

第 1 章 绪 论

1. 机械制造业的地位和作用

机械制造业是制造业的最主要组成部分,它是为用户创造和提供机械产品的行业,包括机械产品的开发、设计、制造生产、流通和售后服务全过程。机械制造业肩负着双重任务:一是直接为最终用户提供消费品;二是为国民经济各行业提供生产技术装备。

制造业在国民经济发展中具有重要的地位和作用,具体表现为以下 4 个方面。

(1) 制造业是国民经济的支柱产业和经济增长的发动机,支撑并推动着国民经济的发展。例如,美国约 68% 的财富来源于制造业,日本约 50% 的国民生产总值来源于制造业,我国的制造业在工业总产值中约占 40%。

(2) 制造业是高技术产业化的载体和实现现代化的重要基石。以航空航天、海洋科技、轨道交通等为代表的现代高新技术,其载体如“胖五”运载火箭(见图 1.1)、嫦娥五号月球探测器(见图 1.2)、“蛟龙号”载人深潜器(见图 1.3)、“和谐号”高铁(见图 1.4)等都是制造出来的,都离不开制造业。



图 1.1 “胖五”运载火箭

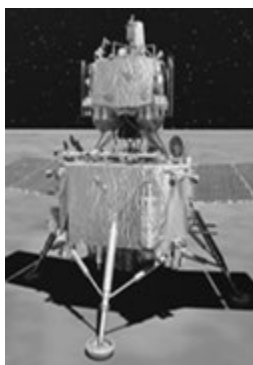


图 1.2 “嫦娥五号”月球探测器



图 1.3 “蛟龙号”载人深潜器



图 1.4 “和谐号”高铁

(3) 制造业是吸纳劳动就业和扩大出口的关键产业。我国城镇单位就业人员统计数据表明,与其他行业相比,从事制造业的人员是最多的。另外,多年来制造业始终是我国出口创汇的主力军,工业制成品一度占据了全国外贸出口总额的90%左右。

(4) 制造业是国家安全的重要保障。一个国家,如果没有强大的装备制造业,没有航空母舰等高端军事装备武器,就没有军事和政治上的安全,经济和文化上的安全也将遭受巨大威胁。

总结以上可以看出,一个国家经济的竞争归根结底是制造技术和制造能力的竞争。制造技术支持着制造业的健康发展,先进的制造技术使得一个国家的制造业乃至国民经济处于有竞争力的地位。机械制造业的高速发展,基于强大的机械制造技术。

2. 机械制造技术概述

制造技术是指按照人们的需要,运用知识和技能,利用客观物资工具,将原材料物化为人类所需产品的工程技术,即使原材料成为产品而使用的一系列技术的总称。制造技术是制造业赖以生存和发展的技术基础,其基本组成可分为3类:传统制造技术、先进制造技术和高制造技术。传统制造技术即传统的铸造、锻造、热处理、电镀、车铣刨磨等技术;先进制造技术主要是信息技术与传统制造技术相结合的制造技术;高制造技术主要是生物、纳米、新材料、新能源等高技术的发展而引发的制造技术,其最具代表性的是微/纳米制造技术、生物制造技术。

21世纪制造技术的发展趋势如下。

(1) 高技术化。在高技术的带动下,制造技术的发展也将出现前所未有的新进展,一批技术集成度高、创新性强、附加值高等符合高技术特征的制造技术应运而生。

(2) 信息化。信息技术与制造技术相融合,将进一步给制造技术带来深刻的,甚至是革命性的变化。

(3) 绿色制造。可持续发展战略与规划将对企业在合理开采和利用自然资源、从源头杜绝污染和破坏生态环境、开创更多就业机会等方面提出更高的要求。

(4) 极端制造。制造技术正从常规制造、传统制造向非传统制造及极端制造方向发展。

(5) 重视基础技术。近几年来,国外在加强技术创新、强化原创性技术研究开发的同时,提出了以制造业救国的口号,并以振兴制造基础技术来提高制造业产业竞争力。

3. 机械制造系统相关概念

(1) 制造是人类所有经济活动的基石,是人类历史发展和文明进步的动力。

① 狭义的制造是机电产品的机械加工工艺流程。

② 广义的制造是按照国际生产工程学会(CIRP)定义的,制造是涉及制造工业中产品设计、物料选择、生产计划、生产过程、质量保证、经营管理、市场销售和服务的一系列相关活动和工作的总称。

