

机械制造技术概述

内容提要：现代制造业，特别是机械制造业，是国民经济持续发展的基础。本章主要介绍机械制造业的发展过程、作用和地位，重点介绍机械制造系统、机械产品的生产类型和制造方法，以及本课程的特点及学习方法。

1.1 产业、制造业与机械制造业

根据国家统计局《三次产业划分规定》(国统字[2003]14号)，三次产业划分范围如下：第一产业是指农、林、牧、渔业；第二产业是指采矿业，制造业，电力、燃气及水的生产和供应业，建筑业；第三产业是指除第一、二产业以外的其他行业，包括交通运输、仓储和邮政业，信息传输、计算机服务和软件业，批发和零售业，住宿和餐饮业，金融业，房地产业，租赁和商务服务业，科学研究、技术服务和地质勘查业，水利、环境和公共设施管理业，居民服务和其他服务业，教育，卫生、社会保障和社会福利业，文化、体育和娱乐业，公共管理和社会组织，国际组织。

制造业属于第二产业，是指对制造资源(物料、能源、设备、工具、资金、技术、信息和人力等)，按照市场要求，通过制造过程，转化为可供人们使用和利用的工业品与生活消费品的行业，包括农副食品加工业、金属制品业、通用设备制造业、专用设备制造业、通信设备制造业、计算机及其他电子设备制造业等大类，如图 1.1 所示。在先进的工业化国家，国民经济总收入的 60% 来源于制造业，约有 1/4 的就业人口从事制造业。制造业为现代工业提供物质基础，为信息社会提供先进平台，也为国家安全和国防现代化提供先进武器装备。制造业是国民经济的支柱产业，是国家创造力、竞争力和综合国力的重要体现。经过近 40 年的改革、开放和发展，中国制造业取得了举世瞩目的成就，装备制造业技术水平和生产能力大幅提升，国际竞争力显著增强。2010 年，世界制造业总产出达到 10 万亿美元，其中，中国占世界制造业产出的 19.8%，略高于美国的 19.4%，成为世界第一。在制造业行业分类的 30 多个大类中，我国已有半数以上行业生产规模居世界第一。但我们还不是制造强国，整体竞争力还处于第三梯队。

机械制造业是制造业的重要组成部分，是指从事各种动力机械、起重运输机械、农业机械、冶金矿山机械、化工机械、纺织机械、机床、工具、仪器、仪表及其他机械设备等生产的行业。机械制造业为整个国民经济提供技术装备，其发展水平是国家工业化程度的主要标志之一。

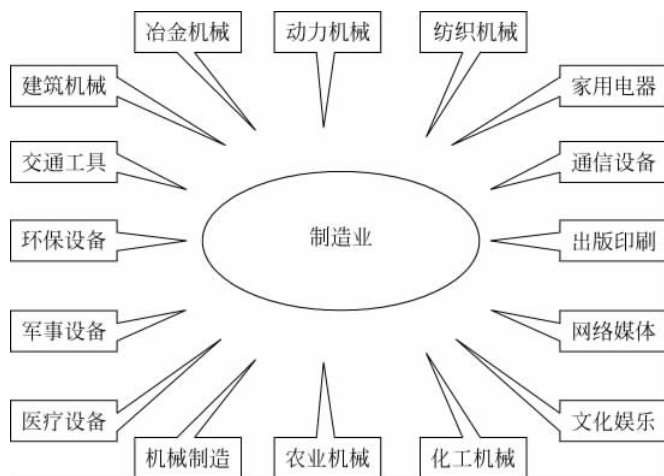


图 1.1 制造业的范畴

1.2 机械制造业的发展及其在国民经济中的地位和作用

在整个制造业中,机械制造业占有特别重要的地位。机械制造业是国民经济的装备部,国民经济各部门的生产水平、产品质量和经济效益等在很大程度上取决于机械制造业所提供的装备的技术性能、质量和可靠性。我国是世界上发展机械制造业最早的国家之一,机械工程技术不但历史悠久,而且成就十分辉煌,不仅对我国的物质和社会经济的发展起到了重要的促进作用,而且对世界技术文明的进步也做出了重大贡献。由于众所周知的原因,近代落后了,旧中国的机械制造工业基础十分薄弱,许多工业产品不能自己生产,完全依赖进口。比如,中华人民共和国成立前中国几乎没有机床制造业,只是零星生产几种简易机床,产量只有两千多台;中华人民共和国成立初期,只有上海、沈阳、昆明等地的一些机械修配厂兼产少量车床、刨床、冲床等简易机床。新中国成立近 70 年来,我国已建立了一个比较完整的机械工业体系。我国的机械工业,从修配到制造,从制造一般机械产品到高、精、尖产品,从制造单机到先进大型成套设备,门类逐步齐全,规模世界第一,技术水平和成套水平不断提高,为国民经济和国防建设提供了大量的机械装备,彰显了其在国民经济中的支柱产业地位。

