

# 第 1 章 工程材料与机械制造工艺

工程材料是构成机械设备的基础，也是各种机械加工的对象，包括金属材料、非金属材料 and 复合材料等。机械制造工艺包括各种材料的铸造、锻压、焊接、聚合、烧结和钳工、机械加工等。工程材料应用和机械制造工艺是机械制造过程的重要组成部分，机械制造生产过程就是将各种原材料经过成形、改性、连接等工艺转变为机器的过程。

## 1.1 工程材料与机械制造工艺的简要发展过程

材料是人类文明生活的物质基础。综观人类利用材料的历史，可以清楚地看到每一类新材料的发现和应⽤，都会引起生产技术的革命，并加速了社会文明发展的进程。人类社会的“石器时代”“青铜器时代”和“铁器时代”就是按生产活动中起主要作用的材料划分的。在远古时代，人类的祖先是⽤石器为主要工具的。他们在不断改进石器和寻找石料的过程中发现了铜和铜矿石，并在⽤火烧制陶器的生产中发现了冶铜术。进入 20 世纪后半叶，新材料研制日新月异，出现了所谓“高分子时代”“半导体时代”“先进陶瓷时代”和“复合材料时代”等提法，材料发展进入了快速发展的新时期。

我国的金属切削加工工艺发展可追溯到青铜器时代，在湖南衡阳出土的东汉人字齿轮，说明在汉朝就有了金属零件。明朝出现了简单的切削加工设备，明朝宋应星的《天工开物》，是有关金属加工的最早的科学技术著作之一，书中记载了冶炼、铸造、锻造等制造加工的方法，其中记述关于锉刀的加工、翻修和热处理工艺与当今相差无几。以上事实，生动地说明了中华民族在材料及其加工工艺方面对世界文明和人类科技进步做出的卓越贡献。

18 世纪 20 年代，先后在欧美发生的产业革命极大地促进了钢铁工业和石油化学工业的快速发展。各类新材料不断涌现，材料对科学技术的发展发挥着关键性作用。以航空工业为例，1903 年世界上第一架飞机所用的主要结构材料是木材和帆布，飞行速度仅为每小时 16 km；1911 年硬铝合金研制成功，金属结构取代木材和帆布结构，使飞机性能和速度获得一个飞跃；喷气式飞机超过音速，高温合金材料对制造涡轮发动机起到重要作用；当飞机速度在 2~3 倍音速时，飞机表面温度会升到 300℃，飞机材料只能采用不锈钢或钛合金；至于航天飞机机体表面温度会高达 1000℃ 以上，只能采用高温合金材料及防氧化涂层。目前，玻璃纤维增强塑料、碳纤维高温陶瓷复合材料、陶瓷纤维增强塑料等复合材料在飞机、航天飞行器上已获得⽤应。

## 1.2 工程材料的分类及发展趋势

在生活、生产和科技各个领域，用于结构、机器、工具和功能器件的各类材料统称为工程材料。工程材料按其组成特点可分为金属材料、有机高分子材料、无机非金属材料及复合材料四大类。若按材料的使用性能可分为结构材料与功能材料两大类。结构材料是作为承力结构使用的材料，其使用性能主要是力学性能；功能材料的使用性能主要是光、电、磁、热和声等特殊功能性能。按应用领域材料又可分为信息材料、能源材料、建筑材料、机械工程材料、生物材料和航空航天材料等多种类别。

材料、能源和信息技术是现代文明的三大支柱。从现代科学技术发展史中可以看到，每一次重大的新技术发现，往往都有赖于新材料的发展。所谓新材料，主要是指最近发展或正在发展中的具有比传统材料更优异性能的一类材料。目前世界上传统材料已有几十万种，同时新材料的品种正以每年大约 8% 的速度增长。工程材料的新发展给社会生产和人们生活带来了巨大的变化。

金属材料的分类如图 1.1 所示。由于金属材料工业已形成了庞大的生产能力，并且质量稳定，性能价格比具有一定的优势，所以金属材料仍占据材料工业的主导地位。目前，金属材料不断推陈出新，许多新兴金属材料应运而生。例如，传统的钢铁材料正在不断提高质量、降低成本、扩大品种规格，在冶炼、浇铸、加工和热处理等工艺上不断革新；在非铁金属及合金方面出现了高纯高韧铝合金，先进的镍基高温合金等。此外，还涌现了其他许多新型高性能金属材料，如快速冷凝金属非晶和微晶材料、纳米金属材料、超导材料和单晶合金等。新型金属功能材料，如形状记忆合金、超细金属隐身材料及活性生物医用材料等也正在向着高功能化和多功能化发展。

