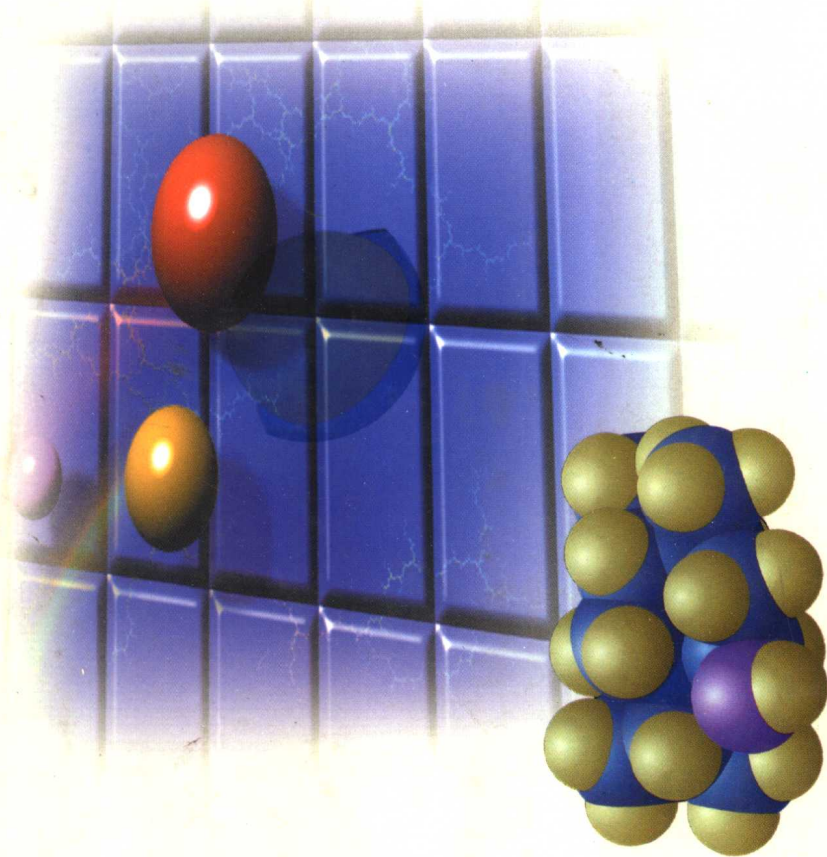


· 高等学校专业教材 ·

材 料 导 论

高分子材料与工程专业系列教材

励杭泉 编



 中国轻工业出版社

高等学校专业教材
高分子材料与工程专业系列教材

材 料 导 论

励杭泉 编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

材料导论/励杭泉编. —北京: 中国轻工业出版社, 2000. 6
高等学校专业教材
ISBN 7-5019-2623-9

I. 材… II. 励… III. 材料科学-高等学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 23463 号

责任编辑: 赵红玉 责任终审: 滕炎福 封面设计: 赵小云
版式设计: 智苏亚 责任校对: 蔡杰 责任监印: 崔科

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京在长安街 6 号, 邮编: 100740)

网 址: <http://www.cblip.com.cn>

联系电话: 010-642416

印 刷: 中国人民公安大学印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15.75

字 数: 363 千字 印数: 1—3000

书 号: ISBN 7-5019-2623-9/TQ·185 定价: 30.00 元

· 如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换 ·

编写说明

本书为高分子材料与工程本科专业系列教材之一。作为 21 世纪人类创造的奇迹之一，有机高分子物质将展现出奇特的化学、物理特性，开辟出一片崭新的科技天地。作为一类材料，高分子与金属、陶瓷并称为三大材料，应用在人类生产、生活的每一角落。而作为生物现象、生命现象以及信息的载体，有机高分子物质中更潜藏着新的突破。有关高分子的科学与技术，不是囿于材料一隅，而是一个以高分子为中心，向各个科学领域辐射的综合性学科。根据教育部拓宽专业、加强素质教育的办学指导思想，我们将现有的与聚合物有关的窄专业，如“高分子材料”、“高分子化工”、“塑料成型加工”、“橡塑工程”以及“复合材料”专业中的一部分，统起来成为一个全面覆盖高分子科学技术的大高分子宽专业。

