等最新成果,与其他学科不断交叉、融合,相互之间的界限逐渐淡化甚至消失。

(3) 先进制造技术是技术、组织与管理的有机集成,特别重视制造过程组织和管理体制

的简化及合理化。

(4) 先进制造技术并不追求高度自动化或计算机化,而是通过强调以人为中心,实现自主和自律的统一,最大限度地发挥人的积极性、创造性和相互协调性。

(5) 先进制造技术是一个高度开放、具有高度组织能力的系统,通过大力协作,充分、合理地利用全球资源,不断生产出最具竞争力的产品。

(6) 先进制造技术的目的在于能够以最低的成本、最快的速度提供用户所希望的产品,实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产,并取得理想的技术经济效益。

2. 先进制造技术的主要发展趋势

(1) 制造技术向自动化、集成化和智能化方向发展

计算机数字控制(computer numerical control,CNC)机床、加工中心(machine center, MC)、柔性制造系统(flexible manufacture system,FMS)以及计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing systems,CIMS)等自动化制造设备或系统的发展适应了多品种、小批量的生产方式,它们将进一步向柔性化、对市场快速响应以及智能化的方向发展,敏捷制造设备将会问世,以机器人为基础的可重组加工或装配系统将诞生,智能制造单元也可望在生产中发挥作用。加速产品开发过程的计算机辅助设计(computer aided design,CAD)、计算机辅助制造(computer aided manufacturing,CAM)一体化技术、快速成形(rapid prototyping,RP)技术、并行工程(concurrent engineering,CE)和虚拟制造(virtual manufacturing,VM)将会得到广泛的应用。

信息高速公路的出现大大缩短了人们之间的物理距离,使基于网络的远程制造成为现实。随着世界市场竞争的日益激烈,以及微电子技术和信息技术的高速发展,全球化敏捷制造将成为 21 世纪制造业的主要生产模式。

(2) 制造技术向高精度、高效率方向发展

21 世纪的超精密加工已向分子级、原子级精度推进(如纳米加工已经能对单个原子进行搬运加工),采用一般的精密加工也可以稳定地获得亚微米级的精度。精密成形技术与磨削加工相结合,有可能覆盖大部分零件的加工技术。以微细加工为主要手段的微型机电系统技术将广泛应用于生物医学、航空航天、军事、农业以及日常生活等领域,成为 21 世纪最重要的先进制造技术前沿之一。由于高速切削已经成功应用于飞机制造业和汽车制造业,并表现出众多常规加工切削不具有的优良特性,如单位时间的金属切除率高、能耗低、加工精度高、工件表面质量好、可加工难加工材料等,近年来,世界各主要工业国家都在大力发展高速加工技术。生产实践表明,采用高速切削可以使特种合金制造的发动机零件的工效比传统加工工艺提高 10 倍以上,还可以延长刀具耐用度,改善零件的加工质量。

(3) 制造技术向可持续方向发展

综合考虑社会、环境要求及节约资源的可持续发展的制造技术将越来越受到重视,绿色产品、绿色包装、绿色制造系统、绿色制造过程将在 21 世纪得以普及。

面对日趋严峻的资源和环境约束,世界各国都采取了促进制造业向可持续方向发展的相关措施。例如,德国制定了《产品回收法规》,日本等国提出了减少、再利用及再生的 3R(reduce, reuse, recycle)战略,美国提出了再制造(remanufacturing)及无废弃物制造(waste-free process)的新理念。欧盟颁布了汽车材料回收法规,要求从 2005 年起新生产的汽车材料 85%能再利用,到 2015 年汽车材料的再利用率要达到 95%。

制造过程的废物不得污染环境,环境保护成为建立现代制造企业的先决条件。绿色制造要求产品的零部件易回收、可重复使用、尽量少用污染材料,在整个产品的制造和使用过程中排废少、对环境的污染要尽可能小、所消耗的能量也尽可能少。产品和制造过程的绿色化,不仅要求企业把环境保护当作自己的重要使命,同时也是企业未来生存和发展的战略。

(4) 制造技术从制造死物向制造活物方向发展

现代社会基于对人类疾病抗争的需要,希望制造业能承担起制造有生命活物的重任。因此,制造活物逐渐成为制造技术发展的一个方向,如人体脏器、人造骨骼、人造皮肤等将成为制造业的产品对象。与此相对应,生物制造与仿生制造也将得到长足的发展。