无机非金属材料的分类如图 1.2 所示。由于制备技术的进步，开发出了一批先进陶瓷材料，包括氮化硅、氧化铝等新结构陶瓷材料，其强度和断裂韧度大大优于普通的硅酸盐陶瓷材料，用作高温结构件、耐磨耐腐蚀部件、切削刀具等替代金属材料有明显优点。功能陶瓷是一类利用材料的电、磁、声、光、热和弹性等效应以实现某种功能的陶瓷，是现代信息、自动化等工业的基础材料。从传统的硅酸盐陶瓷到先进陶瓷是陶瓷材料发展史上的重大飞跃。

有机高分子材料包括塑料、橡胶、合成纤维、胶黏剂、液晶、木材、油脂和涂料等。人们将那些力学性能好、可以代替金属材料使用的塑料称为工程塑料。由于石油化学工业大规模合成技术的迅速发展，高分子合成材料（包括合成纤维、合成橡胶和塑料）成为国家建设和人民生活中必不可少的重要材料。近十年来，随着高压聚合工艺的进步，高分子材料的合成、高性能的合成纤维和工程塑料已进入实用阶段。另一方面，人们还可以通过技术手段，使高分子化合物作为物理功能高分子材料、化学功能高分子材料或生物功能高分子材料，如导电高分子、光功能高分子、液晶高分子、信息高分子材料，人工骨材料等。

金属、陶瓷和有机高分子材料各有其固有的优点和缺点，而复合材料是由几类不同材料通过复合工艺组合而成的新型材料，它既能保留原组成材料的主要特色，又能通过复合效应获得原组分所不具备的性能，还可以通过材料设计使各组分的性能互相补充并彼此关联，从而获得新的优越性能。结构复合材料由能承受载荷的增强体与能连接增强体为整体材料的基体构成，由不同的增强体和不同的基体即可构成名目繁多的结构复合材料，如高