通过对有机高分子物质的合成、结构与性能关系、加工应用及工程设计的内容进行系统的归纳，我们制订了这一宽专业的教学框架，并组织编写了本套系列教材：《材料导论》、《高分子化学》、《高分子物理》、《聚合物改性》、《聚合物制备工程》、《聚合物加工工程》、《聚合物复合材料》、《聚合物材料》、《聚合物研究方法》。由于时间紧、任务重，仓促之中可能会有谬误之处，望广大读者及教育界同行不吝指教，以便再版时修正。

《高分子材料与工程专业系列教材》编写组

2000 年 3 月

216774

序 言

本书是介绍材料基本知识以及材料科学与工程基本概念的入门教材。什么是材料？材料就是宇宙间的物质。材料与物质不能划等号，材料的概念比物质窄得多。当一种物质具有可供利用的性质，可以制造有用物品时才成为材料。高分子材料与高分子物质的关系就如同材料与物质的关系。高分子物质在我们的世界中无处不在，花草树木，鸟兽鱼虫，乃至我们人类的身体，莫不有高分子物质参与构成。而智慧的人类又创造出动、植物体以外的高分子物质，应用在生活的方方面面，或为涂料，或为药物，或为纤维，或为包装，或为化学试剂……其中绝大部分都可归入高分子材料的范畴。大约在 20 世纪 60 年代，人们开始认识到不论是金属材料、陶瓷材料还是高分子材料，都有着共同的行为规律，共同的结构与性能关系。尽管不同材料间的力学性质、热学性质、电磁学性质、光学性质等可以有很大的差异，但支配这些性质的物理和化学规律是相同的。于是创立了研究材料共同规律的学科，定名为材料科学与工程。有了大一统的材料概念，各种材料之间的关系似乎变得亲近起来。在进行工程设计时似乎有了更广阔的材料选择空间。但随着材料科学的发展，人们不再满足简单材料，开始像量体裁衣那样对材料进行“剪裁”，于是又产生了“复合材料”的概念。复合材料的出现彻底改变工程设计的传统观念。过去的设计者必须考虑现有材料是否能够满足设计要求，而当代的设计者可以随心所欲地向材料学家点菜，而材料学家总能施展点石成金的手段，“变”出令人满意的材料。在 21 世纪，新材料的不断涌现将引导科学技术以更快的速度发展，作为“高分子材料与工程”专业的学生，不可不对整个材料世界有所了解。只有将高分子材料与其它材料联系起来学习，才能了解许多高分子材料知识的来龙去脉，才能将高分子物理与高分子化学的知识融会贯通。然而，由于历史的原因，传统材料（金属与陶瓷）专业与高分子材料专业的教学体系有较大差别，前者的理论基础是固体物理而后者是有机化学。让高分子材料专业的学生按传统材料专业的路子学习，显然是不合适的。本书在编写中，尝试了一条新的路线，即先介绍材料共同的性质，再依次介绍聚合物材料、聚合物基复合材料和陶瓷材料，再回到金属学的基础知识，再介绍金属材料及其它有关知识。这种顺序对高分子材料专业学生进入“大材料”之门可能是一条捷径。由于编者是学习高分子科学出身，近年来方开始接触材料科学与工程系统知识，水平有限，书中亦不免舛误之处，望读者不吝赐教。

励杭泉

2000 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 材料概述	(1)
1.2 材料环	(3)
1.2.1 原材料的制取	(3)
1.2.2 材料的预加工	(4)
1.2.3 材料的工程化	(4)
1.2.4 产品的制造	(4)
1.2.5 产品的服役	(5)
1.2.6 丢弃与回收	(5)
1.2.7 材料环的缺口	(5)
1.3 材料家族	(5)
1.3.1 金属材料	(6)
1.3.2 陶瓷	(7)
1.3.3 聚合物	(7)
1.3.4 复合材料	(7)
1.3.5 其它材料	(8)
参考文献	(8)
练习与思考	(9)
第 2 章 材料的性质	(10)
2.1 力学性质	(11)
2.1.1 应力-应变曲线	(11)
2.1.2 剪切强度与挠曲强度	(14)
2.1.3 韧性	(16)
2.1.4 疲劳强度	(17)
2.1.5 蠕变	(19)
2.1.6 硬度	(20)
2.2 物理性质	(22)
2.2.1 热学性质	(22)
2.2.2 电学性质	(25)
2.2.3 磁学性质	(32)
2.2.4 光学性质	(35)
参考文献	(40)
练习与思考	(40)
第 3 章 聚合物材料	(43)
3.1 聚合物科学基础	(44)