“十二五”以来,我国机械工业综合实力大幅提升。产业结构调整取得积极进展,行业基础领域得到强化,一批高端装备研制成功,企业创新成果不断涌现,两化融合取得新进展,绿色发展理念日渐深入。

一是产业规模实现持续稳定增长。“十二五”期间,机械工业增加值年均增速 9.9%;全行业资产规模由“十一五”末的 10.97 万亿元增至“十二五”末的 19.27 万亿元,年均增长 11.91%;主营业务收入由 13.96 万亿元增至 22.98 万亿元,年均增长 10.48%;利润总额由 1.17 万亿元增至 1.6 万亿元,年均增长 6.45%;出口总额由 2585 亿美元增至 3888 亿美元,年均增长 8.51%,实现贸易顺差由 31.36 亿美元增至 1110 亿美元,创历史新高。

二是适应市场变化能力不断增强。随着我国工业化由初中期向中后期阶段转变,机械工业增速进入平缓增长的新时期,同时,适应市场需求变化的能力不断增强。主要表现为:与民生、消费相关的产品或行业增长较快,运动型多用途汽车(SUV)、食品包装、农业、环保机械等主营业务收入和利润增速均高于行业平均水平。与智能、绿色相关的行业产销形势相对较好,仪器仪表行业保持了较快的增长速度。特高压输变电、抽水蓄能机组、风电和光伏发电设备等发展势头均好于常规产品。

三是实施创新战略取得显著成果。大型核电、水电、火电和风电设备,特高压交直流及柔性直流输变电设备,油气长输管线关键装备,大型煤化工关键设备等高端设备自主研发取得突破,燃用准东煤 350MW 超临界锅炉研制成功,并投入工程应用。长期受制于进口的流程工业用 DCS 控制系统国产化取得成效,国产 DCS 控制系统市场份额已超越外资产品,并已具备参与国际竞争的实力。“三基”领域中高压绝缘套管、变压器出线装置、优质冷轧矽钢片、大型电站锻件等一批长期依赖进口的关键基础件、核心零部件的国产化工作取得进展。大型压缩机、水轮模型与电站安全阀试验台等平台相继建成,部分领域已达世界同行先进水平。企业与用户、科研院所的协同创新步伐加快,合作模式推陈出新,成效日益显著。

四是产业结构调整步伐加快。机械工业固定资产投资增速由 2010 年增长 30.35% 回落至 2015 年的 9.7%,前期快速扩张的趋势明显趋缓。同时,投资结构有所改善,2015 年用于改建和技术改造投资同比增速高于行业平均增速 9.02 个百分点,而且其比重占行业投资总额的 27.9%,比 2010 年提高 7.43 个百分点。区域结构继续向政策预期方向调整。2015 年东、中、西部实现主营业务收入总额中,中西部地区比重较 2010 年提高 5.52 个百分点;利润总额中比重由 30.82% 增至 33.29%。对外贸易出口结构持续优化,一般贸易出口在出口总额中的比重由 2010 年的 52.3% 增至 2015 年的 60.51%,提高 8.21 个百分点;一般贸易差额由逆差 274.36 亿美元转变为顺差 505.64 亿美元。

五是行业转型发展迈出新步伐。智能制造、“互联网+”开始起步。自动生产线、数字化车间、现代物流等已在长三角、珠三角等地区形成一定规模;传统工程机械和农业机械制造企业已开展了“互联网+”的尝试。新业态、新模式不断出现。融资租赁营销模式在冶金、矿山等一批成套项目上开始探索,农机电子商务等新兴商业模式开始应用,传统企业向制造服务业的转型持续推进。

此外,多种所有制企业全面发展,民营企业对行业发展的贡献不断加大。2015 年民营企业实现主营业务收入 13.57 万亿元,同比增长 6.48%,高于全行业平均增速 3.16 个百分点,占全行业主营业务收入的比重达到 59.05%,与 2010 年相比提高 7.79 个百分点;实现利润总额为 8860 亿元,在全行业利润总额中的比重达 55.4%,比 2010 年提高 8.94 个百分点。