(2) 制造过程是指产品从设计、生产、使用、维修到报废、回收等的全过程,也称为产品生命周期。

(3) 制造业是指将制造资源(物料、能源、设备、工具、资金、技术、信息和人力等)利用制

造技术,通过制造过程,转化为供人们使用或利用的工业品或生活消费品的行业。

(4) 机械制造系统是制造业的基本组成实体,由完成机械制造过程所涉及的硬件(物料、设备、工具、能源等)、软件(制造理论、工艺、技术、信息和管理等)和人员(技术人员、操作工人、管理人员等)所组成,是通过制造过程将制造资源(原材料、能源等)转变为产品(包括半成品)的有机整体。

4. 机械制造技术基础的性质及研究内容

机械制造是机械工程学科的重要分支,是一门研究各种机械制造过程和方法的科学。

机械制造技术基础是研究机械制造系统和机械制造方法的一门重要的专业技术基础课程,是机械设计制造及其自动化专业的主干专业课程。机械制造技术基础主要介绍机械加工过程及工艺装备、机械产品的生产过程及生产过程的组织,包括金属切削过程及其基本规律,机床、刀具及夹具的基本知识,机械加工和装配工艺规程的设计,机械加工精度及质量的概念,先进制造技术发展的前沿与趋势。

机械制造技术基础的主要内容包括:

- (1) 金属切削过程的基本规律;
- (2) 金属切削机床、刀具及夹具的基本知识;
- (3) 机械制造工艺与装配的基本理论和基本方法;
- (4) 先进制造技术与系统的基本原理及实现方法。

5. 机械制造技术基础的任务及要求

机械制造技术基础的任务是:通过该课程学习,学生能够对机械制造活动有一个总体、全面的了解和把握。能够掌握金属切削原理、机械加工方法,机床、刀具、夹具等装备,加工与装配工艺等基本工程知识。针对具体生产要求,具备零件加工工艺、专用夹具、产品装配工艺等创新设计能力,以及工艺成本经济性分析能力。了解先进制造技术和先进制造模式等发展前沿,培养正确评价产品制造过程对社会影响的社会责任素养。同时,激励学生勇担建设制造强国的历史使命!

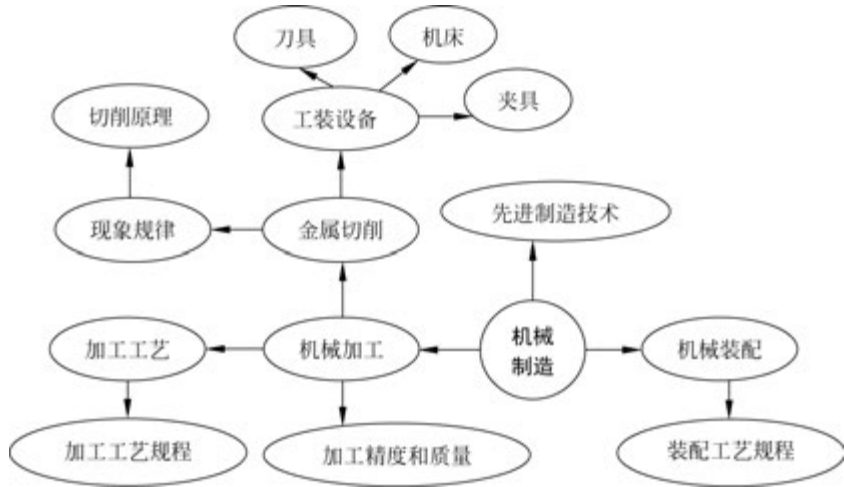
机械制造技术基础是一门实践性很强的专业技术基础课程,在学习过程中,要注意与教学实践(实习、实验、设计)密切配合,必须在教学实践中获得感性认识的基础上进行理论学习才能获得较好的学习效果。因此,希望学习本书时重视实践环节,即通过实验、实习、设计及工厂调研来更好地体会、加深理解。