3.1.1	聚合过程	(44)
3.1.2	分子组成与构造	(46)
3.1.3	聚合物的凝聚态与力学状态	(47)
3.2	塑料	(49)
3.2.1	热塑性塑料	(49)
3.2.2	热固性塑料	(54)
3.3	弹性体	(56)
3.3.1	天然橡胶	(56)
3.3.2	合成橡胶	(56)
3.3.3	热塑性弹性体	(58)
3.4	聚合物的加工	(59)
3.4.1	挤出成型	(59)
3.4.2	注射成型	(60)
3.4.3	压制成型	(60)
3.4.4	真空成型	(61)
3.4.5	压延	(61)
3.4.6	浇铸	(62)
3.4.7	烧结	(62)
3.5	聚合物涂料	(62)
3.5.1	成膜机理	(62)
3.5.2	涂料选择	(63)
3.6	粘合剂	(65)
3.6.1	粘结机理	(66)
3.6.2	粘合剂的分类与性能	(67)
3.7	聚合物的回收	(70)
	参考文献	(72)
	练习与思考	(74)
第4章	聚合物复合材料	(76)
4.1	概述	(76)
4.2	混合原理	(77)
4.2.1	连续纤维平行于外力	(78)
4.2.2	连续纤维垂直于外力	(79)
4.2.3	基体塑性形变	(79)
4.2.4	负荷传递	(80)
4.2.5	复合材料的强度	(81)
4.3	聚合物基体	(81)
4.3.1	热塑性树脂	(81)
4.3.2	热固性树脂	(82)
4.4	增强纤维	(84)
4.4.1	硼纤维与碳化硅纤维	(84)

4.4.2 碳纤维与石墨纤维	(85)
4.4.3 芳香尼龙	(86)
4.4.4 陶瓷纤维	(86)
4.4.5 玻璃纤维	(87)
4.4.6 金属纤维	(88)
4.5 聚合物基复合材料	(88)
4.6 树脂基复合材料的加工	(93)
4.6.1 模面成型	(93)
4.6.2 模压成型	(94)
4.6.3 真空成型	(94)
4.6.4 缠绕成型法	(94)
4.6.5 拉挤成型	(95)
4.6.6 纤维编织	(96)
4.7 碳基复合材料	(97)
4.8 其它形式的复合材料	(98)
4.8.1 混杂复合材料	(98)
4.8.2 颗粒复合材料	(99)
4.8.3 叠层复合材料	(99)
4.8.4 智能复合材料	(101)
参考文献	(101)
练习与思考	(103)
第5章 陶瓷材料	(105)
5.1 陶瓷的性质	(106)
5.1.1 孔隙度与密度	(106)
5.1.2 磨损阻力	(107)
5.1.3 断裂韧性	(107)
5.1.4 抗热冲击性	(109)
5.1.5 辐射系数	(109)
5.2 陶瓷材料的加工	(110)
5.2.1 粉体的制取	(110)
5.2.2 冷压与烧结	(111)
5.2.3 热压	(112)
5.2.4 化学加工方法	(113)
5.3 工程陶瓷材料	(118)
5.3.1 氧化物	(118)
5.3.2 碳化物	(120)
5.3.3 氮化物	(121)
5.3.4 金属陶瓷	(123)
5.4 陶瓷的增韧	(125)
5.4.1 陶瓷基复合材料	(125)

5.4.2 预应力法	(127)
5.4.3 氧化锆体系	(128)
5.5 玻璃	(131)
5.5.1 玻璃的化学组成	(131)
5.5.2 玻璃的加工	(132)
5.5.3 玻璃的种类	(133)
5.5.4 特种玻璃	(134)
5.5.5 玻璃陶瓷	(134)
参考文献	(135)
练习与思考	(137)
第 6 章 金属学基础	(138)
6.1 晶体结构	(138)
6.1.1 晶胞与晶系	(138)
6.1.2 Miller 指数	(139)
6.1.3 立方晶体	(142)
6.1.4 六方密堆积 (HCP) 结构	(147)
6.2 晶体的缺陷	(148)
6.2.1 点缺陷	(148)
6.2.2 线缺陷	(150)
6.2.3 面缺陷	(153)
6.3 扩散过程	(155)
6.4 相图	(160)
6.4.1 合金与固溶体	(160)
6.4.2 完全互溶体系	(162)
6.4.3 共晶体系	(163)
6.4.4 具有中间相的体系	(164)
6.4.5 共析体系	(165)
6.5 金属的强化	(166)
6.5.1 冷加工与应变强化	(166)
6.5.2 退火、热加工与细晶强化	(169)
6.5.3 时效强化	(170)
6.5.4 分散强化	(172)
参考文献	(173)
练习与思考	(173)
第 7 章 金属材料	(176)
7.1 铁碳合金	(176)
7.1.1 铁-碳相图与碳钢	(176)
7.1.2 合金钢	(180)
7.1.3 工具钢	(182)
7.1.4 不锈钢	(183)