我国机械工业规模已连续多年稳居世界第一,初步具备了由世界机械制造大国向机械制造强国冲刺的基础和条件,但大而不强,还存在自主创新能力薄弱、共性技术支撑体系不健全、高端装备供给不足、核心技术与关键零部件对外依存度较高、服务型制造发展滞后、产能过剩矛盾凸显、市场环境不优等问题。

“十三五”时期,国家提出机械工业要以提高质量和效益为中心,以问题为导向,围绕“强

基固本、奠定产业发展坚实基础；锤炼重器、提升重大技术装备水平；助推智造、加快智能制造装备研制；服务民生、切实提高人民生活质量”四大发展重点，努力实现我国机械工业“由大到强”的目标。为实现机械工业“十三五”发展纲要的各项目标，围绕提高行业创新能力，落实供给侧结构性改革战略重点，加快行业转型升级，实施“创新驱动、结构优化、质量兴业、融合发展、绿色低碳、国际合作、人才为本、文化提升”八大战略任务，解决长期制约行业发展的普遍性、基础性、体制性问题，努力提高发展质量和效益水平，提升我国机械工业的核心竞争力。

1.3 机械制造系统、生产过程与工艺过程

1. 机械制造系统

机械制造系统是指从机械产品的市场分析、经营决策、工程设计、加工装配、质量控制、生产指挥到售后服务等一系列过程的总和。如图 1.2 所示，在制造系统中，包含了物质流、信息流和能量流，3 种流必须畅通、协调方能保证整个制造系统有效地运行。广义地理解机械制造系统，体现的是“大制造”的概念，它涉及从产品概念到形成最终产品的各个方面和生产的全过程。由于本课程的内容和性质，本教材涉及的内容主要是从“小制造”的概念出发，狭义地理解制造技术，侧重于零件的机械加工和装配工艺，即从原材料或半成品经加工和装配后形成最终产品的过程，研究在保证产品设计要求和质量的前提下，如何高效率、低成本、低能耗、轻污染地把产品制造出来。

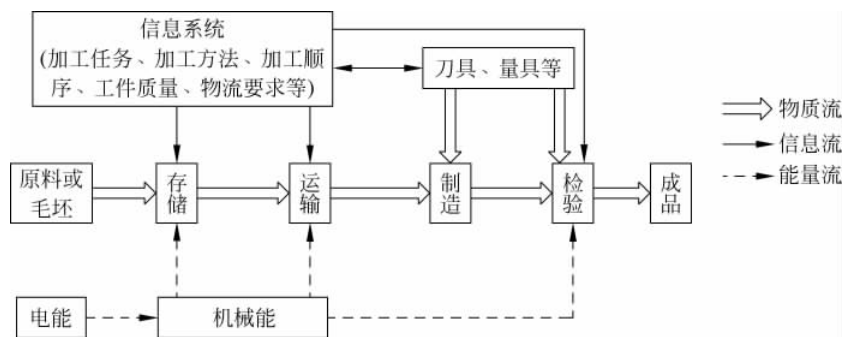


图 1.2 机械制造系统

在物质子系统中，把毛坯、刀具、夹具、量具及其他辅助物料作为原材料输入，经过存储、运输、加工、检验等环节最后以成品输出。这个流程是物质的流动，故称为物质流。而负责物料存储、运输、加工、检验的各元件可总称为物质系统。

在信息子系统中，加工任务、加工顺序、加工方法及物质流所要确定的作业计划、调度和管理指令属于信息范畴，称之为信息流。而负责这些信息存储、处理和交换的有关软硬件资源可称为信息系统。

在能量子系统中，制造过程中的能量（电能、水能、气能、资金）转换、消耗及其流程称为

能量流。而负责能量传递、转换的有关元件称为能量系统。

在常规制造系统中,物质子系统和能量子系统是较普遍地存在的,而信息子系统则往往缺乏。如由一台普通车床构成的制造系统就只存在物质系统和能量系统,加工信息的输入与传递是由人工完成的。但在现代制造系统中,则较普遍地增加了信息系统,如数控机床中的计算机数字控制系统(CNC)就是典型的信息系统,它能通过其内部的计算机进行零件加工信息的存储,并发送加工指令,控制加工过程。