知识扩展

制造业是国民经济的支柱产业,是立国之本、兴国之器、强国之基。打造具有国际竞争力的制造业,是我国提升综合国力、保障国家安全、建设世界强国的必由之路。

为努力实现中国制造向中国创造的转变,推动我国早日迈入制造强国行列,青年学子们一定要自觉发奋读书、勇担建设制造强国的历史使命!

整体知识图谱



思考题

1. 简述我国机械制造技术的发展历程带来的启示。
2. 浅议你对我国机械制造业发展的认识。

第 2 章 金属切削过程及其控制

金属切削加工就是金属切削刀具和工件按一定规律做相对运动,通过刀具上的切削刃切除工件上多余的(或预留的)金属,从而使工件的形状、尺寸精度及表面质量都符合预定要求的机械加工过程。

为实现金属切削加工,必须具备以下条件:工件与刀具之间要有相对运动,即切削运动,也是成形运动;刀具材料必须具有一定的切削性能;刀具必须具有适当的几何参数,即切削角度;具备良好的切削环境等。切削过程中,会产生切削变形、切削力、切削热和刀具失效等现象。

本章在讲授金属切削基本知识的基础上,对切削过程中的上述各种现象进行阐述,揭示它们的产生机理和相互之间的内在联系。通过对本章的学习,学生应掌握金属切削加工过程中的基本理论和基本规律,培养在实际零件加工过程中,对高质、高效、低成本、优质加工过程的实践控制能力。