0.3 课程的学习要求和学习方法

1. 本课程的学习目的和学习要求

机械制造技术基础是机类和近机类专业的一门重要的专业基础课程,课程设置的目的是为学生在机械制造技术方面奠定最基本的知识和最基本的技能。因此,对于本课程的学习,主要要求如下:

- (1) 对制造业、机械制造、机械制造技术的概念有一个总体的、全貌的了解与把握。
- (2) 了解金属切削加工的基本理论,以及常用的各类金属切削刀具的结构、工作原理和工艺特点,能够结合生产实际,合理地选用和使用各类刀具。
- (3) 掌握金属切削过程中的诸多物理现象(如切屑形成机理、积屑瘤、切削力、切削热、切削温度、刀具磨损等)的变化规律,并能结合生产实际,初步解决切削加工生产中出现的相关问题。
- (4) 熟悉常用金属切削机床的结构、工作原理,初步掌握分析机床运动和传动系统的方法,根据零件结构、加工要求,能正确选用常用金属切削机床设备。
- (5) 掌握机械加工的基本知识,能正确选择加工方法与机床、刀具、夹具及切削用量等参数,初步具有编制零件加工工艺规程、设计机床夹具的能力。
- (6) 掌握机械制造工艺的基本理论,机械加工精度和表面质量的基本理论和基本知识,具有分析、解决现场生产过程中的质量、生产效率、经济性问题的能力。
- (7) 了解各类特种加工的工作原理、加工特点,以及适用范围,根据加工要求能正确选用特种加工的类别和方法。
- (8) 了解当今先进制造技术和先进制造模式的发展概况,初步具备对制造系统、制造模式选择、决策的能力。

2. 本课程的特点及学习方法

机械制造技术基础这门课程涉及面广、知识点散、实践性强、综合性强、灵活性大。通过对本课程的学习,应对以下特点加以理解。

(1) 机械制造技术既是一门科学,有其系统性和内在规律;又是一门技术,凝聚了大量实践经验的结晶。本课程既是一门技术基础课,为其他专业课的学习打下良好基础;又是一门专业课,其知识在机械制造专业领域内可直接应用于生产,指导实践。

(2) 机械制造技术是一门具有悠久历史的学科,经过长期研究和积累,形成了比较完整及系统的理论和经验。同时,在科学技术快速发展的今天,许多新的学科、新的技术、新的手段被不断地引入进来,使机械制造技术不断更新、发展和完善,从而焕发出勃勃生机。

(3) 本课程系统性强,实践性强,工程性强,应用性强。本课程是在学习了前期一系列基础课程的基础上进一步专业化的综合应用课程,强调与相关基础课程的有机联系与衔接,强调理论密切联系工程实际,注重对在工程实践中发现问题、综合分析问题和解决实际问题的能力培养。

针对以上特点,在学习本课程时,要特别注意充分理解机械制造技术的基本概念,牢固掌握机械制造技术的基本理论和基本方法,以及这些理论和方法的灵活应用。

本课程教学内容的实践性很强,与生产实际联系密切,只有具备较多的实践知识,才能在学习时理解得深入透彻。此外,对课程内容的掌握,需要实习、课程设计、实验及课后练习等多种教学环节配合,每一个环节都是重要的、不可缺少的,学习时应予以注意。

因此,学习本课程时,除了参考大量的书籍之外,更加重要的是必须重视实践环节,要注意向生产实际学习。在学习过程中要注意实践知识的学习和不断积累,加强感性实践与理论知识的紧密结合,是学习本课程的最好方法。

习题与思考题

0-1 什么是制造业?什么是机械制造?什么是机械制造技术?它们在国民经济中有何重要作用?

0-2 了解并简述机械制造技术的发展历史。

0-3 先进制造技术有哪些主要特点?

0-4 简述先进制造技术的主要发展趋势?