2. 生产过程

生产过程是机械制造系统的一个子系统,一般是指从原材料(或半成品)进厂,一直到把产品制造出来的各有关过程的总和,它包括从原材料→毛坯→零件加工(外购件采购)→部件装配→整机装配→检验→试车→油漆→包装等环节。企业的生产过程又可按产品的生产阶段分为若干车间(分厂)的生产过程,如铸造车间或锻造车间的成品是机械加工车间的原材料(或半成品),而机械加工车间的成品又是装配车间的原材料等。

3. 工艺过程

工艺过程是生产过程的一部分,凡是直接改变生产对象的尺寸、形状、物理化学性能以及相对位置关系的过程,统称为工艺过程。其他过程称为辅助过程,如动力供应、原材料采购、运输、保管、工具制造、修理等。把工艺过程从生产过程划分出来是有条件的,不是绝对的。通常把与加工过程密切相关的、很难分割的工作,如在机床上加工一个零件,工件的装夹、测量等虽然不直接改变加工件的尺寸、形状、物理化学性能以及相对位置关系,也列入工艺过程的范畴。工艺过程又可分为铸造、锻压、冲压、焊接、机械加工、热处理、装配等工艺过程。“机械制造技术基础”课程主要涉及机械加工工艺和装配工艺过程,其余工艺过程在其他课程中学习。

4. 切削加工工艺

总的来说,零件的成形有增材制造、减材制造和变形制造三种基本形式。

机械制造系统中,切削和磨削是传统的机械加工方法,材料的切削是制造过程的主要内容,几乎占全部工艺劳动量的 1/3 以上。切削与磨削加工是用刀具或砂轮在工件表层切去一层余量,使工件达到要求的尺寸精度、形状精度、位置精度和表面质量的加工方法。由于生产效率高,加工成本低,能量消耗少,可以加工各种不同形状、尺寸和精度要求的工件。因此,切削和磨削一直是工件精加工和最后成形的最重要手段。该类工艺由于采用去除多余材料的方法,加工后零件的质量小于毛坯的质量,属典型的减材制造。切削加工具有如下主要特点:

(1) 切削加工的精度和表面粗糙度的范围广泛,可获得很高的加工精度和很低的表面粗糙度。目前切削加工的尺寸公差等级可达 IT2~IT3,甚至更高;表面粗糙度值 Ra 为 $25\sim 0.008\mu\text{m}$,其范围之广,精密程度之高,是目前其他加工方法难以达到的。

(2) 切削加工零件的材料、形状、尺寸和质量的范围较大。切削加工多用于金属材料的加工,如各种碳钢、合金钢、铸铁、有色金属及其合金等,也可用于某些非金属材料的加工,如

石材、木材、塑料和橡胶等。对于零件的形状和尺寸一般不受限制,只要能在机床上实现装夹,都可进行切削加工,且可加工常见的各种型面,如外圆、内圆、锥面、平面、螺纹、齿形及空间曲面等。切削加工零件质量的范围很大,重的可达数百吨,如葛洲坝一号船闸的闸门,高30余米,重达600吨;轻的只有几克,如微型仪表零件。

(3) 切削加工的生产率较高。在常规条件下,切削加工的生产率一般高于其他加工方法。只是在少数特殊场合下,其生产率低于精密铸造、精密锻造和粉末冶金等方法。

(4) 切削过程中存在切削力。切削过程中刀具与工件直接接触,存在切削力,这就要求刀具和工件均具有一定的刚度和强度,且刀具材料的硬度必须大于工件材料的硬度。

因为前3个特点和生产批量等因素的制约,在现代机械制造中,目前除少数采用精密铸造、精密锻造以及粉末冶金和工程塑料压制成形等方法直接获得零件外,绝大多数机械零件制造要靠切削加工成形。因此,切削加工在机械制造业中占有十分重要的地位,目前占机械制造总工作量的40%~60%。切削加工与国家整个工业的发展紧密相连,起着举足轻重的作用。完全可以说,没有切削加工,就没有机械制造业。

上述第4个特点,限制了切削加工在细微结构和高硬度等材料加工方面的应用,从而给特种加工留下了产生和发展的空间。

5. 机械加工工艺系统及工艺装备

在机械加工中,由机床、刀具、夹具与被加工工件构成了实现某种加工方法的整体系统,称为机械加工工艺系统。对应不同的加工方法,有不同的机械加工工艺系统,比如车削工艺系统、磨削工艺系统。