2.1 金属切削基本知识

2.1.1 工件表面的形成方法和成形运动

零件的形状是由各种表面组成的,零件的切削加工实际是表面成形的问题。

1. 工件的加工表面

无论零件的形状如何复杂,其表面都是由若干种基本表面组成的,主要的基本表面如图 2.1 所示。

2. 工件表面的形成方法

任何规则表面都可以看作是一条线(称为母线)沿着另一条线(称为导线)运动的轨迹,如图 2.1 所示。母线和导线统称为形成表面的发生线。

根据母线和导线是否可以互换,规则表面又可以分为以下两种。

(1) 可逆表面:形成表面的两条发生线(母线和导线)可以互换,而不改变形成表面的性质,如图 2.1(a)、(b)、(c)所示。

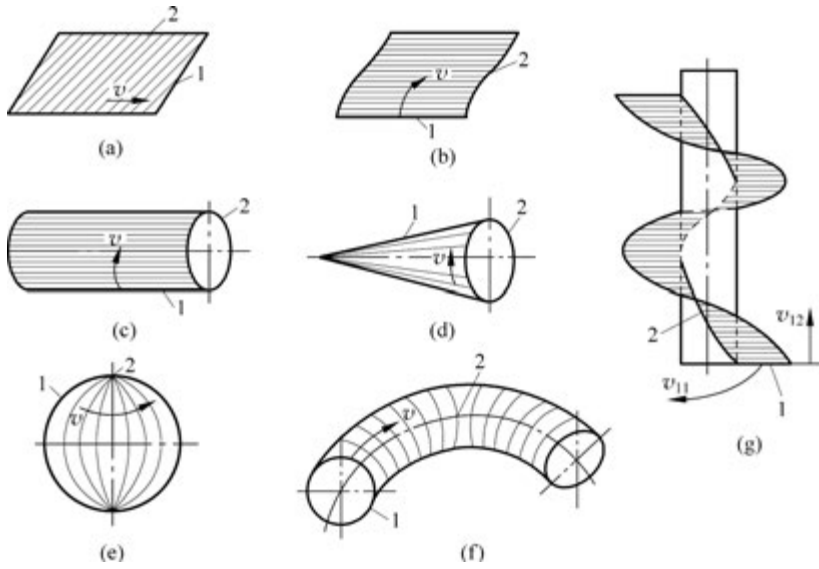
(2) 不可逆表面:母线和导线不可以互换。

另外,有些表面的两条发生线完全相同,只因母线的相对位置不同,也可形成不同的表面,如图 2.2 中的圆柱面、圆锥面和双曲面。

3. 形成发生线的方法及所需运动

发生线是由刀具的切削刃与工件间的相对运动得到的。由于使用的刀具切削刃形状和采取的加工方法不同,形成发生线的方法可归纳为 4 种,分别是轨迹法、成形法、相切法和展成法。

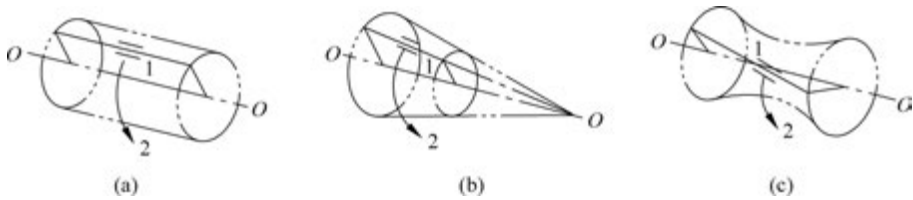
(1) 轨迹法:利用刀具做一定规律的轨迹运动对工件进行加工的方法。如图 2.3 所



1—母线；2—导线。

图 2.1 组成工件轮廓的几种基本表面

(a) 平面；(b) 直线成形表面；(c) 圆柱面；(d) 圆锥面；(e) 球面；(f) 圆环面；(g) 螺旋面

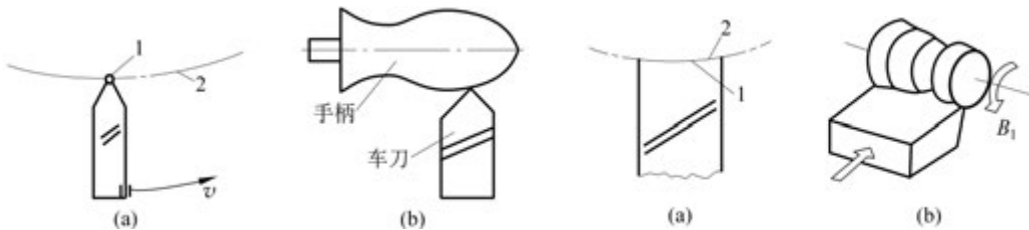


1—母线；2—导线。

图 2.2 母线原始位置变化时形成的表面

示,刀刃为切削点 1,它按一定轨迹运动,形成所需的发生线 2,形成发生线需要一个成形运动。

(2) 成形法: 利用成形刀具对工件进行加工的方法。如图 2.4 所示,刀刃为切削线 1,它的形状和长短与需要形成的发生线 2 完全重合,刀具无须任何运动就可以得到所需的发生线形状。因此,用成形法来形成发生线不需要专门的成形运动。