聚物（树脂）基复合材料（如玻璃钢）、金属基复合材料和陶瓷基复合材料等。结构材料复合化成为结构材料发展的一个重要趋势。复合材料的分类如图 1.3 所示。

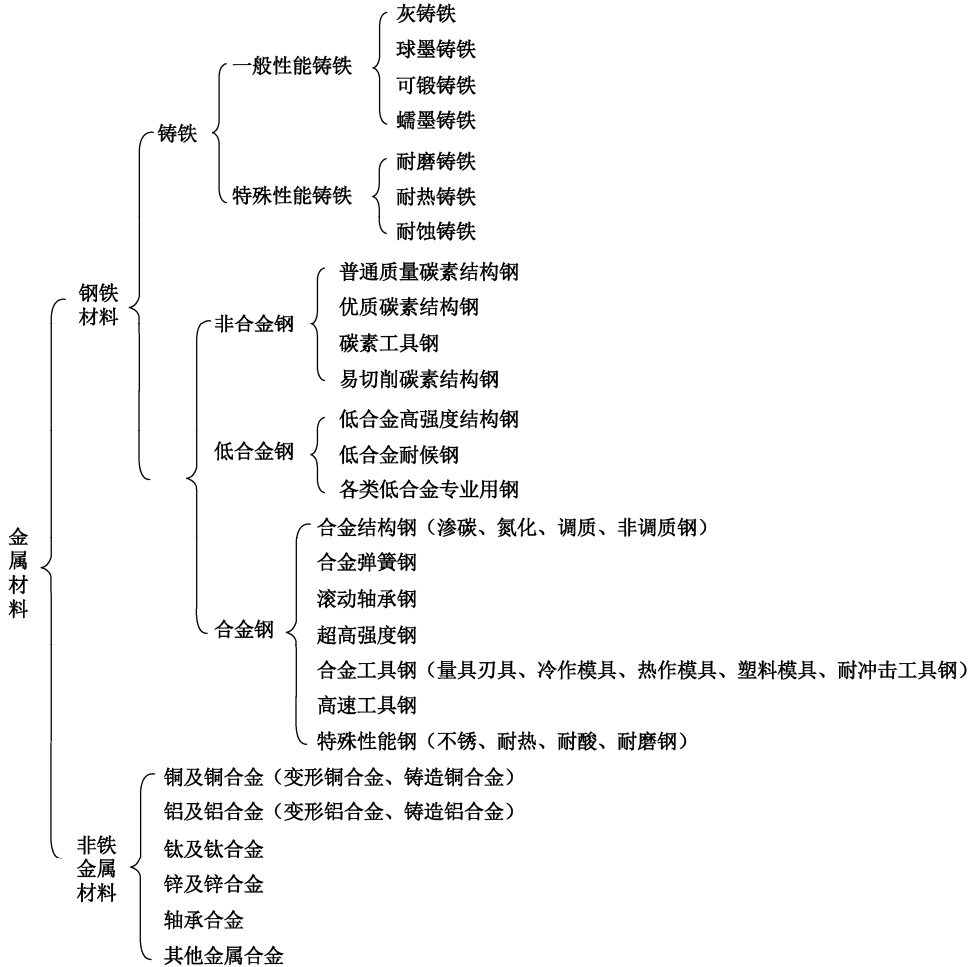


图 1.1 金属材料的分类

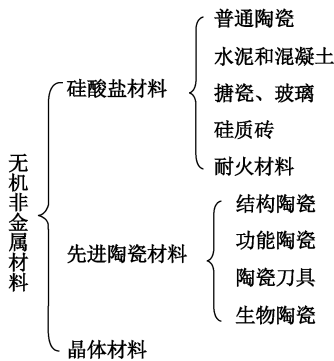


图 1.2 无机非金属材料的分类

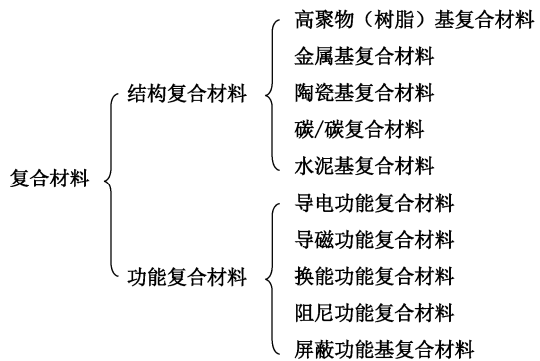


图 1.3 复合材料的分类

### 1.3 机械制造工艺的发展趋势

#### 1.3.1 机械制造工艺流程

机械制造工艺是指将各种原材料、半成品加工成为零件、产品的方法和过程。机械生产过程按其功能不同主要分为两类：一类是直接改变工件的形状、尺寸、性能及决定零件相互位置关系的加工过程，如毛坯制造、机械加工、热处理、表面保护、装配等，以材料制造工艺技术为主，它们直接创造附加价值；另一类是搬运、储存、检验、包装等辅助生产过程，它们间接创造附加价值。机械制造工艺流程如图 1.4 所示。