生产中,为实现工艺规程,保证加工质量,提高劳动生产率以及改善劳动条件,需要各种刀具、夹具、量具、模具、辅具、工位器具等,这些器具通称为工艺装备,简称工装。

1.4 生产类型与工艺特点

社会对机械产品的需求是多种多样的,根据加工零件的年生产纲领和零件本身的特点(轻重、大小、结构复杂程度、精密程度等),参照表1.1、表1.2所列数据,将零件的生产类型划分为单件生产、成批生产和大量生产3种。产品种类很多,同一种产品的数量不多,生产很少重复,此种生产称为单件生产,如大型/重型装备、专用设备、模具、新产品试制等。产品的数量很大,大多数工作为经常重复进行某一个零件的某一道工序的加工,此种生产称为大量生产,民用产品如小汽车、发动机、轴承、家用电器、标准件,军工产品如枪械、子弹等都属于大量生产。一年中分批地制造相同的产品,称为成批生产,民用产品机床和军工产品坦克、火炮的制造属于典型的成批生产。按照批量大小和被加工零件自身的特性,成批生产又可以进一步划分为小批生产、中批生产、大批生产。小批生产的工艺特点接近单件生产,大批生产的工艺特点接近大量生产,中批生产介于单件生产和大量生产之间。各种生产类型的工艺特点见表1.3。

表 1.1 加工零件的生产纲领和生产类型

生产类型		零件的年生产纲领/(件/年)		
		重型零件	中型零件	轻型零件
单件生产		<5	<20	<100
成批生产	小批	5~100	20~200	100~500
	中批	100~300	200~500	500~5000
	大批	300~1000	500~5000	5000~50 000
大量生产		>1000	>5000	>50 000

表 1.2 不同机械产品各种类型零件的质量范围

产品类别	加工零件的质量/kg		
	轻型零件	中型零件	重型零件
电子工业机械	<4	4~30	>30
机床	<15	15~50	>50
重型机械	<100	100~2000	>2000

表 1.3 各种生产类型的工艺特点

名 称	大 量 生 产	成 批 生 产	单 件 生 产
毛坯制造	广泛采用金属模机器造型和模锻。毛坯精度高,加工余量小	部分采用金属模和模锻,部分采用木模手工造型和自由锻造。毛坯精度和余量中等	广泛采用木模手工造型和自由锻造。毛坯精度低、加工余量大
机床设备及其布置	采用高效专用机床、组合机床、数控机床。采用流水线、自动生产线生产方式	部分采用通用机床,部分采用数控机床、加工中心、柔性制造单元。机床按零件类别分段布置	广泛采用通用机床,重要零件采用数控机床或加工中心。机床按机群布置
零件的互换性	具有广泛的互换性。部分高精度配合件采用分组选配法装配	大部分零件具有互换性,少数采用钳工修配装配	一般是配对制造,广泛采用钳工修配
获得加工精度的方法	调整法	一般采用调整法加工,也有采用试切法	试切法
工艺装备	广泛采用高效率夹具、量具或自动检测装置,高效复合刀具	广泛采用夹具、通用刀具、万能量具,部分采用专用刀具、专用量具	广泛采用通用夹具、量具和刀具
对工人的技术要求	对调整工技术水平要求高,操作工技术水平要求一般	技术水平要求较高	技术水平要求高
工艺文件	工艺过程、工序和检验卡片齐全、详细	一般有工艺过程卡片,重要工序有工序卡片	工艺文件简单,只有工艺过程卡片

加工零件的年生产纲领 N 可按式计算

$$N = Q \times n \times (1 + a\%) \times (1 + b\%)$$

式中, Q ——产品的年产量,台/年;

n ——每台产品中该零件的数量,件/台;

$a\%$ ——备品率;

$b\%$ ——废品率。

1.5 本课程的主要内容、学习要求和学习方法

机械制造技术基础是机械类专业的一门主干学科基础课,通过本课程的学习,使学生掌握有关机械制造技术的基础知识、基本理论和基本方法。本课程主要内容有机械制造技术概论、切削与磨削加工基本原理、金属切削机床与加工方法、机械加工工艺规程的制订、机床夹具设计原理、机械加工质量、现代制造技术概述等。