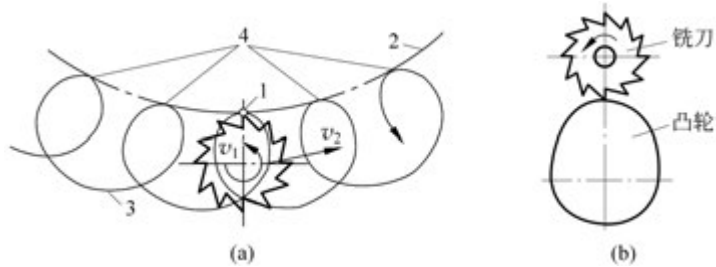
1—切削点；2—发生线。

图 2.3 轨迹法

1—切削线；2—发生线。

图 2.4 成形法

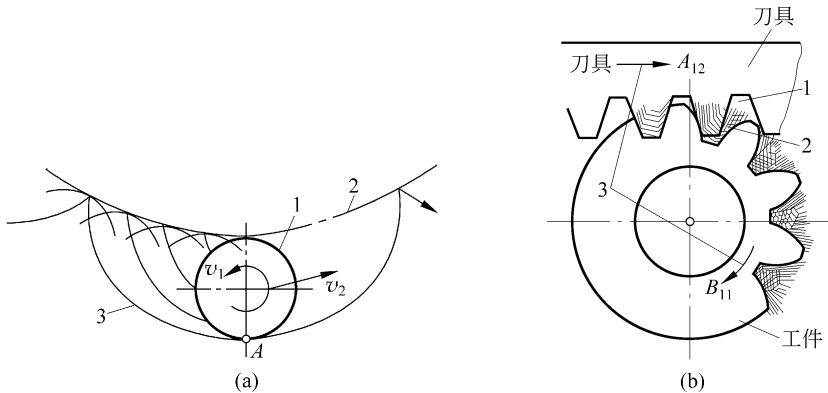
(3) 相切法：利用刀具边旋转边做轨迹运动对工件进行加工的方法。如图 2.5 所示，刀刃为旋转刀具(铣刀或砂轮)上的切削点 1，刀具做旋转运动的同时，其中心按一定规律运动，切削点 1 的运动轨迹与工件相切，形成了发生线 2。由于刀具上有多个切削点，发生线 2 是刀具上所有的切削点在切削过程中共同形成的。因此，利用相切法形成发生线需要两个成形运动：刀具的旋转运动和刀具中心按一定规律的运动。



1—切削点；2—发生线；3—切削点的运动轨迹；4—工件中心。

图 2.5 相切法

(4) 展成法：利用工件和刀具做展成切削运动对工件进行加工的方法。如图 2.6 所示，刀刃为切削线 1，它的形状和长短与需要形成的发生线 2 的形状不吻合，切削线 1 与发生线 2 彼此做无滑动的纯滚动，发生线 2 就是切削线 1 在切削过程中连续位置的包络线。



1—切削线；2—发生线；3—复合运动轨迹。

图 2.6 展成法

在形成发生线 2 的过程中，或者仅由切削线 1 沿着由它生成的发生线 2 滚动；或者切削线 1 和发生线 2(工件)共同完成复合的纯滚动，这种运动称为展成运动。

因此，利用展成法形成发生线需要一个成形运动(展成运动)。

4. 表面成形运动

表面成形运动(简称成形运动)是保证得到工件要求的表面形状的运动。母线和导线是形成零件表面的两条发生线，因此形成表面所需要的成形运动就是形成其母线及导线所需要的成形运动的总和。

1) 简单成形运动和复合成形运动

表面成形运动分为简单成形运动和复合成形运动。

(1) 简单成形运动: 形成发生线所需要的各运动单元之间不需要保持准确的速比关系。如图 2.7 所示, 车削外圆柱面时, 工件的旋转运动 B_1 产生母线(圆), 刀具的纵向直线运动 A_2 产生导线(直线)。运动 B_1 和 A_2 就是两个简单成形运动, 下标 1、2 表示简单成形运动次序。

简单成形运动可以是旋转运动, 也可以是直线运动, 一般以主轴的旋转、刀架或工作台的直线运动的形式出现。其中, 旋转运动用 B_x 表示; 直线运动用 A_x 表示; 下标 x 表示独立简单运动的次序。

(2) 复合成形运动: 形成发生线所需要的各运动单元之间需要保持严格的相对运动关系, 相互依存, 而不是独立的。一个复合成形运动可以分解为两个甚至更多的简单运动。复合成形运动是一个运动, 而不是两个或两个以上的简单运动。

例如, 车螺纹、加工齿轮时都存在复合成形运动。

复合成形运动中的旋转运动单元用 B_{xy} 表示, 直线运动单元用 A_{xz} 表示, 其中, x 表示独立运动的数目, y, z 表示组成第 x 个复合成形运动的第 y, z 个分运动。