0-5 了解并知晓机械制造技术基础课程的学习目的和学习要求。

0-6 简述机械制造技术基础课程的特点及学习方法。

第1章

金属切削基础知识

【内容提要】 本章主要介绍了切削运动与切削用量的基本概念,详细地描述了车刀切削部分的几何参数及选择、系统地讲解了常用刀具的材料及选用,并阐述了其他常用金属切削刀具和砂轮等方面的基础知识。

【本章要点】

1. 切削运动与切削用量的基本概念
2. 车刀切削部分的几何参数及选择
3. 常用金属切削刀具的材料及选用
4. 其他常用金属切削刀具和砂轮

【本章难点】

1. 车刀切削部分的几何参数及选择
2. 常用金属切削刀具的材料及选用

金属切削加工是目前机械制造的主要方法和手段之一,金属切削过程是刀具与工件相互作用的过程。在金属切削加工过程中,起着主要作用的基本要素是:切削运动、切削用量和刀具。

1.1 切削运动与切削用量

1.1.1 切削运动

1. 工件上的加工表面

在切削加工过程中,工件上的金属层不断地被刀具切除而变成切屑,同时在工件上形成新的表面。在新表面的形成过程中,工件上有3个不断变化着的表面(见图1-1、图1-2),它们是:

- (1) 待加工表面。指工件上有待切除金属层的加工表面。
- (2) 已加工表面。指工件上经刀具切除金属层后产生的新表面。
- (3) 加工表面(或称过渡表面)。指工件上正在被主切削刃切削的表面,它是待加工表面和已加工表面之间的过渡表面。

2. 切削运动

金属切削加工是利用刀具从工件待加工表面上切去一层多余的金属,从而使工件达到规定的几何形状、尺寸精度、位置精度和表面质量的机械加工方法。为了切除多余的金属,刀具和工件之间必须有相对运动,即切削成形运动,简称切削运动。切削运动可分为主运动和进给运动(见图 1-1、图 1-2)。

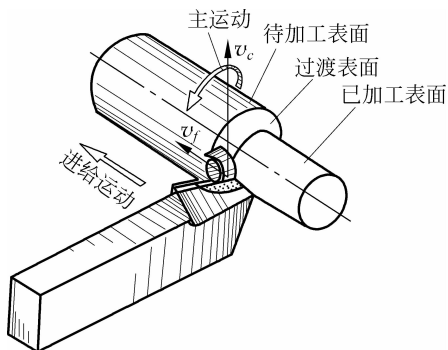


图 1-1 外圆车削的切削运动与加工表面

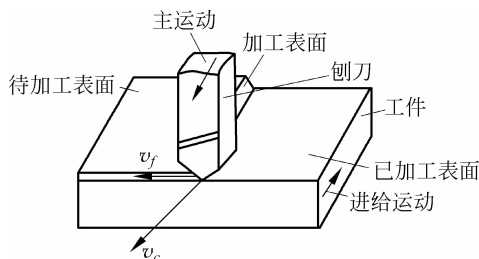


图 1-2 平面刨削的切削运动与加工表面

(1) 主运动

使工件与刀具产生相对运动以进行切削的最基本运动,称为主运动。主运动的速度最高,所消耗的功率最大。在切削运动中,主运动只有一个,它可以由工件完成,也可以由刀具完成;可以是旋转运动,也可以是直线运动。例如,外圆车削时工件的旋转运动是主运动;在钻削、铣削和磨削时,刀具或砂轮的旋转运动是主运动;在平面刨削时,刀具的直线往复运动是主运动。

(2) 进给运动

与主运动配合,连续不断地把被切削层投入切削,以逐渐切削出整个工件表面的运动,称为进给运动。进给运动一般速度较低,消耗的功率较少。它可以是连续的,也可以是间断的。外圆车削时的进给运动是车刀沿平行于工件轴线方向的连续直线运动,平面刨削时的进给运动是工件沿垂直于主运动方向的间歇直线运动。

进给运动可由一个或多个运动组成,可以由工件或刀具分别完成,也可以由刀具单独完成。例如车削圆弧面或球面时车刀的纵向和横向进给运动需同时进行,磨削外圆面时工件的旋转和工作台带动工件的纵向移动,有些机床(如拉床)加工时,没有进给运动。

1.1.2 切削用量三要素

在切削加工过程中,需要针对不同的工件材料、刀具材料和加工要求来选定适宜的切削速度 v_c 、进给量 f 和背吃刀量 a_p 。切削速度 v_c 、进给量 f 和背吃刀量 a_p 三者通常称为切削用量三要素,如图 1-3 所示(同时参见图 1-1、图 1-2),它们是用来表示切削运动的主要参数。