7.1.5 铸铁	(186)
7.2 有色金属	(188)
7.2.1 铝合金	(189)
7.2.2 镁合金	(191)
7.2.3 铜合金	(192)
7.2.4 镍与钴合金	(193)
7.2.5 钛合金	(195)
7.2.6 耐火金属	(198)
7.3 粉末冶金	(198)
参考文献.....	(199)
练习与思考.....	(200)
第 8 章 材料与环境	(202)
8.1 金属的腐蚀与防护	(202)
8.1.1 电池反应	(202)
8.1.2 电动力	(204)
8.1.3 电极反应及其相关的化学电池	(205)
8.1.4 腐蚀速率	(206)
8.1.5 腐蚀的类型	(208)
8.1.6 腐蚀的防护	(210)
8.2 表面工程	(212)
8.2.1 镀层	(212)
8.2.2 转化膜	(213)
8.2.3 气相沉积法	(214)
8.2.4 覆硬层	(216)
8.2.5 高能过程	(217)
8.2.6 扩散过程	(217)
8.3 其它材料的环境劣化	(219)
8.3.1 聚合物的环境劣化	(219)
8.3.2 陶瓷的环境劣化	(222)
参考文献.....	(222)
练习与思考.....	(223)
第 9 章 材料的比较与选择	(225)
9.1 从设计到材料选择	(225)
9.2 性能比较与选择	(226)
9.2.1 使用温度	(227)
9.2.2 强度	(227)
9.2.3 延展性	(228)
9.2.4 韧性	(228)
9.2.5 弹性模量	(228)
9.2.6 物理性质	(229)

9.2.7 耐腐蚀能力	(229)
9.2.8 可靠性	(231)
9.3 材料选择的技术因素	(231)
9.3.1 价格	(231)
9.3.2 货源	(232)
9.3.3 环境因素	(232)
9.4 材料选用实例	(233)
9.4.1 航天飞机热保护系统	(233)
9.4.2 高尔夫球棒	(233)
9.4.3 外科植入物	(234)
9.5 材料的未来	(235)
参考文献.....	(236)
练习与思考.....	(238)

第 1 章 绪 论

1.1 材 料 概 述

材料是工程技术的基础与先导。现代社会的进步，在很大程度上都依赖于新材料的发现与发展。科学家与工程师们都认识到发展尖端技术的前提是发展新材料与新材料加工技术，并在近 20 年来在这方面有了空前的重要进展。所以许多人将我们这一历史时期称为“材料时代”。

材料是宇宙间可用于制造有用物品的物质。有用指除了使用价值外，还需具有一定的性能，如物理性质、化学性质和力学性能等。物品可以是单件的器件或元件，可以是组装的机器与仪器，也可以是集成的系统。根据材料的基本性质与结构，可以将其分为四大类，即金属、陶瓷、聚合物和复合材料。

我们常常使用“工程材料”这个词。工程材料在较广的定义上与“材料”相差无几，但它还有一个比较专门的定义，指那些具有专门设计的结构、专门的性能、专门用于某一领域的材料。例如美国材料标准测试协会（ASTM）对工程塑料的定义是：

Those plastics and polymeric compositions for which well defined properties are available such that engineering rather than empirical methods can be used for the design and manufacture of products that require definite and predictable performance in structural applications over a substantial temperature range.

即：具有确定性质的塑料或聚合物复合物，可用工程方法（而不是经验方法）设计并生产产品，这种产品作为结构件应用时，在较宽温度范围内具有确定的、可预测的使用性能。

根据以上繁琐的定义，聚碳酸酯和聚甲醛属于工程塑料，在制造管材、凸轮和齿轮方面可以代替钢铁和木材；而聚苯乙烯和聚氯乙烯则属于通用塑料，它们缺乏承受载荷的能力，只能用来制造包装和容器。

从事材料，尤其是工程材料的开发、研究工作的学科领域称为材料科学与工程。美国科学院对材料科学与工程定义为：

Involves the generation and application of knowledge relating the composition, structure, and the processing of materials to their properties and uses.