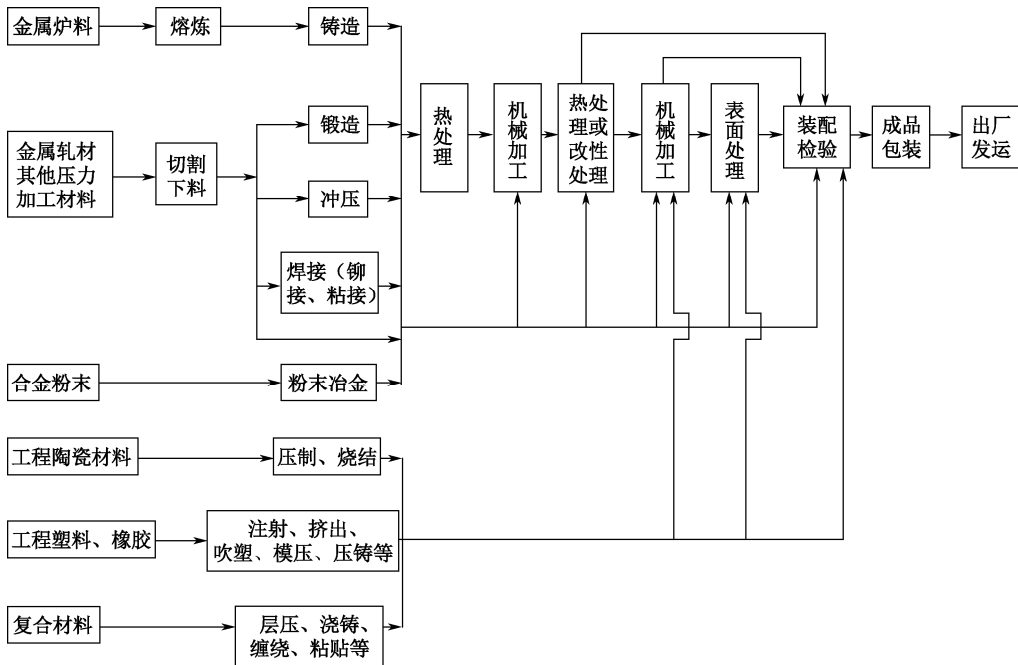


图 1.4 机械制造工艺流程图

工业生产的原材料主要是以钢铁为主的金属结构材料，包括由冶金工厂直接供应的棒、板、管、线材、型材，进行切割、焊接、冲压、锻造或下料后直接进行机械加工；也包括生铁、废钢、铝锭、电解铜板等材料，进行二次熔化和加工（铸造、铸锭-锻造）。随着机械工程材料结构的不断调整，各种特种合金、金属粉末、工程塑料、复合材料和工程陶瓷材料的应用比例也不断扩大。

零件毛坯的制造方法一般有铸造、锻造、冲压、焊接和轧材下料等 5 种常用方法（轧材下料又常用作锻压和焊接的准备工序）；其他材料（合金粉末、工程陶瓷、工程塑料等）另有各自的特殊成形方法。

零件的机械加工指采用切削、磨削和特种加工等方法，逐步改变毛坯的形状、尺寸及表面质量，使其成为合格零件的过程。根据加工余量的大小及所能达到的精度，一般分为粗加工和精加工两种。

金属材料的热处理可分为预备热处理和最终热处理。预备热处理一般在毛坯制造后粗

加工前进行；最终热处理一般在粗加工后精加工前进行。部分热处理工艺（表面热处理和化学热处理）往往也作为表面保护的具体措施。

材料电镀、转化膜、气相沉积、热喷涂、涂装等表面处理工艺，一般在零件精加工后装配前进行，用以改变零件表面的力学性能及物理化学性能，使其具有符合要求的强韧性、耐磨性、耐蚀性及其他特种性能。

在机械加工过程中，有大量主体工序（如造型、熔化浇铸、切削等），也有大量的辅助工序（如毛坯打磨、焊补等）。在工艺装备中要有相应的辅助工装（如砂箱、夹具等）和工艺材料（如造型原砂、焊条、切削液等）配合。辅助工序、辅助工装和工艺材料对产品质量也有重大影响。

在机械制造生产过程中，各种物料（原材料、工件、成品、工具、辅助材料、废品废料等）的搬运和储存，材料产品和工艺过程的检测和质量监控，生产过程中各种信息的传递和控制都是贯穿于整个机械制造工艺过程的，是保证生产工艺过程的正确实施、提高产品质量稳定性和提高经济效益的重要环节。

### 1.3.2 机械制造工艺的发展

铸造、锻压、注塑、热处理、机械加工等常规机械制造工艺至今仍是量大面广、经济适用的技术，因而常规工艺的不断改进、提高具有很大的技术经济意义。通过改进工艺设备、采用新型工艺材料、完善检测控制系统、改善工艺条件、优化工艺及其参数等途径，实现高效化、精密化、强韧化、轻量化，以形成优质、高效、低耗等先进适用工艺。如以涂层刀具、超硬刀具、机夹刀具代替普通刀具，以数控加工代替普通机床加工等。常规工艺经过优化后，能够扩展原有的工艺效果，使得如下料，毛坯制造和零件精、粗加工及热处理等工艺，在界限上趋于淡化，在功能上趋于交叉。如精密冲裁、精密切割的功能不止限于下料，一直扩展至粗加工甚至部分精加工领域。无余量精密制造、接近最终形状的精密切削成形等基本可取代粗加工，甚至可以做到直接装配。常规工艺的不断优化，取得了非常明显的技术经济效果。