通过本课程的学习,要求学生能对机械制造有一个总体的、全貌的了解与把握,掌握金属切削过程的基本规律;掌握机械加工的基本知识;能根据零件的加工要求选择加工方法、机床、刀具、夹具和加工工艺参数;具备中等复杂零件的机械加工工艺规程设计能力;掌握机械加工精度和表面质量分析的基本理论、基本知识和基本方法;初步具备分析解决现场机械加工工艺问题的能力;了解目前先进制造技术的发展现状和发展趋势。

机械制造技术基础是一门实践性很强的课程,只靠课堂听课和自学教材是远远不够的,必须理论联系实际,通过实验、工艺课程设计、生产实习等环节加深对书本知识的理解 and 应用。只有在不断的理论—实践—理论—实践的循环中善于总结、思考、分析和应用,才能达到真正掌握的程度。

本章小结及学习要求

机械制造业属于第二产业,是国民经济的基础。生产过程是制造系统的子系统之一,不同生产类型具有不同的工艺特性。切削加工拥有加工精度高、适应材料广、生产效率高优点,应用广泛。本课程具有综合性、实践性强,涉及面广、内容丰富、灵活多变等特点。

通过本章学习,了解机械制造的发展过程、作用和地位,熟悉机械制造系统的组成,掌握机械产品的生产类型和工艺特征,掌握机械加工特别是切削加工的特点。

习题与思考题

1-1 简述机械制造业在国民经济中的地位 and 作用以及我国机械制造业的现状 and 发展战略。

1-2 机械制造系统一般可划分为哪些子系统? 分别存在哪些载体?

- 1-3 零件的成形方式有哪三大类？对应的典型工艺方法是什么？
- 1-4 切削加工有何特点？
- 1-5 何谓生产过程？何为工艺过程？它们之间有何关系？
- 1-6 生产类型划分为哪三类？划分的依据是什么？
- 1-7 不同生产类型的工艺特点是什么？

切削原理与刀具

内容提要：切削加工的形式多样，但它们在切削运动、切削刀具、切削用量及切削过程中产生的许多物理现象等方面却有着共同规律，这些现象和规律揭示了切削加工的实质。本章重点介绍切削加工的基本运动和切削要素、切削加工所用刀具的结构和材料、切削过程及产生的物理现象、材料的加工性和切削液的应用、磨削原理和砂轮结构以及非金属材料加工特点等内容。

2.1 切削加工的运动分析及切削要素

2.1.1 零件表面与成形运动

构成机械产品的零件形状虽然多种多样，但其几何表面都是由回转体表面（含外圆面、内圆面即孔、圆锥面等）、平面和曲面等组成。回转体表面是以一直线为母线、作旋转运动所形成的表面，如图 2.1(a)所示圆柱面和图 2.1(b)圆锥面。平面是以一直线为母线，作直线平移运动所形成的表面，如图 2.1(c)所示。曲面是以一曲线为母线，作旋转、平移或曲线运动所形成的表面，如图 2.1(d)中直齿圆柱齿轮的齿形面是渐开线母线沿直线导线运动而形成的；图 2.1(e)中的回转曲面是一条曲线为母线，作旋转而形成的；图 2.1(f)中的普通螺旋纹的螺旋面是由“Λ”形母线沿螺旋导线运动而形成的。总之，机械零件的大多数表面都可以看作是一条母线（直线、折线或曲线）沿导线（直线、圆或曲线）运动而形成的。

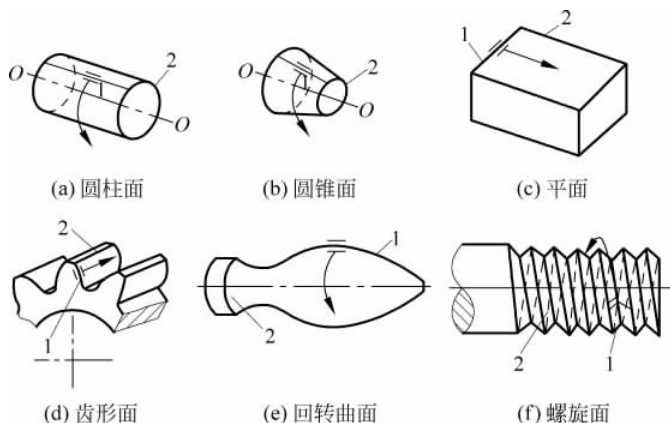


图 2.1 零件典型表面的形成

1—母线；2—导线