2) 零件表面成形运动分析实例

【例 2.1】 用成形车刀车削成形回转表面(见图 2.4(b))。

母线: 曲线, 由成形法形成, 不需要成形运动。

导线: 圆, 由轨迹法形成, 需要一个成形运动 B_1 。

表面成形运动的总数为 1 个—— B_1 , 是简单的成形运动。

【例 2.2】 用螺纹车刀车削螺纹(见图 2.8)。

母线: 车刀的刀刃形状与螺纹轴向剖面轮廓的形状一致, 故母线由成形法形成, 不需要成形运动。

导线: 螺旋线, 由轨迹法形成, 需要一个复合成形运动。工件旋转 B_{11} 和刀具直线移动 A_{12} 。

表面成形运动的总数为一个—— $B_{11} A_{12}$, 是复合成形运动。

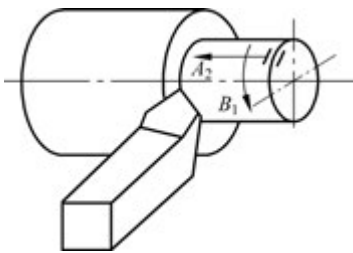


图 2.7 简单成形运动

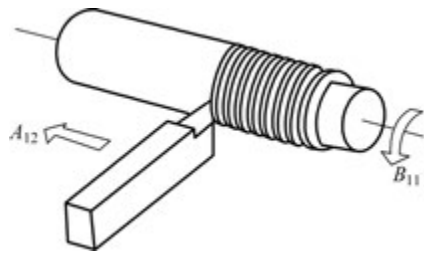


图 2.8 用螺纹车刀车削螺纹

【例 2.3】 用齿轮滚刀加工直齿圆柱齿轮(见图 2.9)。

母线: 渐开线, 展成法形成, 复合成形运动, 滚刀旋转 B_{11} 和工件旋转 B_{12} 。

导线: 直线, 相切法形成, 两个简单的成形运动, 滚刀旋转 B_1 和滚刀沿工件的轴向移动 A_2 , 其中 B_1 与 B_{11} 重合。

表面成形运动的总数为两个: 复合成形运动 $B_{11} B_{12}$ 和简单成形运动 A_2 。

【例 2.4】 用螺纹车刀加工锥螺纹(见图 2.10)。

母线：成形法。

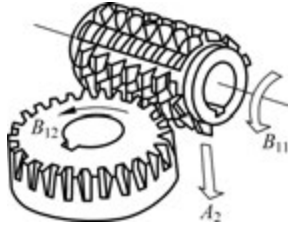


图 2.9 用齿轮滚刀加工直齿圆柱齿轮

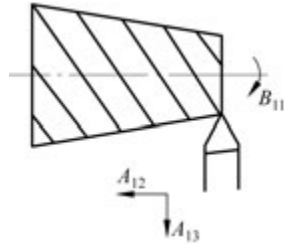


图 2.10 用螺纹车刀加工锥螺纹

导线：刀具相对于工件做圆锥螺旋线运动，包括工件的旋转运动 B_{11} 、刀具纵向直线运动 A_{12} 以及刀具横向直线运动 A_{13} 。

表面成形运动总数：一个复合运动，包含 B_{11} 、 A_{12} 、 A_{13} 三个运动单元。

3) 主运动、进给运动及合成切削运动

成形运动按其在切削加工中所起的作用，又可分为主运动和进给运动，它们可能是简单的成形运动，也可能是复合的成形运动。所有切削运动的速度及方向都是相对于工件定义的。

(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的运动。这个运动的速度最高，消耗功率最大。例如，外圆车削时的工件旋转运动和平面刨削时的刀具直线往复运动，都是主运动。其他切削加工方法中的主运动也同样是由工件或由刀具来完成的，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。