近些年来，机械产品更新换代的速度不断加快，对制造工艺提出了更高更新的要求；新能源、新材料、微电子、计算机等高新技术的不断引入，为新型加工方法的出现提供了技术储备。因此，机械制造加工方法不断出现和发展。新型材料的出现使传统的铸、锻、焊、热、切削加工工艺的技术构成逐渐发生变化。新型材料的应用也导致崭新加工技术的产生，如加工超塑性材料的超塑成形、加工陶瓷材料的热等静压、沉积 TiN、人造金刚石等。另外，激光、电子束、离子束、等离子体、超声波、高压水射流等新能源或能源载体的引入，形成了多种崭新的特种加工及高密度能切割、焊接、熔炼、锻压、热处理、表面保护等加工工艺。激光、等离子、高压水射流切割技术与数控技术相结合使加工精度和生产效率大幅度提高。

随着机械加工精度不断提高，出现了精密加工和超精密加工，其主要方式有超精密切削、超精密磨削与磨料加工。制造超大规模集成电路、光电器件等的基本加工工艺是微细加工，它不仅加工精度极高，而且加工尺寸十分微小。微细加工的发展还导致一门崭新的学科——微机械的产生。应用微机械技术可制造出微量级尺寸的机械器件，如微型传感器、静电驱动的微型马达、微型齿轮、微型轴承、微型机械手、微型机器人等。

将两种以上加工方法复合应用（工艺及设备复合）形成一些复合加工技术。如超声振动切削、液态模锻（铸造+热挤压）、连续铸挤（连续铸造+挤压）、超塑成形、扩散连接等加工方法。

计算机数值模拟技术和计算机辅助工艺设计（CAPP）在铸造、锻压、焊接等传统工艺中开始得到广泛应用。材料成形及处理各生产环节采用高效专用设备和先进工艺，普遍实现了工艺专业化和机械生产自动化。微电子、计算机、自动化技术与工艺及设备相结合，形成了从单机到系统、从刚性到柔性、从简单到复杂等不同档次的多种自动控制加工技术，使传统工艺面貌发生显著的本质的变化。应用新型传感器、无损检测等工艺过程自动监控技术及可编程控制器、微机等新型控制装置实现系统的自适应控制和自动化控制。适应产品更新换代周期短、品种规格多样化的需要，高效柔性加工系统获得较快发展。计算机集成制造系统（CIMS）借助计算机技术，将产品设计、制造工艺（CAD/CAM）和管理信息集成于交互式网络中，形成一个有机整体，实现机械制造过程高度自动化，极大地提高了劳动生产率和社会经济效益。

### 1.3.3 新材料的发展趋势

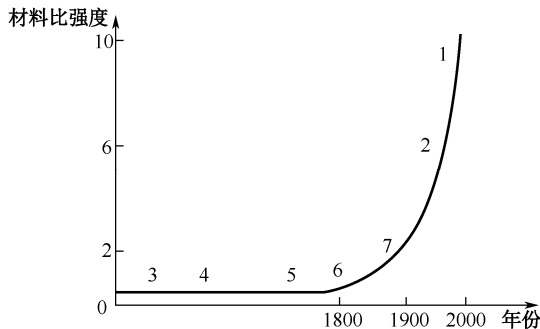
随着社会的发展和科学技术的进步，新材料的研究、制备和加工应用层出不穷。每一种重要的新材料的发现和应⤵用，都把人类支配自然的能力提高到一个新的水平。工程材料目前正朝着高强度比（单位密度的强度）、高比模量（单位密度的模量）、耐高温、耐腐蚀的方向发展。如图1.5所示为材料比强度随时间的进展今日先进材料强度比早期材料强度增长5倍。新材料主要在以下几方面获得发展。

#### 1. 先进复合材料

先进复合材料是由基体材料（高分子材料、金属或陶瓷）和增强材料（纤维、晶须、颗粒）复合而成的具有优异性能的新型材料。

#### 2. 光电子信息材料

光电子信息处理材料包括量子材料、生物光电子材料、非线性光电子材料等。



1—芳纶纤维、碳纤维；2—复合材料；3—木材、石；4—青铜；5—铸铁；6—钢；7—铝

图 1.5 材料比强度随时间的进展



### 3. 低维材料

低维材料是指超微粒子（零维）、纤维（一维）和薄膜（二维）材料，这是近年来发展最快的材料领域。

### 4. 新型金属材料

新型金属材料，包括镍基高温合金、非晶态合金、微晶合金、Al - Li 合金金属间化合物等。