即：材料组成、结构、加工与材料性质、使用之间关系的发现与应用。材料科学着重于发现材料的本质，并由此对结构与组成、性质、使用性能之间的关系作出描述与解释；而材料工程则是应用材料科学的知识，对材料进行开发、制造、修饰并实现其具体应用。有人认为材料科学与工程属于工程科学，实际上它是个交叉学科或多学科领域，涉及固体物理学、金属学、陶瓷学、高分子化学与高分子物理等。

为开发新的工程材料，材料学家们先是设计出新的材料结构，再开发出新的制造方法，使材料的种类呈几何级数增长。据粗略统计，目前我们共拥有 45 000 种金属合金，15 000 种聚合物，还有近千种陶瓷、木材、复合材料和纺织品。让我们看一辆小轿车所用材料的更新情况。以 1986 年梅塞德斯-奔驰轿车为例，使用了 67% 的钢铁、12% 的聚合物、4% 的合金铝和 12% 的纺织品。而一辆 1996 年的同牌号汽车，钢铁下降到 62%，聚合物增加到 18%，合金铝增加到 6%。不仅是汽车行业，其它行业中使用聚合物的比例也在增高。在日常生活中更不必说，每个人都能感受到身边的塑料制品是越来越多了。图 1-1 是材料成熟曲线，它是根据了解到的发展规划绘制的。可以看出聚合物、陶瓷、复合材料的应用将大幅度增加。复合材料是一种或多种材料的结合体。玻璃钢与混凝土是两个最熟知的例子。当然今天的复合材料不会那样简单，而是集高强度、低重量于一身的工程化材料。

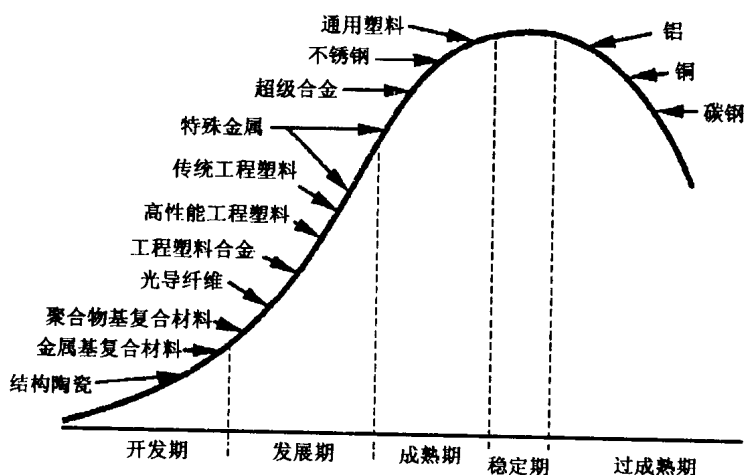


图 1-1 材料成熟曲线

为进一步看清高精尖材料的发展脉络，不妨对飞机结构材料的发展作一简短的回顾。因为很少有像飞机那样的制品对材料的性质、重量及工作温度有那样严格的要求。世界上第一架金属飞机是德国 Hans Reissner 公司于 1912 年设计制造并试飞成功的，它的机翼材料是纯铝。到 30 年代初期，出现了合金铝的机身和机翼，如波音 757 的材料就是 80% 的合金铝、12% 钢铁和 3% 的复合材料。以铝为主的材料结构延续了很长时间，到超音速时代就不得不改变了。因为铝的强度只能维持到 195℃。目前唯一的超音速客机协和式和 SR71 式侦察机的机身都采用了钛合金。麦道公司于 70 年代设计的 Harrier 式飞机，率先将铝合金全部换成了碳纤维与环氧树脂的复合材料。Voyager 式飞机由于大量采用复合材料，一次加油就能够绕地球一周。目前已经出现了除发动机外全部用复合材料制造的飞机。

喷气发动机的材料是含镍、钴、铬的超级合金。用此超级合金制造的发动机能在较高温度下工作，由此带来了较高的飞行速度和较低的油耗。工作温度越高，飞行效率也就越高，所以进一步提高工作温度就成了工程师们不断追逐的目标。但合金的结构、组成再合理，终究有个熔点。目前合金的工作温度上限已达 1040℃，开发的潜力已经不大。采用高熔点金属如钽、铌、钼、钨等是一种解决办法。但这些金属在高温下非常容易同气体作用，需要表面保护层。采用陶瓷作保护层的研究尚未成功。人们绕道而行，只将发动机中最热的部分换上陶瓷或陶瓷复合材料。陶瓷的工作温度最高可达 2760℃，所以材料学家把眼睛都盯在陶瓷身上。