1. 切削速度 v_c

切削刃上选定点相对于工件沿主运动方向的瞬时线速度称为切削速度,用符号 v_c 表

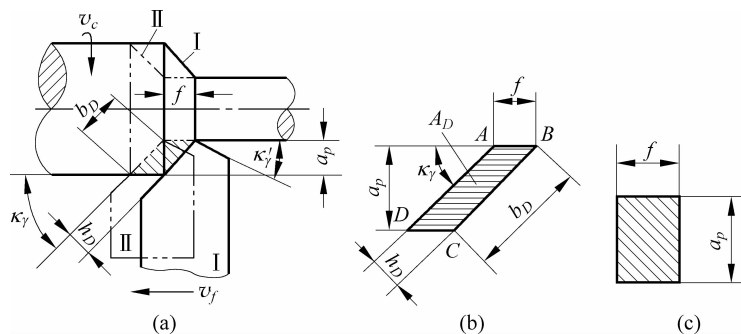


图 1-3 车外圆时的切削用量及切削层参数

示,单位 m/min。刀刃上各点的切削速度可能是不同的,当主运动是旋转运动时,切削速度为

$$v_c = \frac{\pi d_w n}{1000} \quad (\text{m/min 或 m/s}) \quad (1-1)$$

式中: d_w ——工件待加工表面的直径或刀具的最大直径,mm;

n ——工件主运动的转速或刀具主运动转速,r/min或 r/s。

若主运动为往复直线运动,则常用其平均速度作为切削速度 v_c ,即

$$v_c = \frac{2Ln}{1000 \times 60} \quad (\text{m/min}) \quad (1-2)$$

式中: L ——往复直线运动的行程长度,mm;

n ——主运动每分钟往复的次数,次/min。

2. 进给量 f

进给量也称为走刀量,是指主运动每转一圈,刀具与工件在进给运动方向上的相对位移量,用符号 f 表示,单位为 mm/r。

对于刨削、插削等主运动为直线运动的加工,单位为 mm/行程或 mm/双行程。对于铣刀、铰刀等多齿刀具,还可用每齿进给量 f_z 表示,它是刀具上每个刀齿每转相对于工件在进给运动方向的位移量,单位为 mm/齿。

刀具移动速度 v_f 、进给量 f 及每齿进给量 f_z 三者之间有如下关系:

$$v_f = nf = nzf_z \quad (\text{mm/min}) \quad (1-3)$$

式中: z ——刀具齿数;

n ——主运动每分钟转数或往返次数;

f_z ——每齿进给量,mm/z。

3. 背吃刀量(或切削深度) a_p

背吃刀量是一个和主切削刃与工件切削表面接触长度有关的量,是在垂直于进给运动方向上测量的主切削刃切入工件的深度。在一般情况下,也就是工件的待加工表面与已加工表面之间的垂直距离,用符号 a_p 表示,单位为 mm,见图 1-3。

a_p 的大小直接影响主切削刃的工作长度,反映切削负荷的大小。车削圆柱面时的背吃刀量 a_p 为该次切削余量的一半;车削端面 and 刨削平面时的背吃刀量 a_p 等于该次的切削余

量。例如外圆车削时的背吃刀量 a_p 计算如下:

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

式中: d_w ——工件待加工表面的直径, mm;

d_m ——工件已加工表面的直径, mm。

4. 切削层公称截面面积 A_D (简称切削面积)

切削层公称截面面积是指通过切削刃上的选定点, 在切削层尺寸测量平面内测量的切削层的横截面面积, 单位为 mm^2 , 见图 1-3(b)。

$$A_D = h_D b_D = f \sin \kappa_r \cdot a_p / \sin \kappa_r = f a_p$$

式中: h_D ——切削厚度, 即两相邻加工表面间的垂直距离, $h_D = f \sin \kappa_r$, mm;

b_D ——切削宽度, 即沿主切削刃度量的切削层尺寸, $b_D = a_p / \sin \kappa_r$, mm。

由此可见, 当 $\kappa_r = 90^\circ$ 时, 切削层为一矩形截面, 见图 1-3(c)。

切削层参数是研究切削过程的重要参数, 切削过程中的各种物理现象也主要发生在切削层内。掌握切削层的基本概念和物理实质, 对切削过程的研究具有重要意义。

1.2 刀具切削部分的几何参数

切削刀具的种类虽然很多, 形状各异, 但它们切削部分的结构要素和几何角度都有着许多共同的特征。而外圆车刀是最基本、最典型的刀具, 其他刀具都可以看作是以外圆车刀切削部分为基本形状的演变和组合。下面以普通外圆车刀为代表来说明刀具切削部分的组成, 并给出切削部分几何参数的一般性定义。