由于切削刃上各点的运动情况不一定相同，所以在研究问题时，应选取切削刃上某一个合适的点作为研究对象，该点称为切削刃上选定点。

主运动方向(见图 2.11)：切削刃上选定点相对于工件的瞬时主运动方向。

切削速度 v_c (见图 2.11)：切削刃上选定点相对于工件的主运动的瞬时速度。

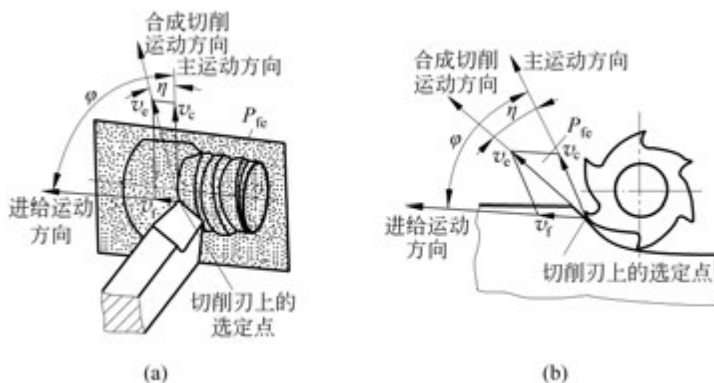


图 2.11 车削(铣削)运动与切削速度

(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。例如，外圆车削时车刀的纵向连续直线进给运动和平面刨削时工件的间歇直线进给运动。其他切削加工方法中也是由工件或由刀具来完成进给运动的，但进给运动可能不止一

个。它的运动形式可以是直线运动、旋转运动或两者的组合,但无论哪种形式的进给运动,它消耗的功率都比主运动要小。

进给运动方向(见图 2.11): 切削刃上选定点相对于工件的瞬时进给运动的方向。

进给运动方向与主运动方向之间的夹角为 φ , 如图 2.11 所示。

进给速度 v_f (见图 2.11): 切削刃上选定点相对于工件的进给运动的瞬时速度。

(3) 合成切削运动: 由同时进行的主运动和进给运动合成的运动。

合成切削运动方向(见图 2.11): 切削刃上选定点相对于工件的瞬时合成切削运动的方向。

合成切削速度 v_c (见图 2.11): 切削刃上选定点相对于工件的合成切削运动的瞬时速度。

合成切削速度角 η (见图 2.11): 主运动方向和合成切削运动方向之间的夹角。它在工作进给剖面 P_{fc} 内度量。

显然,在车削中, $v_c = v_c / \cos \eta$, 如图 2.11 所示。在大多数实际加工中 η 值很小, 所以可认为 $v_c = v_c$ 。

此外,除表面成形运动外,还需要辅助运动以实现机床的各种辅助动作。辅助动作的种类很多,主要包括各种空行程运动、切入运动、分度运动和操纵及控制运动等。

2.1.2 加工表面和切削用量

1. 切削时工件上的表面

切削时,在主运动和进给运动的共同作用下,工件表面的一层金属连续地被刀具切削下来并转变为切屑,从而加工出所需要的工件新表面。在新表面的形成过程中,工件上有 3 个不断变化着的表面: 待加工表面、过渡表面(切削表面)和已加工表面,如图 2.12、图 2.13 所示。



图 2.12 外圆车削的切削运动与加工表面

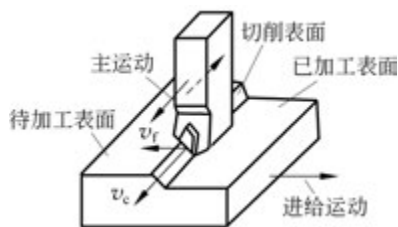


图 2.13 平面刨削的切削运动与加工表面

(1) 待加工表面: 工件上多余金属即将被切除的表面。该表面随着切削的进行逐渐减小,直至多余金属被切完。

(2) 已加工表面: 工件上多余金属被切除后形成的新表面。

(3) 过渡表面(切削表面): 工件上多余金属被切除过程中,待加工表面与已加工表面之间相连接的表面,或刀刃正在切削着的表面。

2. 切削用量三要素

切削用量三要素是: 切削速度 v_c 、进给量 f 和切削深度 a_p 。