汽车工程师们也加入了陶瓷材料的开发,因为汽车内燃机也同样面临提高工作温度的问题。为了使内燃机的金属材料不致过热,在运行中必须用水不断冷却,因此有三分之一的能量消耗在冷却过程中。如果能用陶瓷制造内燃机的缸体,就能一举取消冷却系统,节省大量的能量。目前唯一的障碍是陶瓷的脆性。制造韧性陶瓷成了人们不断努力的目标。

不仅是飞机和汽车,连自行车的材料也在日新月异地发展。美国最新开发出来的 Trek 山地车,车架是用 60% 的碳纤维加 40% 环氧树脂的复合材料,轴承是浸渍聚四氟乙烯的复合材料,制造商称这是世界上最坚固、最轻便的自行车。

除以上的例子外,在本书中我们还会看到大量的事例,说明材料科学与工程如何带动交通、运输、信息、通讯、娱乐、卫生等各行业的进步,如何带动社会的进步。

1.2 材 料 环

如上节中的定义中所述,材料是宇宙中可用来制造有用物品的物质。这些物质以各种形式分布在地球上、地壳中、海洋中甚至大气中。这些物质不断地被发掘、被提取、被加工、被利用。在材料的使用过程中有一部分会自动回到最初在大自然中的存在形式,在物品的使用寿命过后大部分材料可以被重新利用。物质在这一系列过程中,从一种存在形式转化为另一种存在形式,生生不息。这一过程可以看作是一个循环圈,我们将之称为材料环。从图 1-2 所示的材料环中我们可以看到物质如何被转化成为材料,材料的存在形式如何转变,更重要的是我们可以看到材料被发掘利用的各个阶段,由此可以看到材料在日常生活中的工程技术中的重要性。

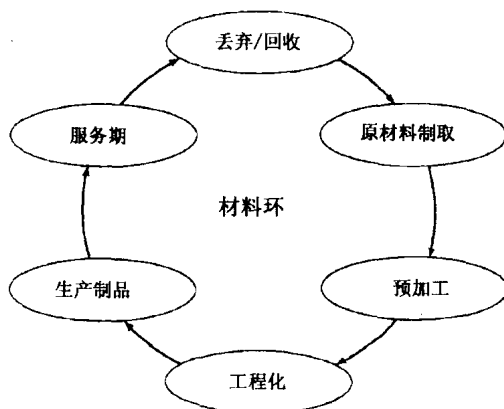


图 1-2 材料环

1.2.1 原材料的制取

从初中化学中我们就知道,物质分为单质与化合物。单质指纯元素,目前已知的有 110 种。单质直接可以作为材料的只有寥寥数种,如金、铂等。单质碳如金刚石、石墨等,也是存在于大自然中的材料,这种材料没有原材料的概念。绝大多数材料都必须先得到原材料,再进一步进行加工生产。不同的材料有其不同的原材料,不同原材料的制取方法又不同。例如钢铁,要从铁矿石中冶炼得到;金属铝,要通过电解铝矾土得到。但今天大部分的铝并不是从电解铝矾土得到的,而是通过废料回收重新炼制得到的。最熟悉的例子莫过于易拉罐的回收利用。如果不是易拉罐中的铝材不断回收利用,易拉罐的价格不会这样低,而且我们城市中大街小巷恐怕早已堆满五颜六色的易拉罐了。

陶瓷的原材料是粉体。用矿物的粉体进行压制、烧结就能够得到陶瓷制品。陶瓷粉体的制取我们将在第 5 章作详细介绍。

高分子材料的原材料制取比较复杂。绝大多数高分子材料并不存在于自然界中,而是人类用有机原料合成的。用于合成的有机原料称为单体,例如聚乙烯的单体是乙烯,聚苯乙烯的单体是苯乙烯,尼龙 66 的单体是己二酸与己二胺,聚酯的单体是对苯二甲酸和乙二醇酯。