1.2.1 刀具切削部分的结构要素

外圆车刀由刀头和刀体两部分组成。车刀刀头是车刀的切削部分, 用于承担切削工作, 刀体是夹持部分, 用于车刀在车床刀架上的装夹, 如图 1-4 所示。普通外圆车刀切削部分由“三面两刃一尖”, 即前刀面、主后刀面、副后刀面、主切削刃、副切削刃、刀尖所组成, 各部分定义如下。

(1) 前刀面 A_f

切下的切屑延其流过的表面, 以 A_f 表示。

(2) 主后刀面 A_a

与工件上加工表面(或过渡表面)相对的表面, 以 A_a 表示。

(3) 副后刀面 A'_a

与工件上已加工表面相对的表面, 以 A'_a 表示。

(4) 主切削刃 S

前刀面与主后刀面的交线, 以 S 表示, 它承担主要的切削工作。

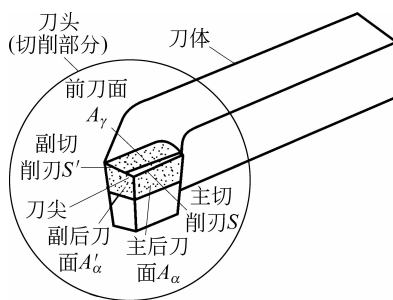


图 1-4 外圆车刀切削部分的组成

(5) 副切削刃 S'

前刀面与副后刀面的交线,以 S' 表示,它协同主切削刃完成切削工作,并最终形成已加工表面。

(6) 刀尖

主切削刃与副切削刃连接处的那部分切削刃,它可以是小的直线段或圆弧。

其他各类刀具,如刨刀、麻花钻、铣刀等,都可以看作是外圆车刀的演变和组合。如图 1-5(a)所示的刨刀,其切削部分的形状与车刀相同;如图 1-5(b)所示的麻花钻,可看作是两把一正一反并在一起同时镗削孔壁的车刀,因而有 2 个主切削刃、2 个副切削刃,另外还多了 1 个横刃;如图 1-5(c)所示的铣刀,可看作由多把车刀组合而成的复合刀具,其每 1 个刀齿相当于 1 把车刀。

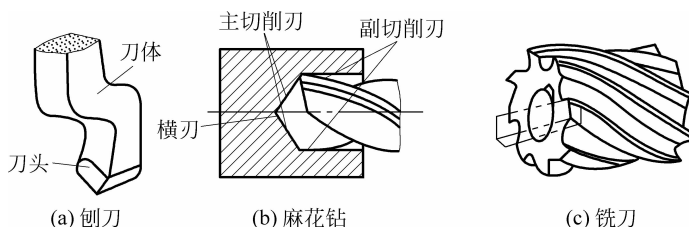


图 1-5 三种常见刀具切削部分的形状

1.2.2 刀具标注角度参考系

1. 刀具运动条件和安装条件的假设

刀具要从工件上切下金属,必须具有一定的切削角度,也正是切削角度决定了刀具切削部分各表面间的空间位置。为了便于设计和制造刀具,首先要假定刀具的运动条件和安装条件,以此来确定刀具的标注角度坐标系。因此,欲确定外圆车刀的标注角度,要做以下假设(见图 1-1):

- (1) 切削刃上选定点(刀尖)的主运动方向 v_c 与刀具底面垂直;
- (2) 进给运动方向 $f(v_f)$ 与刀体中心线垂直;
- (3) 该选定点(刀尖)安装需与工件轴线等高。

在以上假设条件下建立的参考系中,所确定的刀具几何角度,称为标注角度。在车削加工时,刀具的安装一定要遵循以上 3 条假设,否则车刀角度会发生变化。

2. 定义刀具角度的参考系

为便于定义和测量刀具角度,在以上假设条件下,引入一个空间坐标参考系,即刀具的标注角度坐标系,由以下平面组成,如图 1-6、图 1-7 所示。

(1) 基面 P_r

它是通过主切削刃上的选定点,与车刀底面平行,并垂直于该点切削速度 v_c 方向的平面。

(2) 主切削平面 P_s

通过主切削刃上的选定点,与主切削刃相切,同时垂直于该点基面 P_r 的平面。