经过加成聚合或者缩合聚合,就能够得到高分子原材料。合成过程相当复杂,我们将在第3章作简单介绍。

1.2.2 材料的预加工

通过金属的冶炼,高分子的聚合,陶瓷粉体的精制,可以分别得到不同材料的原材料。有些原材料可以一步加工成为物品,如陶土烧结成为器皿,塑料颗粒通过注射成型制造玩具、家电外壳等。这种生产过程没有预加工这一步。但在很多生产过程中,先是将原材料制成一定规格、一定尺寸的预制件或零件,以供进一步加工使用。例如橡胶可预制成管材、片材、皮带、垫圈等,塑料可以预制成管材、板材、薄膜等。金属预加工的种类更多,可预制成带钢、角钢、工字钢、钢板,还可以制成齿轮、垫圈、螺钉、螺母等。零件可直接用于装配,预制件可按需要进行切割后进一步加工。在电子工业中,预制件就是元件,如二极管、三极管,甚至集成电路。尽管这些元件的结构可能非常复杂,但从生产和应用的角度看,它们尚不是直接应用的物品,还须进一步装配或加工,所以只能算是预加工的产物。

1.2.3 材料的工程化

工程化即高性能化。这一步可以是独立的一步,也可以与上两步中的任一步同时发生。所谓高性能化指的是使材料具备高性能——高耐热性、高强度、高模量、高韧性、高耐磨性等——的加工过程。不同种类材料的高性能标准不同。以高耐热性为例。塑料耐 250°C 就称得上耐高温,钢铁则必须耐 800°C 以上,陶瓷必须耐 1500°C 以上才能称得上是耐高温。传统的工程化过程可以举出钢铁的热处理,如淬火、回火;金属的表面处理,如渗碳、渗氮等都是工程化过程。但因数百年来一直沿用,故一般看作是常规加工手段,不称作工程化。

现代的材料工程化过程以复合材料的加工过程为代表,以纤维复合材料最为典型。所谓纤维复合材料,可看作将一种纤维分散到一种基体之中形成的材料,也可以看作是用一种基体材料作粘结剂将纤维材料粘结起来形成的材料。这种材料既兼具纤维和基体的性能,通过二者的复合还会产生二者都不具备的性能。

工程化的高层次含义是材料的仿生化与智能化。人们力求模仿蜘蛛吐丝的机理和蜗牛筑壳的机理,制造出质量轻、强度高的材料。智能化的例子有智能玻璃,可以根据外部光线的强弱自动变化玻璃的颜色;还有电流变体,可以根据外加电场的强弱改变粘度。随着材料科学技术的发展,工程化将逐渐成为材料环上最重要的一环。

1.2.4 产品的制造

这一步是利用预制件、零件制造直接供人们使用的物品。如果直接从原材料制造,可能会涉及材料组织与结构的变化。但如果仅仅是利用预制件的零件进行装配,将不涉及材料组织与结构的变化,但也会涉及材料所处环境的改变:不同种类的材料发生接触,装配使材料经受应力,生产过程中材料经受温度、湿度的改变、表面状态的变化及尺寸的变化。所以哪怕仅仅是简单的装配,对材料也会有一定的、有时是显著的影响。例如不同金属发生接触时,就会发生电化学腐蚀(见第8章)。加工过程中人为操作的因素也会对材料产生影响。消除这一影响的措施是利用计算机实现生产的自动化。

1.2.5 产品的服役

产品在被使用过程中经受着比加工过程更严酷的考验。产品可能要在阳光下曝晒，可能要承受巨大的载荷，可能经受很高或很低的温度，可能与介质发生摩擦，可能受到大气或化学物质的侵蚀……。当然，产品必须按设计要求在服役期内保持应有的性能，但产品质量时时会影响产品的服役。这样，服役期间可能伴随着产品的维修。维修是服役期内的补充制造过程。产品服役到期或中途报废，都标志着这一阶段的结束。

1.2.6 丢弃与回收

这是材料环的最后一节，也可以视为材料的第一节。如果材料不能回收利用而被丢弃，就成为最后一节；如果被回收利用，就成为第一节。经过某种加工过程，就回到原材料的状态。最易于回收利用的是金属材料、钢铁和铝等的回炉迄今非常成功。纸张的回收造纸也是人们的传统作法。废旧塑料的回收利用是最不成功的。一是由于不同塑料混杂后无法区分，而混杂塑料的性能是十分低劣的。二是由于某些塑料是不可再加工的，如泡沫聚苯乙烯包装。橡胶轮胎也属于不可再加工的物品，至今只能以高成本进行低温粉碎或焚烧发电。聚合物的回收利用问题在全世界已显得日益紧迫。所幸的是人们已发明出利用超临界状态使聚酯（饮料瓶所用材料）回到聚合前的对苯二甲酸和乙二醇酯的技术，这是一个可喜的信号。如果塑料都能回到聚合前的状态，白色污染的问题今后将不再困扰负担过重的自然界。

1.2.7 材料环的缺口

材料环是不完整的，不是完美的圆形，它存在缺口。材料的发掘利用给自然界，给人类社会带来了后遗症。采矿、钻井、森林砍伐都会造成破坏性的后果。矿尾经雨水的冲刷给植物、动物、河流、湖泊造成污染；钻井会造成有害物质的溢出；森林砍伐更会造成水土流失，并使动物无家可归。

但另一方面，如果不采矿，不钻井，不砍伐森林，我们无法拥有今天巨大的物质财富，不可能拥有今天繁荣的世界。但我们必须认识到资源是有限的，可丢弃废物的空间更是有限的。每个人都应该利用材料学的知识，最大程度地合理利用自然资源，保护自然环境，保护我们唯一的家园。

1.3 材料家族

世界上的材料成千上万，不可能逐一认识每一种材料。研究材料最方便的方法是根据性质相近的原则将它们分成若干大类，大类之下再分成若干小类，尽管类与类之间有重叠，分类还是便于掌握材料之间的异同与联系。

如表 1-1 所示，我们将材料分作四大类：金属、陶瓷、聚合物和复合材料。每大类之下又都有几小类。不宜归入四大类的材料合称“其它材料”。

表 1-1

材 料 家 族

大 类	小 类	示 例
金属材料	钢 铁	铸铁、碳钢、合金钢
	有色金属	铝、铜、锰、锡、镁、金
	金属粉末	烧结钢、烧结黄铜
聚合物	合成聚合物	塑料、弹性体、粘合剂、纸
	天然聚合物	木材、天然橡胶
	动 物	骨骼、皮肤
陶 瓷	结晶陶瓷	瓷器、陶器、磨料、建材 结构粘土
	玻 璃	玻璃器皿
复合材料	聚合物基	三合板、层压塑料板、浸渍木料、玻璃钢、石墨/环氧
	金属基	硼纤维/铝、Primex
	陶瓷基	磁强混凝土、碳碳复合材料
	金属陶瓷	碳化钨、铬/氧化铝
其 它	电子材料	半导体、超导体
	保护涂层	阳极氧化铝
	生物材料	植入物
	智能材料	形状记忆合金、形状记忆聚合物

1.3.1 金 属 材 料

人类使用金属材料已有几千年了。公元前 3000 年人类进入青铜时代，公元前 1100 年进入铁器时代，到今天我们还没有走出这个铁器时代。金属可以定义为坚硬、反光、有光泽、热与电的良导体。金属可以分为两类：钢铁与有色金属。为什么铁这一种元素独占一类，而其它金属只占一类呢？首先由于钢铁的用量超过了其它金属用量的总和，1988 年全世界钢铁产量与有色金属产量之比为 7 : 1。其次，钢铁的冶炼方法与其它金属如铜、镍、铝等不同。正是冶金专家最先提出将钢铁单列一类。当然也有一些金属学家不同意这种分类。但在本书中我们仍沿袭习惯的分类法。

1.3.1.1 钢铁

钢铁又被总称为黑色金属，包括铸铁、钢与其它一些铁合金。用铁制造工具始于公元前 1300 年的巴勒斯坦，在我国则始于战国时代。钢与铸铁都基本上为铁和碳的合金，钢的碳含量不超过 2%，铸铁的碳含量为 2%~4%。碳含量超过 2% 的合金非常脆，无法用锻压等方法成型，只能浇铸成型，铸铁由此得名。95% 的汽车发动机底座、曲轴、活塞环、千斤顶等都用铸铁制造。高档汽车的这些部件不用铸铁而用合金铝，以降低重量。今后这两种材料都将被复合材料取代。铸铁可以分为灰铸铁、白铸铁、可锻铸铁等，详见第 7 章。钢，由于其强度高，延展性好，来源丰富，价格低廉，在今后很长一段时期内仍将占据结构材料的主流。钢虽是历史最悠久的材料之一，近年来仍不断有新的品种问世，每种都在现代设计中占有一席之地。